

INTERNATIONAL SYMPOSIUM APCMCE

VIII
17-21 MAY
TAMBOV, RUSSIA

30
Т.Г.Т.У
65

VIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

8th International Symposium
Actual Problems of Computer
Modeling in Civil Engineering

Abstracts of reports

РОССИЯ, ТАМБОВ
17 – 21 МАЯ 2023 ГОДА

Российская академия архитектуры и строительных наук
Правительство Тамбовской области
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
ФГБОУ ВО «Московский архитектурный институт (государственная академия)»
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»
ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
Акционерное общество «Научно-исследовательский центр СтаДиО»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Тезисы докладов
VIII-го Международного симпозиума**

**ACTUAL PROBLEMS OF COMPUTER
MODELING IN CIVIL ENGINEERING**

**Abstracts of reports
8th International Symposium**

Тамбов, 17-21 мая 2023 г.

УДК 69
ББК 38
У81

Рекомендовано к печати Научно-техническим советом ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Редакционная коллегия:

Сидоров В.Н., Монастырев П.В. (отв. редакторы),
Акимов П.А., Анпилов С.М., Белостоцкий А.М., Евдокимцев О.В., Колчунов В.И.,
Муромцев Д.Ю., Сколубович Ю.Л., Теличенко В.И., Туснин А.Р., Шитикова М.В.

Кузнецова Н.В., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А., Глазков Ю.Е. (отв. за выпуск).

*Сборник подготовлен по материалам, переданным в электронном варианте,
и сохраняет авторскую редакцию.*

У81 Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума / ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2023. – 436 с.

ISBN 978-5-6047822-6-2

Представлены тезисы научных докладов ведущих российских и зарубежных ученых и специалистов, преподавателей, аспирантов, соискателей и студентов по основным научным направлениям Симпозиума. Рассмотрены вопросы математического и компьютерного моделирования конструкций, зданий, сооружений и комплексов на стадиях их возведения, эксплуатации, реконструкции, сопротивления прогрессирующему разрушению; моделирования нагрузок и воздействий на строительные конструкции, здания, сооружения и комплексы; повреждаемости и процессов разрушения конструкций и материалов; материалов и конструкций в нестационарных физико-механических условиях при сложных воздействиях. Представлены математические модели и методы в системах мониторинга зданий и сооружений, нелинейные модели материалов, конструкций зданий и сооружений при расчетном обосновании проектов и оптимальном проектировании, технологии информационного моделирования этапов жизненного цикла объекта капитального строительства; исследованы возможности современных программных средств при анализе и проектировании строительных объектов; «решателей» (солверов) в задачах анализа конструкций и сооружений при решении задач большой размерности; математическое и компьютерное моделирование в архитектуре, градостроительстве и строительстве. Значительная часть докладов посвящена разработке, исследованию и развитию численных и численно-аналитических методов расчета конструкций, зданий и сооружений; оптимизации параметров строительных конструкций, приложениям методов искусственного интеллекта в архитектуре, градостроительстве и строительстве; проблемам дидактики современного научно-инженерного знания в области цифровых технологий и компьютерного моделирования строительных конструкций; совершенствования образовательной деятельности в образовательных организациях высшего образования политехнического профиля.

Материалы Международного симпозиума могут быть полезны научным, инженерно-техническим работникам научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателям, аспирантам, студентам вузов технического профиля.

Сборник тезисов докладов входит в наукометрическую базу РИНЦ (eLibrary.ru)

УДК 69
ББК 38
У81

© Авторы статей, 2023
© ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023
© Издательство ИП Чеснокова., 2023

ISBN 978-5-6047822-6-2

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР СИМПОЗИУМА

TIKPRO

ООО «ТИК-ПРОДЖЕКТ»
www.tik-bim.ru



ООО «Специализированный застройщик
«Строительная компания Жупиков»
<https://www.sk-zhupikov.com>

ПАРТНЕР ОТДЕЛЬНОГО МЕРОПРИЯТИЯ СИМПОЗИУМА



Ассоциация СРО
"ТАМБОВСКИЕ СТРОИТЕЛИ"

Ассоциация СРО
«Тамбовские строители»
<http://www.stroytambov.ru>



ООО Научно-проектная
фирма «СКАД СОФТ»
<https://scadsoft.ru>



ООО «Бокинский Завод
Строительных Конструкций»
<https://bzsk68.ru>



АО «АСКОН»
<https://ascon.ru>



Группа компаний «АСБ»
<http://www.asbgrupp.ru>



Тамбовское отделение 8594
ПАО «Сбербанк России»
<https://www.sberbank.ru>



ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
«ТАМБОВСЕЛЬХОЗТЕХПРОЕКТ»

ООО Проектный институт
«Тамбовсельхозтехпроект»
<http://3.tmbpro.nichost.ru>



АО «НИЦ «Строительство»
<https://www.cstroy.ru>



ООО «ЕВРОСОФТ»
<http://www.eurosoft.ru>



ООО «Газстальмонтаж»



ГРУППА КОМПАНИЙ
МЕГАПОЛИС
ООО «Группа компаний
«Мегаполис»
<https://megapolistmb.ru>



ООО «МОСТОСТРОЙ»
<https://мостострой1.рф>



ООО «Тамбовспецстрой»

СОДЕРЖАНИЕ

Генеральные пленарные доклады

<i>Белостоцкий А.М.</i> Компьютерное моделирование уникальных зданий и сооружений на всех этапах жизненного цикла. Опыт 2018-2023 гг., проблемы и решения	12
<i>Каприелов С.С.</i> Новые модифицированные бетоны – качество и надёжность сооружений в контексте зелёных технологий.....	15
<i>Колчунов В.И., Московцева В.С.</i> Живучесть железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем при особых воздействиях.....	18
<i>Федосов С.В.</i> Инженерные решения задач математической физики в приложении к техническим проблемам строительных наук.....	20

Пленарные доклады

<i>Антонов А.И., Леденев В.И., Шубин И.Л., Яровая Т.С.</i> Моделирование шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей.....	22
<i>Кашеварова Г.Г.</i> Цифровые и интеллектуальные технологии в диагностике строительных объектов.....	25
<i>Козунова О.В., Босаков С.В.</i> Развитие и совершенствование теории статических расчетов стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании.....	29
<i>Мангушев Р.А., Дьяконов И.П., Полунин В.М., Баимаков И.Б., Колосаев И.С.</i> О развитии и совершенствовании программного комплекса МКЭ для геотехнической практики.....	39
<i>Мирсалянов И.Т., Королева И.В.</i> Расчетная модель деформирования грунтового основания высотного здания с учетом предыстории нагружения.....	42
<i>Мондрус В.Л., Сизов Д.К., Акимова И.В.</i> Определение характерных особенностей работы перфорированного резинометаллического виброизолятора с использованием современных программных комплексов, реализующих метод конечного элемента.....	44
<i>Сидоров В.Н., Бадьина Е.С., Дитина Е.П., Макарова Е.А.</i> Численное моделирование колебаний композитных рамных конструкций с учётом демпфирования с памятью	46
<i>Трещев А.А., Теличко В.Г., Андронов А.М.</i> Моделирование многоэтажного железобетонного здания на многослойном деформируемом основании с учетом повреждаемости.....	49
<i>Шитикова М.В.</i> Математическое моделирование механических свойств вязкоупругих материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона.....	51

Секция 1. Моделирование нагрузок и воздействий на строительные конструкции, здания, сооружения и комплексы

<i>Белаш Т.А., Яковлев А.Д.</i> Моделирование нагрузок от волн цунами на сооружение	54
<i>Бритиков Н.А.</i> Численное моделирование снеговых нагрузок. Особенности и перспективы развития методики.....	57
<i>Ведяков И.И., Востров В.К.</i> Аварийные расчетные ситуации и механическая безопасность строительных конструкций.....	59
<i>Ведяков И.И., Жук Ю.Н., Курнавин В.В., Симбиркин В.Н., Панасенко Ю.В.</i> Контроль качества конструктивных решений при научно-техническом сопровождении проектирования зданий и сооружений повышенного уровня ответственности.....	63
<i>Горячевский О.С.</i> Численное моделирование ветровых нагрузок на оконные конструкции. Валидация методики на примере типового здания	65
<i>Жукова Я.И., Хулина М.С., Митина У.А., Тюкова А.А., Маркин И.А., Умнова О.В., Худяков А.В., Мамонтов С.А.</i> Моделирование нагрузок и воздействий на строительные конструкции корпуса ТГТУ при реконструкции с применением BIM-модели и обследования здания.....	67
<i>Малюк В.В.</i> Концепция модели морозного воздействия на конструкционный бетон при сильном насыщении морской водой.....	70
<i>Мкртычев О.В., Решетов А.А.</i> Моделирование нагрузок и воздействий на строительные конструкции, здания, сооружения и комплексы	73
<i>Негрозова И.Ю.</i> Численное моделирование аэроупругой неустойчивости строительных конструкций и сооружений. Развитие и перспективы методики.....	76
<i>Титков С.О.</i> Уточнение ветровой нагрузки на башенные металлические градирни с учетом особенностей конструктивной формы и этапов возведения.....	78

Секция 2. Технологии информационного моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства

<i>Долженко А.В.</i> Практические аспекты применения искусственного интеллекта при проведении строительно-технических экспертиз на этапе эксплуатации жизненного цикла здания.....	81
<i>Евтушенко С.И., Феттер М.Г.</i> Методика расчета трудоемкости и стоимости создания 3D-тел при лазерном сканировании при реализации проекта DT-BIM на основе шкалы сложности.....	83
<i>Жукова Я.И., Хулина М.С., Митина У.А., Тюкова А.А., Умнова О.В.</i> Разработка проекта модернизации системы водоснабжения корпуса ТГТУ с применением созданной BIM-модели здания.....	85
<i>Келасьев Н.Г.</i> Моделирование объемно-планировочных решений универсальных большепролетных спортивных сооружений	88
<i>Киянец А.В., Байбури А.Х., Провоторов Д.Н.</i> Цифровизация документооборота исполнительной документации в строительстве.....	90
<i>Кожухина О.Н., Иванова А.А.</i> О необходимости формирования банка данных существующих культурно-досуговых центров Тамбовской области.....	92
<i>Макеев А.И.</i> Информационное моделирование бетона: современное состояние и перспективы развития.....	94
<i>Наумов А.Е.</i> Дидактическая эффективность виртуализации образовательных процессов в строительном проектировании.....	97
<i>Рашевский Н.М., Щербаков А.Г., Чикин А.Д.</i> О применении онтологического инжиниринга при реализации технологий информационного моделирования в строительстве.....	99
<i>Романов И.Р., Киселева О.А.</i> Основные преимущества систем информационного моделирования зданий с использованием систем автоматизированного проектирования.....	102
<i>Теличенко В.И., Слесарев М.Ю.</i> Искусственный интеллект в технологии создания инноваций.....	104
<i>Шашкин К.Г.</i> Взаимодействие BIM и программ расчета конструкций. Решение проблем с помощью пространственных контактных элементов для пластин и стержней.....	107
<i>Шейко Е.А., Смирнова О.В., Семочкин А.В.</i> Особенности разработки технологии информационного моделирования с учетом монтажа.....	109

Секция 3. Разработка, исследование и развитие численных и численно-аналитических методов расчета конструкций, зданий и сооружений

<i>Акимов В.А.</i> Решение одной инновационной задачи теории упругости.....	111
<i>Акимов В.А.</i> Решение одной обратной задачи теории упругости.....	113
<i>Акимов П.А., Мозгалева М.Л., Колганов К.В.</i> Комбинированный подход к расчету строительных конструкций на основе смешанного использования дискретно-континуального метода конечных элементов и метода конечных элементов. Часть 1: двумерная задача теории упругости	115
<i>Акимов П.А., Мозгалева М.Л., Колганов К.В.</i> Комбинированный подход к расчету строительных конструкций на основе смешанного использования дискретно-континуального метода конечных элементов и метода конечных элементов. Часть 2: трехмерная задача теории упругости	117
<i>Акимов П.А., Мозгалева М.Л., Колганов К.В.</i> Комбинированный подход к расчету строительных конструкций на основе смешанного использования дискретно-континуального метода конечных элементов и метода конечных элементов. Часть 3: задача об изгибе тонкой пластины.	119
<i>Алехин А.Н.</i> Геотехнические аспекты компьютерного моделирования сооружений.....	121
<i>Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Калмакова П.С.</i> Математическое моделирование процесса релаксации напряжений в бетоне.....	123
<i>Ахметов В.К.</i> Применение численного метода поверхностей равных расходов в строительной аэродинамике.....	125
<i>Бадьина Е.С., Жаворонок С.И., Локтева Н.А.</i> Моделирование колебаний конструктивных элементов из стали со сверхвысоким демпфированием, зависящим от амплитуды действующих напряжений.....	128
<i>Бурцева О.А.</i> Аналитическое определение параметров высокоскоростного водного потока.....	131
<i>Гайджуров П.П.</i> Конечно-элементное моделирование объемного напряженно-деформированного состояния преднапряженных железобетонных конструкций при длительном деформировании.....	134

<i>Кабанцев О.В., Крылов С.Б., Трофимов С.В.</i> Численные исследования влияния геометрии опытных образцов на результаты испытания плит на продавливание.....	137
<i>Косицын С.Б., Акулич В.Ю.</i> Численный анализ напряженно-деформированного состояния ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с основанием, с учетом изменения расчетной модели во времени.....	139
<i>Крылов С.Б., Калмакова П.С.</i> Численные исследования влияния масштаба и формы при испытаниях бетонных образцов.....	141
<i>Крылов С.Б., Корнюшина М.П.</i> Численные исследования корреляции параметров напряженно-деформированного состояния конструкции при нелинейной работе материала.....	142
<i>Крылов С.Б., Козлов Г.М.</i> Численное исследование перераспределения усилий в плитах при нелинейной работе материалов.....	144
<i>Кудрявцев С.А., Вальцева Т.Ю.</i> Численное моделирование процессов оттаивания многолетне-мерзлых грунтов инфраструктурных железнодорожных объектов Дальнего Востока.....	146
<i>Кузнецов А.В., Белаш Т.А.</i> Численное исследование напряженно-деформированного состояния узловых соединений в монолитных зданиях.....	148
<i>Лалин В.В., Нго Х.Х.</i> Материальная точка с разными массами по разным направлениям – новые конечные элементы в задачах динамики стержневых систем.....	151
<i>Ляхович Л.С., Акимов П.А., Мещеулов Н.В.</i> К вопросу формирования расчетных схем некоторых дополнительных связей для упругих систем. Часть 1: теоретические основы предлагаемого подхода	153
<i>Ляхович Л.С., Акимов П.А., Мещеулов Н.В.</i> К вопросу формирования расчетных схем некоторых дополнительных связей для упругих систем. Часть 2: некоторые примеры расчета	154
<i>Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М.</i> Исследование устойчивости цилиндрических оболочек с учетом влияния начальных несовершенств.....	155
<i>Нестеров И.В.</i> Использование табличных и математических редакторов для сопровождения учебного процесса по курсу «Вычислительная механика»	156
<i>Потапов А.Н.</i> Соотношения взаимности в динамике диссипативных систем.....	158
<i>Потапов А.Н., Зямбаев Н.А.</i> Упругопластический расчет рамы на действие горизонтальных сил методом перемещений.....	160
<i>Семенов В.А.</i> Линейно-спектральный метод перемещений для сильно демпфированных систем.....	162
<i>Семенов В.А., Семенов П.Ю., Трубников С.А.</i> Современные статические и динамические алгоритмы нелинейного анализа конструкций, подверженных динамическим воздействиям и их реализация в ПК СТАДИКОН.....	164
<i>Семенов В.А., Трубников С.А.</i> Использование решений обратной квадратичной задачи для уточнения конечно-элементных моделей зданий и сооружений по результатам измерений их динамических характеристик.....	166
<i>Семенов В.А., Трубников С.А.</i> Модифицированный метод Ритца и динамический расчет на прогрессирующее обрушение.....	168
<i>Семенов П.Ю.</i> Межэлементные связи для расчетов МКЭ на несогласованных сетках.....	170
<i>Сидоров В.Н., Примкулов А.М.</i> Численно-аналитическое решение связанной задачи тепло-массопереноса с взаимозависимыми теплотехническими характеристиками.....	172
<i>Скачѣк П.Д.</i> Особенности решения нелинейных контактных задач о частичном опирании балочных элементов на упругое основание.....	174
<i>Трекин Н.Н., Крылов В.В., Андриян К.Р.</i> Несущая способность монолитных железобетонных плит на продавливание при статическом и динамическом нагружении. Аналитические предпосылки к расчету.....	177
<i>Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Быбка А.В.</i> Моделирование податливых соединений плит сборных дисков перекрытий.....	180
<i>Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Щедрин О.С.</i> Определение показателя ответственности железобетонных колонн в многоэтажных каркасных зданиях.....	183
<i>Черников А.В., Козлов В.А.</i> Развитие методов моделирования и расчета металлических водопропускных сооружений из гофрированной стали.....	185
<i>Широков В.С., Белаш Т.А., Гордеева Т.Е.</i> Аналитический метод определения напряженно-деформированного состояния модульных зданий.....	187
<i>Шитикова М.В., Корнилова А.С.</i> Моделирование колебаний упругой пластинки, лежащей на вязкоупругом основании, с помощью модели Кельвина-Фойгта с дробной производной.....	190
<i>Шитикова М.В., Мондрус В.Л., Гарбер Е.О.</i> Численный анализ балки Бернулли-Эйлера на вязкоупругом основании под воздействием подвижной нагрузки.....	193

Секция 4. Нелинейные модели материалов, конструкций зданий и сооружений при расчетном обосновании проектов и оптимальном проектировании

<i>Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Тер-Эммануилян Т.Н.</i> Проблемы теории расчета конструкций с учетом пластических свойств материалов.....	195
<i>Босаков С.В., Козунова О.В.</i> Нелинейный расчет железобетонных балок и плит вариационно-разностным методом.....	196
<i>Ермакова Е.В., Рынковская М.И.</i> Оптимизация формы оболочек в программе Comsol Multiphysics.....	198
<i>Котов А.А.</i> О компьютерном моделировании напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов на основе универсальной модели деформирования и разрушения бетона.....	200
<i>Поздеев М.Л., Лихачева С.Ю., Смагин И.В.</i> Моделирование НДС и разрушения каменной кладки в расчетном комплексе SCAD Office с использованием деформационной теории пластичности.....	202
<i>Позняк Е.В., Радин В.П., Новикова О.В., Киселев А.В., Иванова Ю.Ю.</i> Постановка задачи об оптимальных виброзащитных системах на основе билинейных гистерезисных элементов и подходы к ее решению.....	205
<i>Селезнев А.Д., Кузнецова Н.В.</i> Математическое моделирование при проектировании ресурсосберегающих технологий строительных материалов.....	207
<i>Трещев А.А., Бесстраинов Д.О.</i> Математическая модель основания из ортотропных слоев с учетом их деформационной псевдонеоднородности.....	209
<i>Фриштер Л.Ю.</i> Плоская задача теории упругости с конечными деформациями в зоне углового выреза границы.....	211
<i>Шевченко А.В., Баглаев Н.Н.</i> Расчет сжато-изгибаемых стержней с учетом физической и геометрической нелинейности.....	213

Секция 5. Моделирование конструкций, зданий, сооружений и комплексов на стадиях их возведения, реконструкции, нагружений, сопротивляемости прогрессирующему разрушению

<i>Абдуллах Х., Алёхин В.Н.</i> Прогрессирующее обрушение: факты, возможные причины, оценка методов анализа по расходу материалов.....	215
<i>Баглаев Н.Н., Шевченко А.В.</i> Моделирование систем сейсмоизоляции. Сравнение подходов.....	216
<i>Вершинин В.В.</i> Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства центра коллективного пользования «Сибирский Кольцевой Источник Фотонов» – цифровой двойник здания накопителя для расчётных исследований напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости несущих конструкций при основных и особых сочетаниях нагрузок..	217
<i>Глазков Д.С., Козлов В.А.</i> Моделирование и расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению здания сложной геометрической формы.....	219
<i>Дмитриев Д.С., Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Нагибович А.И.</i> Особенности и проблемы проведения комплексного научно-технического сопровождения проектировании уникальных объектов на примере театра оперы и балета в г. Севастополь и г. Калининград.....	221
<i>Долматова М.С., Соломатин Е.О., Фролов М.Ю.</i> Моделирование результатов геодезических изысканий реконструируемого участка автомобильной дороги.....	223
<i>Казаков А.М., Маркин И.А., Евдокимцев О.В., Монастырев П.В.</i> Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния стальных рам переменного сечения на сжимаемом основании.....	226
<i>Колчунов Вл. И.</i> Железобетонные адекватные расчетные модели подконструкций в ВК ЛИРА для переноса трещин.....	228
<i>Колчунов Вл. И., Гречишников С.В., Шаньков В.Н.</i> Алгоритм сопротивления железобетонных подконструкций в интеллекте ВК ЛИРА.....	231
<i>Лапина С.А., Киселева О.А.</i> Применение САПР для решения задач, связанных с расчетом каркаса монолитного здания.....	234
<i>Макаров А.М., Соломатин Е.О.</i> Моделирование противоаварийных мероприятий на объекте культурного наследия.....	236

<i>Муцанов В.Ф., Оржеховский А.Н., Цепляев М.Н., Муцанов А.В.</i> Особенности формирования уточненных расчетных схем при анализе напряженно-деформированного состояния, оценке устойчивости и надежности элементов пространственных металлических конструкций.....	238
<i>Нагибович А.И., Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С.</i> Особенности численного моделирования мегасайенс сооружений на различных этапах жизненного цикла. Тяжелоионный коллайдер NICA и кольцевой источник фотонов СКИФ.....	240
<i>Новиков П.И., Белостоцкий А.М.</i> Особенности разработки и верификации расчетных моделей при научно-техническом сопровождении проектирования	243
<i>Павлов А.С., Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С., Нагибович А.И.</i> Опыт проведения расчетов на прогрессирующее обрушение в рамках научно-технического сопровождения уникальных зданий и сооружений.....	246
<i>Петряшев С.О., Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С.</i> Разработка и верификация комплексной модели системы «основание-водохранилище-плотина-здание станции» Саяно-Шушенской ГЭС, как основы для внедрения в систему мониторинга.....	248
<i>Савин С.Ю.</i> Анализ живучести нелинейно-деформируемых систем зданий и сооружений при внезапных структурных перестройках, вызванных потерей устойчивости.....	251
<i>Сенькин Н.А.</i> Строительные конструкции воздушных линий электропередачи ВЛ 110-750 кВ: этапы жизненного цикла.....	253
<i>Соловьев И.А., Шитикова М.В.</i> Численная верификация параметров демпфирования трехслойных композитных пластинок, изготовленных аддитивным способом.....	255
<i>Травуш В.И., Колчунов В.И., Мицкус Ю.А.</i> Устойчивость физически и конструктивно нелинейных стержней переменной жесткости.....	257
<i>Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Шмаков С.Д., Терехов И.А., Чаганов А.Б., Черепанов А.В.</i> Определение напряженно-деформированного состояния сечения железобетонных конструкций в особом предельном состоянии.....	259
<i>Умнякова Н.П.</i> Особенности моделирования теплопередачи наружного угла.....	262
<i>Федорова Н.В., Бушова О.Б.</i> Определение динамических догрузений в железобетонных рамах, армированных наклонными стержнями, при особых воздействиях.....	264
<i>Хазов П.А.</i> Модели деформирования и устойчивости трубобетонных колонн малогабаритных сечений.....	267
<i>Худяков А.В., Кольцов А.А., Канаева Е.А.</i> Оценка состояния стальных водонапорных башен...	270
<i>Худяков А.В., Овсянникова В.А., Долотов С.Ю.</i> Поиск оптимального покрытия помещений зального типа некоторыми тонкостенными железобетонными конструкциями.....	272

Секция 6. Математическое и компьютерное моделирование в архитектуре, градостроительстве и строительстве

<i>Ажмяков В.В., Дёмин А.М., Кузнецов А.В.</i> Компьютерное моделирование температурных полей в узлах сопряжения диска перекрытия со стеной.....	274
<i>Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И., Матвеева И.В.</i> Программный комплекс для расчета импульсного шума в производственных помещениях	277
<i>Воличенко О.В., Цурик Т.О.</i> Умный ландшафт городского парка.....	279
<i>Гныря А.И., Коробков С.В., Воднев Б.С., Батюк М.И., Сухоруков Д.Ю., Коркин Н.О.</i> Сравнение физического и компьютерного моделирования при исследовании остывания бетона конструкции из предварительно разогретой бетонной смеси.....	281
<i>Гутров М.А.</i> Оценка стационарности связи контактного взаимодействия гибкого стержня с абсолютно твердым телом, движущимся по детерминированной траектории.....	283
<i>Данилова Л.О., Гуртяков А.С., Хорошун Д.А.</i> Автоматизация обработки данных аэрофото съемки при построении цифровой модели рельефа	285
<i>Долженкова М.В.</i> Аппроксимация экспериментальных данных для прогнозирования долговечности кровельных наплаваемых материалов.....	288
<i>Жоголева О.А., Леденев В.И., Матвеева И.В.</i> Численная оценка зоны влияния звукопоглощающей облицовки потолка на снижение отраженного шума в помещениях.....	291
<i>Зубков А.Ф., Андрианов К.А., Сенибабнов С.А.</i> Моделирование процессов уплотнения асфальтогранулята с использованием экспериментальных данных.....	293
<i>Кабанцев О.В., Карлин А.В.</i> Модель бетона конструкций, выполненных по аддитивной технологии.....	296
<i>Карасова И.Ю., Старкова Т.В.</i> Художественная выразительность фасада жилого дома на примере деревянной архитектуры города Тамбова.....	298

<i>Козуляк И.С.</i> Особенности формирования исходных данных для поддержки принятия решений в градостроительной деятельности.....	300
<i>Коробко А.В., Прокуров М.Ю.</i> Аппроксимирующие функции для расчёта максимальных прогибов пластинок на упругом винклеровом основании.....	303
<i>Коробков С.В., Абзаев Ю.А., Гныря А.И.</i> Моделирование начальной стадии твердения порландцемента в условиях градиента температур.....	306
<i>Кузнецов В.А., Кузнецова Ю.И., Ярцев В.П.</i> Моделирование двухэтажного каркасно-панельного жилого дома на основное сочетание нагрузок	308
<i>Кузнецова Н.В., Левина Е.В.</i> Использование приемов моделирования в композиции торговых рядов.....	310
<i>Куликов А.С., Шуняев М.В.</i> Малоэтажная индивидуальная застройка большого города как объект цифрового проектирования.....	312
<i>Леденева Г.Л.</i> От коммуны к коливингу. В поисках оптимального пространства для жизни в эпоху цифровизации.....	315
<i>Макая Л.М., Зубков А.Ф., Андрианов К.А.</i> Разработка математической модели процессов уплотнения слоя дорожной одежды.....	316
<i>Мерзлякова А.Д., Нестеров И.В.</i> Моделирование взаимодействия инженерных сооружений с грунтом с использованием адаптации сетки конечных элементов.....	319
<i>Парыгин Д.С., Ясенецкий А.В., Феклистов В.А.</i> Разработка цифровых моделей участков городского пространства с использованием современных игровых движков.....	321
<i>Петров А.С.</i> К вопросу архитектурного проектирования зданий с учетом индексов комфорта методом компьютерного моделирования.....	324
<i>Прокуров М.Ю.</i> Автоматизированный подсчет коэффициента формы односвязных, плоских областей с выпуклым криволинейным контуром.....	326
<i>Путинцева А.А., Антонов А.И.</i> Компьютерные алгоритмы расчета отраженного транспортного шума в жилой застройке.....	329
<i>Старкова Т.В., Мамонтова М.А.</i> Истоки и символизм архитектурного образа церкви Воскресения Христова в селе Старая Ольшанка.....	331
<i>Старкова Т.В., Федосова Д.С.</i> Парк в городской среде.....	333

Секция 7. Моделирование материалов и конструкций в нестационарных физико-механических условиях при сложных воздействиях

<i>Белов В.В., Куляев П.В., Баркая Т.Р.</i> Моделирование механических характеристик карбонатных мелкозернистых бетонов с комплексной добавкой.....	335
<i>Гончарова М.А., Заева А.Г.</i> Эксплуатация «чистых помещений» в контексте биодеструкции строительных конструкций.....	337
<i>Горохов Т.И.</i> Отделочный материал на основе гипсового вяжущего и древесных отходов.....	340
<i>Дергунова Е.С., Гончарова М.А., Заева А.Г.</i> Optimization of Biomineralization Technology for Cement Systems.....	342
<i>Дмитриева Т.Л., Подшивалова К.А.</i> Экспериментально-теоретические исследования динамических характеристик деревянных каркасных зданий.....	344
<i>Ельчищева Т.Ф., Ерофеева И.В.</i> Биоцидная фибробетонная смесь на основе стального и полипропиленового волокна.....	346
<i>Ельчищева Т.Ф., Ерофеева И.В.</i> Композиционное вяжущее для изготовления бетонов и растворов.....	348
<i>Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Коннов А.В.</i> Термонапряженно-деформированное состояние преобразованных оснований в криолитозоне.....	350
<i>Каримуллин И.С., Алехин В.Н., Ушаков О.Ю.</i> Сейсмическое давление грунта на подпорные стены. Полный динамический анализ.....	352
<i>Корсун В.И.</i> Построение ортотропной модели деформирования бетона для общего случая объемного напряженного состояния.....	354
<i>Мамонтов А.А., Мамонтов С.А.</i> Приложение метода отсчетных поверхностей к оценке напряженно-деформированного состояния пенополистирольных слоистых изделий.....	357
<i>Низин Д.Р., Низина Т.А., Станкевич А.С., Спириин И.П.</i> Прогнозирование температуры поверхности эпоксидных полимеров в условиях натурального климатического воздействия с применением методов машинного обучения.....	360

<i>Перминов Н.А.</i> Моделирование взаимодействия сопряженных подземных водонесущих сооружений с вмещающим грунтовым массивом при неординарных воздействиях.....	362
<i>Пляскин А.С., Белов Н.Н., Югов Н.Т., Бабарыкина А.И.</i> Математическое моделирование высокоскоростного взаимодействия композитной преграды и стального ударника.....	364
<i>Сидоров В.Н., Бадьина Е.С., Детина Е.П., Карташев Г.В.</i> Верификация численной модели нелокального во времени демпфирования балочного элемента по результатам эксперимента.....	366
<i>Славчева Г.С., Левченко А.В., Шведова М.А., Каракчи-Огли Д.Р., Бабенко Д.С., Юров П.Ю.</i> Экспериментальная модель влияния пустотности на несущую способность стен, полученных по аддитивной технологии.....	369
<i>Тазеев Н.Т., Потапов А.Н.</i> Анализ аэродинамических колебаний надземного газопровода с двумя односторонними связями в пролете.....	372
<i>Шарафутдинов К.Б., Кашигарова Г.Г., Ерофеев В.Т., Сарайкина К.А.</i> Прогнозирование прочности и биостойкости бетона методами нейронных сетей.....	375

Секция 8. Моделирование повреждаемости и разрушения конструкций и материалов. Математические модели и методы в системах мониторинга зданий и сооружений

<i>Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Таутиев И.М.</i> Современные подходы к организации системы мониторинга технического состояния зданий и сооружений.....	377
<i>Евтушенко С.И., Кучумов М.А.</i> Датчик линейных перемещений для использования в системах мониторинга инженерных конструкций объектов гражданской инфраструктуры.....	379
<i>Ерофеев А.В.</i> Проблематика прогнозирования работоспособности строительных материалов с позиций термофлуктуационной концепции.....	382
<i>Жукова Я.И., Хулина М.С., Митина У.А., Тюкова А.А., Овсянникова В.А., Умнова О.В., Мамонтов А.А.</i> Обследование корпуса ТГТУ и обоснование необходимости повышения его энергоэффективности.....	384
<i>Козак Н.В.</i> Исследование режима работы гибких элементов объединения сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов с использованием численных и натуральных экспериментов.....	387
<i>Крылов С.Б.</i> Развитие теории корреляции и возможности её применения к оценке результатов расчётов и мониторинга строительных конструкций.....	390
<i>Малахова А.Н.</i> Оценка несущей способности и эксплуатационной пригодности плиты перекрытия после высокотемпературного воздействия.....	392
<i>Мамин А.Н., Бамматов А.А., Долгова Т.В.</i> Особенности напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций с бессварными стыками арматуры.....	394
<i>Мамонтов С.А., Мамонтов А.А.</i> Математические модели поведения термофлуктуационных констант при старении древесных композитов.....	396
<i>Низина Т.А., Канаева Н.С., Низин Д.Р., Спириин И.П.</i> Моделирование релаксационных характеристик и кинетики накопления повреждений полимерных материалов с учетом длительности и интенсивности воздействия факторов окружающей среды.....	399
<i>Нугужинов Ж.С., Ахмедиев С.К., Бекетова М.С.</i> Математическая модель вероятностного анализа статистических результатов обследования и мониторинга зданий и сооружений.....	401
<i>Осовских Е.В., Осовских О.Е.</i> Определение параметров живучести пространственной железобетонной рамы, работающей в условиях сложного напряженного состояния.....	404
<i>Сидоров В.Н., Арутюнян А.А.</i> Метод управления расчетной моделью конструкции по результатам ее динамических испытаний.....	407
<i>Сулейманов А.М., Каюмов Р.А.</i> Моделирование работы, старения и разрушения конструктивных полимерных композиционных материалов в условиях эксплуатации.....	409
<i>Федосов С.В., Баканов М.О., Грушко И.С.</i> Использование регрессионного анализа для прогнозирования эксплуатационных свойств пеностекла.....	411
<i>Федосов С.В., Нармания Б.Е.</i> Влияние параметров массопереноса на интенсивность процесса коррозионного взаимодействия бетона с биологическими средами.....	413
<i>Шашкин К.Г., Шашкин А.Г.</i> Основы построения систем интерактивного мониторинга зданий и сооружений.....	415

Стендовые доклады

Антонов А.И., Долженкова М.В. Разработка и использование компьютерных программ в дисциплинах архитектурного профиля на кафедре «Архитектура и градостроительство» ТГТУ.

Антонов А.И., Жоголева О.А., Леднев В.И., Матвеева И.В. Компьютерное моделирование распределения импульсного шума в помещениях производственных зданий.

Антонов А.И., Жоголева О.А., Соломатин Е.О. Компьютерные программы для решения учебных и исследовательских задач по строительной и архитектурной физике.

Белов В.В., Куляев П.В., Баркая Т.Р. Моделирование механических характеристик карбонатных мелкозернистых бетонов с комплексной добавкой.

Ельщицева Т.Ф., Черных А.В. Технология LIDAR как вспомогательный продукт при 3D-моделировании.

Козак Н.В. Исследование режима работы гибких элементов объединения СТЖБ ПС а/д мостов с использованием численных и натуральных экспериментов.

Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Аппроксимирующие функции для расчёта максимальных прогибов пластинок на упругом винклеровом основании.

Косицын С.Б., Акулич В.Ю. Численный анализ напряженно-деформированного состояния ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с основанием, с учетом изменения расчетной модели во времени.

Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Бегичев М.М. Исследование устойчивости цилиндрических оболочек с учетом влияния начальных несовершенств.

Муцанов В.Ф., Оржеховский А.Н., Цепляев М.Н., Муцанов А.В. Особенности формирования уточненных расчетных схем при анализе напряженно-деформированного состояния, оценке устойчивости и надежности элементов пространственных металлических конструкций.

Прокуров М.Ю. Автоматизированный подсчёт коэффициента формы односвязных плоских областей с выпуклым криволинейным контуром.

Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. Искусственный интеллект в технологии создания инноваций.

Фриштер Л.Ю. Плоская задача теории упругости с конечными деформациями в зоне углового выреза границы.

Царитова Н.Г., Штанкевич А.В., Курбанова А.А. Моделирование пространственной стержневой конструкции.

Чернядьева О.Я., Евдокимцев О.В., Монастырев П.В. Цифровой проектный институт, как инструмент реализации проектного обучения и практической подготовки в организациях высшего образования в области архитектуры и строительства.

Шароварова Е.П., Алёхин В.Н. Определение оптимальных параметров фасадной конструкции для разных климатических условий.

Wentao Hu, Alekhin V.N. Analysis and optimization experiment of thermal performance of self-insulating building envelope in hot summer and cold winter climate.

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 69.04

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА. ОПЫТ 2018-2023 гг., ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Белостоцкий А.М.¹

¹ АО «Научно-исследовательский центр СтаДиО» (АО НИЦ СтаДиО), ген. директор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова (НОЦ КМ), д.т.н., академик РААСН, профессор, Россия, amb@stadyo.ru

Ключевые слова: компьютерное моделирование, программные комплексы, уникальные здания и сооружения, этапы жизненного цикла, научно-техническое сопровождение, расчетно-экспериментальное обоснование, механическая безопасность,

COMPUTER MODELING OF UNIQUE BUILDINGS AND STRUCTURES AT ALL STAGES OF THE LIFE CYCLE. EXPERIENCE OF 2018-2023, PROBLEMS AND SOLUTIONS

Belostotskiy A.M.¹

¹ R&D Center StaDyO, general Director, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), scientific supervisor of Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov. Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the RAACS, Russia, amb@stadyo.ru

Key words: computer modeling, software systems, unique buildings and structures, life cycle stages, scientific and technical support, computational and experimental justification, mechanical safety.

Среди наиболее значимых задач расчетного обоснования механической безопасности (и комфортности), решенных для уникальных / ответственных объектов строительства на значимых этапах их жизненного цикла коллективами АО НИЦ СтаДиО и НИУ МГСУ в 2018-2023 гг. по необходимости в сложных и развитых [1-5] постановках с применением современных подходов компьютерного моделирования (статические и динамические, нелинейные и связанные модели, распараллеливание вычислений, подконструкции, субмоделирование и др.), реализованных в верифицированных программных комплексах (ПК):

1) определение расчетных климатических нагрузок и воздействий в ходе научно-технического сопровождения (НТС) проектирования ») на основе решения трехмерных стационарных и нестационарных задач аэродинамики – уравнений Навье-Стокса с «продвинутыми» моделями турбулентности (ПК ANSYS CFD)

- ветровых нагрузок на несущие и фасадные (ограждающие) конструкции и параметров пешеходной комфортности ряда высотных комплексов (гг.Москва, Самара) и большепролетных сооружений (Театры оперы и балета в гг. Севастополь и Калининград, СКК «СКА Арена» в Санкт-Петербурге, Манеж в Челябинске и многие др.)

- снеговых нагрузок на покрытия сложной формы большепролетных сооружений (Театры оперы и балета в гг. Севастополь и Калининград, «Серфинг-парк» в Москве, СКК «СКА Арена» в Санкт-Петербурге, Манеж в Челябинске, ...)

- аэроупругих колебаний гибких конструкций в связанной динамической постановке с оценкой явлений аэродинамической неустойчивости (галопирование, бафтинг, флаттер, дивергенция, вихревое возбуждение) – Национальный космический центр (250 м, Москва), Флагштоки (150 м высотой в Санкт-Петербурге), вантовый мост (Рублево-Архангельское) и др.

2) комплексное НТС проектирования в части расчетного обоснования механической безопасности при основных и особых (прогрессирующее обрушение и сейсмика) нагрузках и воздействиях

- высотных зданий и комплексов - One Tower, 404 м, Москва-Сити, Самара,...
- большепролетных сооружений культурных кластеров (Музей изобразительного искусства, г. Калининград, Театры оперы и балета в гг. Севастополь, Калининград) и Спортивно-концертного комплекса «СКА Арена» (Санкт-Петербург)

3) НТС строительства, с расчетным моделированием фактического состояния для выявленных обследованиями отступлений от проекта по геометрии, физико-механических характеристик и пр.

- спортивно-концертного комплекса «СКА Арена» (Санкт-Петербург)
- высотное здание со сложной историей возведения, консервации и реконструкции (г. Красноярск)

4) разработка, верификация, валидация и интеграция в системы мониторинга адаптивных конечноэлементных моделей геофильтрации, температурного и напряженно-деформированного состояния, динамики трехмерных систем «основание-сооружения» (ПК ANSYS Mechanical, Simulia ABAQUS, SCAD,...)

- мега-сайенс проекта тяжелоионного коллайдера NICA (Дубна, ОИЯИ, ЛФВЭ);
- мега-сайенс проекта «Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ, Новосибирск);
- гидроузла Саяно-Шушенской ГЭС – впервые комплексная детальная КЭ-модель системы «основание – водохранилище – арочно-гравитационная плотина - здание ГЭС - ...» обеспечила столь близкое соответствие результатов расчетов натурным данным

Выполнен широкий спектр методических, исследовательских и экспертных работ, среди которых – экспертиза проектов строительных нормативных документов в системе РААСН, разработка «Методического пособия «Математическое (численное) моделирование ветровых нагрузок и воздействий» к СП 20... «Нагрузки и воздействия» [6]. Успешно прошла защита 3-х кандидатских диссертаций, подготовлены к защите 4 (по указанным темам).

В докладе не обойдены вниманием и острые проблемы и вызовы компьютерному моделированию, объективные и «российские». Среди последних:

- российские строительные нормы (СП 14..., СП 20..., ...), «группа товарищей» на пути (поперек) прогресса, несмотря на очевидную необходимость синергии компьютерного и физического моделирования;
- статус и наполнение НТС проектирования, строительства и эксплуатации уникальных объектов, необходимость постановки действенных барьеров фейковым «изделиям»;
- ПК. Аттестация в НТЦ ЯРБ (+), верификация в РААСН (самокритика), сертификация в... (-);
- разработка Национального вычислительного комплекса (в строительстве). Актуально/реально ли – как и на базе чего?

Представлено также наше видение перспектив дальнейшего развития методов и программно-алгоритмического обеспечения компьютерного моделирования в задачах строительства.

Список использованных источников

1. *Белостоцкий А.М., Акимов П.А.* Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Т. 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО. М.: Издательство АСВ, 2016. 426 с.
2. *А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева.* Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. Издательство АСВ, Москва, 2017, 720 с.
3. *А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, Т.Б. Кайтуков.* Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений. Издательство АСВ, Москва, 2018, 712 с.
4. *Белостоцкий А. М., Акимов П. А., Дмитриев Д. С., Нагибович А. И., Петряшев Н. О., Петряшев С. О.* Расчетное обоснование параметров механической безопасности высотного (404 метра) жилого комплекса «One Tower» в деловом центре «Москва-Сити». // АСВ АКАДЕМИА. Архитектура и строительство, 2019, № 3, с. 122-129
5. *Akimov, P.A., Belostotsky, A.M., Kabantsev, O.V., Sidorov, V.N., Tusnin, A.R.* ABOUT THE NATIONAL SOFTWARE SYSTEM FOR STRUCTURAL ANALYSIS. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2022, 18 (1), pp. 151–155
6. Методическое пособие «Математическое (численное) моделирование ветровых нагрузок и воздействий» к СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия». Минстрой РФ, 2021 / *А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, И.Н. Афанасьева, О.С. Горячевский, Д.С. Бритиков* и др. – URL: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp11_2020.pdf (дата обращения 24.03.2023).

НОВЫЕ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОНЫ – КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ЗЕЛЁНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Каприелов С. С.¹

¹*НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», д.т.н., академик РААСН, заведующий лабораторией Москва, sskapri@gmail.com*

Ключевые слова: фазовый состав, дифференциальная пористость, прочность и непроницаемость, малоцементные бетоны, утилизация отходов, углеродный след, парниковые газы, вторичные ресурсы, органо-минеральные модификаторы

A NEW MODIFIED CONCRETE - QUALITY AND RELIABILITY OF STRUCTURES IN THE CONTEXT OF GREEN TECHNOLOGIES

Kaprielov S. S.¹

, Head of the Laboratory in Research Inst. for Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB) of JSC "Research Center "Construction", Dr. Sc.(Tech)., Academician of the RAACS, Moscow. sskapri@gmail.com

Key words: phase composition, differential porosity, strength, impermeability, low-cement concrete, waste disposal, carbon footprint, greenhouse gases, secondary resources, organo-mineral modifiers

В последние 20 лет в технологии бетона, проектировании и строительном производстве стремительно произошли значительные перемены.

Строительству предоставлены новые модифицированные бетоны, которые отличаются высокими физико-техническими, а значит технологическими и эксплуатационными свойствами.

Появились и применяются в массовом порядке [1, 2]:

- высокопрочные бетоны классов от В60 до В100;
- сверхвысокопрочные бетоны, включая дисперсноармированные, классов В110-В160;
- самоуплотняющиеся бетоны классов от В60 до В160;
- бетоны сверхнизкой проницаемости и повышенной коррозионной стойкости, включая бетоны с компенсированной усадкой и расширением;
- малоцементные бетоны с низким энергетическим потенциалом (экзотермией) для обеспечения трещиностойкости массивных конструкций.

Стремительному появлению новых бетонов способствовали два фактора – строительный бум начала 2000-х, который инициировал потребность в новых материалах, и имеющийся в нашем распоряжении научный задел.

В основе получения новых бетонов лежит сформулированная к концу 90-х теория модифицирования структуры цементного камня путем управления фазовым составом и дифференциальной пористостью, а соответственно прочностью, проницаемостью, коррозионной стойкостью. Суть теории схематично отражена на рисунках 1 и 2 [2, 3].

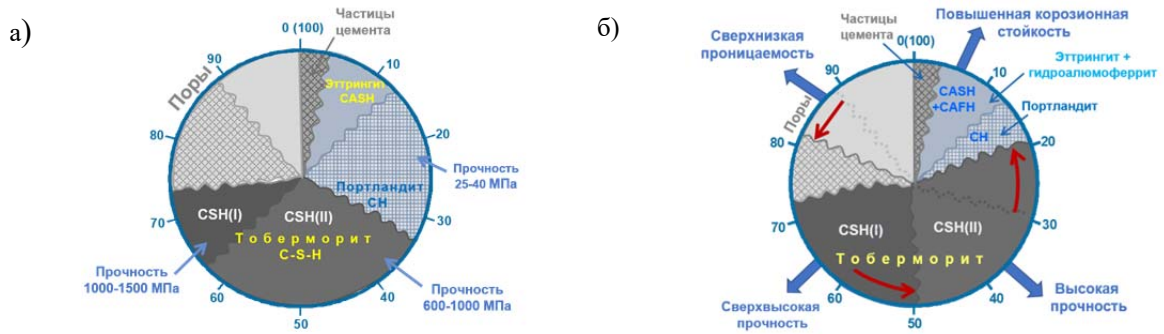


Рисунок 1 – Изменение параметров структуры обычного (а) и модифицированного (б) цементного камня

Обратим внимание на то, что гидратные новообразования являются аналогами горных пород (тоберморит назван по аналогии с горной породой, обнаруженной в Тобермори, Шотландия, этtringит – в Этtringене, Германия, портландит – в Портланд, Англия).

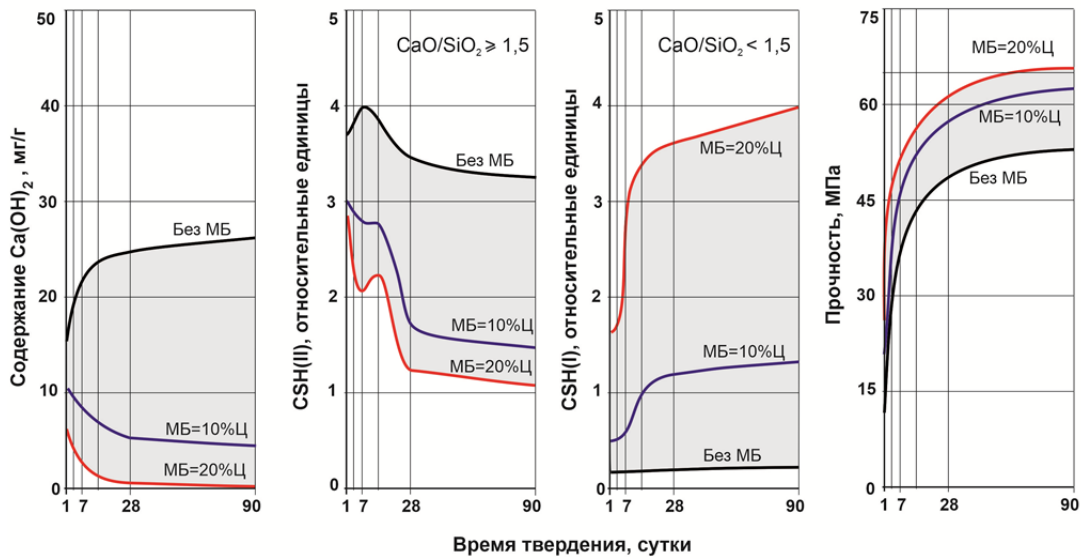


Рисунок 2 – Кинетика изменения фазового состава (CH, CSH I, CSH II) цементного камня

Пути изменения фазового состава и дифференциальной пористости цементного камня представлены ниже.



Рисунок 3 – Пути реализации принципа получения высокопрочной структуры цементного камня

Эффективным и простым путем является второй – использование обычных цементов типов ЦЕМ I ЦЕМ II в сочетании с органо-минеральными модификаторами типа МБ. Именно он привел к тому, что к настоящему времени совокупный объем конструкций из вышеуказанных высококачественных бетонов нового поколения, включая высокопрочные, превысил 6 млн.м³.

Органо-минеральные модификаторы, являющиеся ключевым фактором производства новых бетонов впервые разработаны в России и производятся в соответствии с ГОСТ Р 56178-2014.

Это:

- поликомпонентные порошкообразные продукты состоят из неорганических (труднорастворимых) и органических (хорошо растворимых) компонентов;
- первые-смесь ультрадисперсного микрокремнезема и грубодисперсной золы, которые являются пылевидными отходами, относящимися к категории «дымов»;
- вторые – продукты органического синтеза – суперпластификаторы;
- в ряде случаев присутствует расширяющий компонент для обеспечения самонапряжения бетона.

Информация о сырьевой базе приводится ниже:

- кремнеземсодержащие УДМ, включая микрокремнезем – около 200 тыс. т в год;
- грубодисперсные золы уноса – 6 млн. т в год;
- совмещение в форме МБ позволит производить не менее 400–500 тыс. т МБ в год. Это – около 5 млн. м³ конструкционного бетона;
- При производстве 1 тонны органо-минеральных модификаторов МБ используется 0,9 т пылевидных отходов;
- при использовании 1 т МБ, в зависимости от класса бетона, экономится 2,3...3,0 т цемента;
- сокращение применения цемента это – сокращение объёмов его производства и снижение выбросов в атмосферу оксидов углерода и азота, а также метана из расчета 1 тонны на каждую тонну цемента [4];

Таким образом, современная технология производства высокопрочных и малоцементных модифицированных бетонов соответствует концепции декарбонизации, или обеспечения углеродной безопасности промышленности и соответствует «Стратегии социально-экономического развития РФ до 2050 г. с низким уровнем выброса парниковых газов».

Список использованных источников

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С. Высокопрочные бетоны в конструкции фундаментов высотного комплекса «ОКО» в ММДЦ «Москва-Сити» // Промышленное и гражданское строительство № 3, 2017, С.53-57.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. «Новые модифицированные бетоны». // Кн. М., «Типография «Парадиз», 2010, 258 с.
3. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Дондуков В.Г. «Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов». // Строительные материалы № 11, ноябрь 2017, Т.7, стр.4-10.
4. Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. «Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания». Бетон и железобетон. 2022 № 3(610), С.10-14.

ЖИВУЧЕСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМНО-СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ПРИ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Колчунов В.И.¹, Московцева В.С.²

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», академик РААСН, д.т.н., проф.,
заведующий кафедрой «Уникальные здания и сооружения», Россия, asiorel@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», аспирант кафедры «Уникальные
здания и сооружения», Россия, lyavetka1@mail.ru

Ключевые слова: железобетон, сложное сопротивление, особое воздействие, динамические до-
грузки, живучесть

SURVIVABILITY OF REINFORCED CONCRETE FRAME-CORE STRUCTURAL SYSTEMS UNDER SPECIAL IMPACTS

Kolchunov V.I.¹, Moskovtseva V.S.²

¹ South-West State University, Full Member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the
Department of unique buildings and structures, Russia, asiorel@mail.ru

² South-West State University, PhD student of the Department of unique buildings and structures, Russia,
lyavetka1@mail.ru

Key words: reinforced concrete, complex resistance, special impact, dynamic loading, survivability

В связи с усложнившимися и увеличивающимися видами особых и аварийных воздействий техногенного, природного и террористического характера во всем мире активизировались исследования в области защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. В России решение этих задач вышло на уровень введения в хозяйственный оборот новых нормативных документов федерального уровня, в частности СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия», СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения». В этих документах основное внимание уделено методологии и способам защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения при так называемых особых воздействиях. Дальнейшее совершенствование этих документов связано с расширением области их применения для конструктивных систем вновь проектируемых и реконструируемых зданий и сооружений с различными более сложными видами напряженного состояния. При этом развитие фундаментальных основ этого нового направления безопасности связано с углубленным изучением проблемы живучести сооружений при таких воздействиях. Физическая природа многих явлений, связанных с такими воздействиями, не достаточно изучена и ряд эффектов, возникающих в процессе силового сопротивления конструкций и конструктивных систем при такого рода воздействиях не могут быть объяснены и соответственно оценены на основе традиционных представлений метода предельных состояний [1]. В этой связи, в работе представлено решение задачи по определению параметров живучести железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем в запредельных состояниях. Под живучестью, как и в публикации [2] будем понимать способность конструктивной системы распределять нагрузку между остальными элементами в случае удаления или повреждения одного из них. Решение задачи рассмотрено применительно к железобетонной рамно-стержневой конструк-

тивной системе каркаса многоэтажного здания со сложным напряженным состоянием в ригелях, вызванным совместным действием крутящих и изгибающих моментов (рис.1 а,б). Для оценки живучести принят параметр нагрузки (λ). Живучесть рассматриваемой конструктивной системы железобетонной рамы при ее нагружении может быть описана графиком в координатах " λ - R_{sup} ". При этом динамические усилия и обобщенная динамическая опорная реакция в k -том ригеле при рассматриваемом напряженном состоянии во вторичной расчетной схеме после внезапного удаления одной из колонн первого этажа рамы определяется квазистатическим методом на энергетической основе по методике, приведенной в работах [3, 4].

Далее производится критериальная проверка параметров предельного состояния при этом уровне (параметре) внешней нагрузки λ_{n-1} (рис 1в).

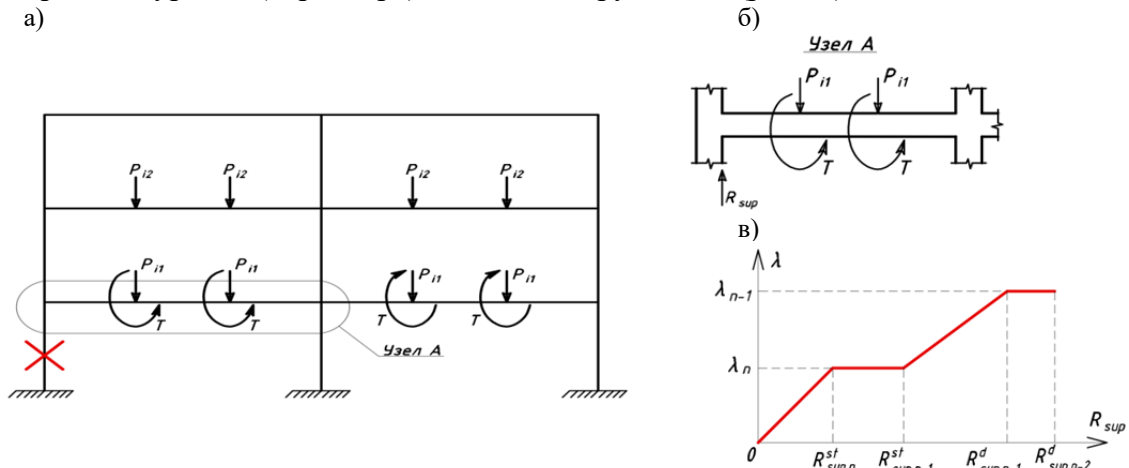


Рисунок 1 – Схема рамно-стержневой конструктивной системы (а), узел А рамно-стержневой конструкции (б), зависимость обобщенной опорной реакции R_{sup} от параметра внешней нагрузки λ (в)

Если критерий особого предельного состояния для рассматриваемого сечения выполняется, то живучесть рассматриваемой системы не исчерпана и возможно ее дальнейшее сопротивление силовому нагружению. Дальнейшее нагружение рамной системы со статической неопределимостью $n-1$ приведет к увеличению усилий в неразрушенных стержнях системы и на уровне нагрузки λ_{n-2} произойдет разрушение следующего элемента конструктивной системы. Если этот процесс продолжится, то живучесть конструктивной системы исчерпана.

Анализ проведенного расчетного анализа показал, что коэффициент динамических догружений и параметр живучести конструктивной системы зависит от материала, стадии его деформирования, наличия трещин и характера напряженного состояния в элементах конструктивной системы.

Список использованных источников

1. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю. Динамические эффекты в статически неопределимых физически и конструктивно нелинейных системах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 9. С.42-51.
2. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С.28-31.
3. Федорова Н.В., Московцева В.С., Амелина М.А., Демьянов А.И. Определение динамических усилий в сложнапряженных элементах железобетонных рам при особом воздействии // Известия вузов. Строительство. 2023. №1.
4. Savin S.Yu., Fedorova N.V., Kolchunov V.I. Dynamic forces in the eccentrically compressed members of reinforced concrete frames under accidental impacts // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 18(4) 111–123 (2022). DOI:10.22337/2587-9618-2022-18-4-111-123.

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК

*Федосов С.В.*¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», акад. РААСН, д.т.н., профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», Россия, FedosovSV@mgsu.ru

Ключевые слова: математическая физика, тепломассоперенос, аналитические и численные методы решения

AN ENGINEERING SOLUTIONS OF MATHEMATICAL PHYSICS TASKS IN APPLICATION TO TECHNICAL PROBLEMS BUILDING SCIENCES

*Fedosov S.V.*¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, acad.RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technology and Organization of Construction Production», Russia, FedosovSV@mail.ru

Key words: mathematical physics, heat and mass transfer, analytical and numerical methods of solutions

Характерной приметой сегодняшнего времени во всех его проявлениях является стремительный рост ритма жизни. Древняя мудрость гласит «*Движение есть Жизнь*». Нарастающие потребности общества требуют и ускорения темпов решения «*жизнейских*» проблем. И отрасли строительного производства развиваются опережающими темпами. Ещё одна народная мудрость: *История строительной науки написана кровью*. И чем выше требования, предъявляемые к строительным технологиям, качеству материалов и работ, тем выше требования и к безопасности строительства [1].

Всё более высокие требования предъявляются к методикам расчёта характеристик технологических процессов. Развитие компьютерных методов расчёта позволяет разрабатывать и внедрять новые и более высокоточные программные средства решения технических и технологических проблем.

Теоретической основой большинства технологических процессов переработки рудных ископаемых, первичного и вторичного сырья в строительные материалы, изделия, конструкции, здания и сооружения, являются методы дифференциальных уравнений математической физики. Анализ краевых задач переноса теплоты и массы вещества, учитывающих геометрические формы объектов, и дополненные соответствующими краевыми (начальными и граничными) условиями, позволяют находить решения множества проблем [2-4], в числе которых: расчёт кинетики и динамики процессов нагревания/охлаждения различных сред (твёрдых, жидких, газообразных) в технологической цепочке производственных процессов; определение удельных (и общих) затрат материальных и энергетических ресурсов; постановка и решение оптимизационных задач и многое другое.

В докладе приводятся примеры постановки и решения задач *теплопроводности*

и *диффузии* в телах канонической формы (пластина, цилиндр, сфера), а также задач *взаимосвязанного тепло-массопереноса* применительно к решению инженерных задач строительных технологий.

Список использованных источников

1. Федеральный Закон от 30.12.2009, №384-ФЗ (в ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
2. *Лыков А.В., Михайлов Ю.А.* Теория тепло- и массопереноса.- М.-Л., «Госэнергоиздат», 1963, 595 с.
3. *Федосов С.В.* Тепло-массоперенос в технологических процессах строительной индустрии.- Иваново, Изд. «ПресСто», 2010, 364 с.
4. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В.* Методы теории математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах. - М., Изд. АСВ, 2021, 244 с.
5. *Федосов С.В., Степанова В.Ф., Румянцева В.Е., Котлов В.Г., Степанов А.Ю., Коновалова В.С.* Коррозия строительных материалов: проблемы, пути решения. – М., Изд. АСВ, 2022. – 400 с.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК697.922

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМОВОГО РЕЖИМА НА ОБЪЕКТАХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ

Антонов А.И.¹, Леденев В.И.², Шубин И.Л.³, Яровая Т.С.⁴

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, *aiant58@yandex.ru*

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, *ledvi46@yandex.ru*

³ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)», д.т.н., директор института, Россия, *niisf@niisf.ru*

⁴ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, *semshudes@yandex.ru*

Ключевые слова: объекты с массовым пребыванием людей, расчеты прямого и отраженного звука, компьютерное моделирование шума, шумовой режим

MODELING OF THE NOISE REGIME AT OBJECTS WITH A MASS PRESENCE OF PEOPLE

Antonov A.I.¹, Ledenev V.I.², Shubin I.L.³, Yarovaya T.S.⁴

¹Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor Departments of Architecture and Building Construction, Russia, *aiant58@yandex.ru*

²Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor Departments of Urban Construction and Highways, Russia, *ledvi46@yandex.ru*

³Research Institute of Building Physics RAASN, Doctor of Technical Sciences, Director of Institute, Russia, *niisf@niisf.ru*

⁴Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, graduate student, Departments of Architecture and Building Construction, Russia, *semshudes@yandex.ru*

Key words: objects with mass presence of people, calculations of direct and reflected sound, computer simulation of noise, noise mode.

В настоящее время в городской среде имеется много объектов с массовым пребыванием людей. На таких объектах при одновременных разговорах людей создаются высокие уровни шума, мешающие восприятию передаваемой звуковой информации на открытых и закрытых объектах. В настоящее время нами на основе исследований формирования шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей разработаны методы расчета образующегося в них прямого и отраженного звука [1,2]. Для реализации методов созданы алгоритмы расчета, учитывающие особенности формирования прямого и отраженного звука в условиях открытых и закрытых объектов [1,3]. При расчетах требуется применение современных вычислительных систем. В настоящее время нами для расчета шума от объектов с массовым пребыванием на открытых пространствах и внутри помещений разработаны компьютерные программы, объединенные затем в один программный комплекс [4-6].

В качестве среды для разработки программ приняты продукты фирмы Microsoft. Программирование и отладка программ выполнена на языке программирования VisualBasic, который отличается простотой и широкими возможностями для решения

поставленных в данном случае задач.

Программы построены на основе блочно-модульного принципа, который характеризуется иерархической структурой. В этом случае при решении поставленной задачи действия выполняются в определенной последовательности. Особенностью такой структуры является возвращение после каждого выполненного действия в основное меню программы. Блочно-модульный принцип обеспечивает многогранность программной среды и удобство в разработке и отладке каждого нового блока. Каждая программа имеет набор одинаковых по назначению блоков, а именно, блок ввода исходных геометрических и акустических данных объекта и источника шума, расчетный блок и блок вывода результатов расчета.

Исходными данными для программы являются: объемно-планировочное решение помещения или геометрические параметры объекта; размещение на объекте источников звука с известными геометрическими и акустическими характеристиками; акустические свойства поверхностей ограждений при расчете звуковых полей внутри помещений. Источник звука в виде большого количества людей (толпы) на открытом пространстве в условиях городской застройки представляется как плоский источник с заданными характеристиками, такими как плотность размещения людей, акустическая мощность речи, коэффициент одновременности разговора и другие необходимые параметры толпы. Внутри помещений зона массового нахождения людей может иметь произвольную форму. Люди могут находиться в одном, в нескольких помещениях или занимать отдельные участки помещений.

Основным результатом работы программы является представление сведений о распределении звуковой энергии на объекте в удобной для пользователя форме графиков, таблиц или шумовых карт. В программе имеется возможность загрузки исходных данных из файлов формата MSExcel, а также записи результатов расчета в файлы-шаблоны для формирования отчетов.

На рис.1 дана начальная форма программы с описанием ее возможностей при оценке шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей.

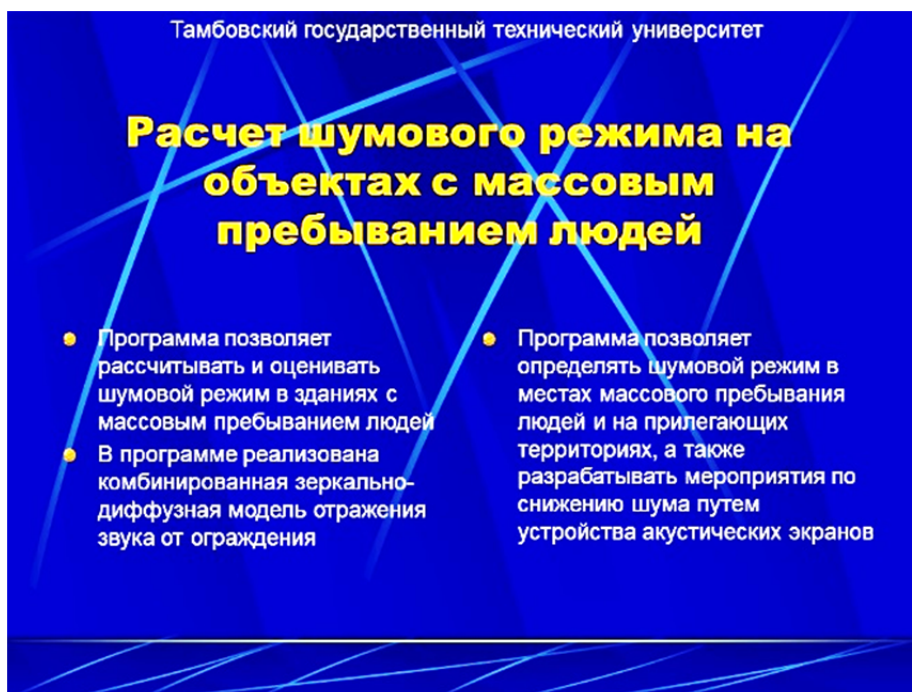


Рисунок 1 – Начальная форма программы по расчету шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей

Разработанные компьютерные программы дают возможность выполнения многовариантных разработок и получения на их основе эффективных проектных решений с комфортным акустическим режимом в местах массового пребывания людей.

Список использованных источников

1. Антонов А.И., Шубин И.Л., Яровая Т.С. Расчет распространения прямого звука в городской среде от объектов с массовым пребыванием людей // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. №3(19). С.105-112.

2. Антонов А.И., Леденев В.И., Яровая Т.С. Расчет распространения прямого звука в городской среде от объектов с массовым пребыванием людей // Строительство и реконструкция. 2017. №4(72). С.94-100.

3. Яровая Т.С., Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В. Численные методы расчета энергетических характеристик шума в помещениях с массовым пребыванием людей // Приволжский научный журнал. 2022. № 4(64). С. 26-34.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017619636 Российская Федерация. Расчет шумового режима на территориях с массовым пребыванием людей: № 2017616473: заявл. 04.07.2017: опубл. 30.08.2017 / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, Т. С. Яровая; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017619637 Российская Федерация. Расчет шумового режима в зданиях с массовым пребыванием людей: № 2017616472: заявл. 04.07.2017: опубл. 30.08.2017 / А. И. Антонов, В. И. Леденев, Т. С. Яровая; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611868 Российская Федерация. Комплексная программа по расчету звуковых полей в помещениях и проектированию средств защиты от шума: № 2019610550: заявл. 22.01.2019: опубл. 05.02.2019 / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.

ЦИФРОВЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Кашеварова Г.Г.¹

¹*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, ggkash@mail.ru*

Ключевые слова: диагностика, экспертные системы, нечеткая логика, нейронные сети

DIGITAL AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE DIAGNOSTICS OF CONSTRUCTION OBJECTS

Kashevarova G.G.¹

¹*Perm National Research Polytechnic University, Russia, ggkash@mail.ru*

Keywords: diagnostics, expert systems, fuzzy logic, neural networks

В современном мире активно развиваются цифровые и интеллектуальные технологии, динамично изменяются способы обработки и передачи информации. В соответствии с ключевыми положениями Стратегии развития информационного общества в РФ разработан план поэтапного внедрения технологии информационного моделирования (BIM-технологии) в строительную отрасль, и перевод нормативных документов в машиночитаемый формат задан на законодательном уровне, как одна из форм подачи проектной документации на экспертизу. Для развития компетенций профессионального использования специализированных цифровых технологий и широкого применения их в строительной отрасли в настоящее время: разрабатывается структура формализованных требований нормативных документов; ведется мониторинг международных и отечественных стандартов, выявление пробелов и противоречий в нормативной базе; выработка единых требований к виду и содержанию цифровых моделей объектов капитального строительства, создание системы классификаторов для их программной обработки. Это также согласуется с ключевыми положениями национальной стратегии развития технологии искусственного интеллекта¹ (ИИ) в РФ на период до 2030 года направленной на проведение научных исследований в этой сфере.

Системы ИИ – это естественный результат развития обычных информационных систем, которые в определенном смысле моделируют интеллектуальную деятельность человека, в частности, - логику его рассуждений. Фундаментальная цель развития интеллектуальных систем состоит в том, чтобы, опираясь на современные методы решения практических задач, моделировать накопленные профессиональные знания опытных специалистов, и в результате перейти от локальных решений частных задач к производству моделей знаний, встроенных в масштабные вычислительные системы.

Цель нашего исследования - разработка методологии технической диагностики эксплуатируемых строительных объектов с помощью интеллектуальных и цифровых технологий, для поддержки принятия решений экспертами при назначении категории технического состояния конструкций, зданий и сооружений или определении оста-

¹Указ Президента РФ №490 от 10 октября 2019 года

точного ресурса несущих конструкций, которые являются основанием для рекомендаций о ремонте, реконструкции или сносе объекта, а также для оценки экономического эффекта от мероприятий по обеспечению его безопасности. Внедрение интеллектуальных технологий в экспертную деятельность инженера-строителя, связанную с диагностикой, обследованием конструкций зданий и сооружений мотивировано необходимостью совершенствования технологии принятия решений о безопасности строительных объектов, а также для оценки рисков или определения их остаточного ресурса на основе выявленных при обследовании дефектов несущих, ограждающих конструкций и оснований; для обоснованного принятия решения о реконструкции, капитальном ремонте или сносе здания или сооружения.

Технологии, модели, методы

Экспертные системы (ЭС) – это наиболее распространенный вид прикладных интеллектуальных систем, основанных на явных знаниях, идея создания которых была высказана более 700 лет назад Раймундом Луллием. Своего апогея в области практических приложений эта технология достигла в середине 80-х гг. XX в. Архитектура экспертных систем является типовой для большинства проектов. Основные усилия при разработке ЭС сконцентрированы на создании двух ее условно разделенных модулей - базы знаний (БЗ) и решателя. В БЗ закладывается декларативная информация из научной и методической литературы (в нашем случае, по диагностике поврежденных конструкций зданий и сооружений), а также профессиональные знания опытных экспертов конкретной предметной области. Исключительно важными при создании ЭС являются: организация неформальной информации, в том числе поступающей с этапов обследования; ее формализация и систематизация, а также алгоритм принятия решений (процессуальные знания) и возможность обоснования результата. Для организации системы декларативных знаний в рассматриваемой предметной области целесообразно использовать методику *построения компьютерных онтологий*, которая позволяет установить математические и логические отношения между знаниями и обеспечивает унифицированное и многократное использование знаний на разных компьютерных платформах. «Онтология» в теории искусственного интеллекта – это структуризация знаний, формально представленная в виде графической многоуровневой иерархической структуры понятий с описанием их внутреннего содержания и связей между ними. Решая реальную проблему или задачу, важно выделить главное, как базис для понимания процессов и явлений, относительно которого развивается знание о предметной области и который связывает их в некоторую структуру (онтограф). Для построения онтографа использовалась своеобразная системная технология Конфайнмент®-моделирование [1] и другие техники. В данной работе представлена разработанная экспертная система, предназначенная для оперативного принятия решений о категории технического состояния конструкций [2], которая внедрена в работу экспертных групп по оценке технического состояния конструкций, что подтверждено актом внедрения и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Теория нечетких множеств и нечеткой логики представляет собой математический аппарат работы с объектами, не имеющими жестких, однозначно задаваемых границ. Наиболее поразительным свойством человеческого интеллекта является способность принимать рациональные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Разработка моделей приближенных рассуждений человека и использование их в сложных технических системах представляет сегодня одну из важнейших проблем науки. Теория нечетких множеств позволяет формально описывать нестро-

гие, нечеткие, расплывчатые понятия и производить с ними различные математические и логические операции. При диагностике состояния строительного объекта эксперты часто пользуются приближенными оценками параметров, которые нельзя интерпретировать как полностью истинные или полностью ложные. Ответы эксперта на вопросы о предпочтении факторов, влияющих на оценку технического состояния конструкции, их количестве и взаимосвязи в значительной степени являются субъективными. Поэтому, для задач, содержащих размытость и неточность, использовался именно этот математический аппарат, предложенный Л. Заде в 1965 г, который дает возможность учитывать разброс индивидуальных мнений экспертов и позволяет строить формальные схемы решения задач с приближенными количественными и качественными оценками параметров, используя при этом лингвистические переменные. Для преобразования разнородной информации в формат последующего диалога с базой знаний строятся так называемые функции принадлежности, как для входных, так и для выходных параметров [3], - своего рода, база данных. Качество решений, выдаваемых нечеткой системой, более всего зависит от профессиональных знаний экспертов и адекватности отражения их функциями принадлежности. А процесс принятия решений формируется на основе логико-лингвистических правил, составляемых авторами разрабатываемой ЭС. Рассмотрены возможности применения известных алгоритмов нечеткого логического вывода (Сугено, Мамдани, Синглтон и др. Выбор сделан в пользу алгоритма Мамдани, который модифицирован и адаптирован к решению данных задач.

Искусственные нейронные сети (ИНС) — это логические алгоритмы, функционирование которых связывают с биологическими представлениями о работе мозга человека. Понятие формального нейрона и нейронной сети было введено У. МакКоллоком и В.Питсом в 1943 году. В настоящее время это направление является интенсивно развивающейся областью прикладной математики и информатики, имеющей массу приложений. Искусственные нейронные сети выступают ценным инструментом в исследовании зависимостей «структура–свойства». Они являются хорошими аппроксиматорами различных нелинейных зависимостей. Благодаря этой способности, они наилучшим образом подходят для исследования физико-механических свойств материалов, зависящих от таких параметров, как состав раствора и смесей, различных добавок, а также для их прогнозирования. В нашей работе эта технология применялась для прогнозировать свойства бетона (расплыв конуса раствора, прочность бетона на изгиб и на сжатие), что позволило обосновать эффективность применения рассмотренного вида суперабсорбирующих полимеров (САП) в бетонных конструкциях в зависимости от дозировки САП и В/Ц [4]. Кроме того, оценена возможность применимости нейросетей для решения задачи прогноза диаметра грунтоцементного элемента для усиления грунтового основания по технологии струйной цементации.

Заключение

Учитывая современный уровень развития вычислительной техники, телеметрических методов, цифровых и интеллектуальных технологий, предложена структура комплексной интеллектуальной системы диагностики объектов массового строительства, состоящая из нескольких экспертных систем (ЭС), которые могут функционировать как единое целое, так и каждая из них отдельно [5]. Лазерное сканирование, фотограмметрия и методы цифрового документирования позволяют эффективно собирать трехмерные и пространственные данные для архитектурно-строительных объектов в базу данных (БД) облаков точек. Создание и развитие правил и классифи-

каций для информационных моделей определяют процесс создания моделей для диагностики объектов. Один из главных критериев оптимизации процессов работы с информационными моделями зданий – правильная организация процесса сбора данных и построения модели. Для прогнозирования дефектов в конструкциях здания целесообразно применять нейросетевую технологию. Обобщая результаты уже проведенных исследований, можно сделать вывод: методы и модели искусственного интеллекта имеют большие перспективы практического применения в промышленном и гражданском строительстве, а в недалекой перспективе будут играть ведущую роль на всех этапах жизненного цикла строительных объектов. Вопрос автоматизации приобретения знаний из множества естественно-языковых источников также является весьма актуальным.

Список использованных источников

1. *Кашеварова Г.Г.* Построение концептуальной конфейнмент-модели базы знаний технической диагностики зданий и сооружений. *Academia. Архитектура и строительство.* 2020. № 3. С. 116-123.
2. *Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л.* Экспертная система для практической диагностики строительных конструкций. *Academia. Архитектура и строительство.* 2022. № 2. С. 85-91
3. *GG Kashevarova, MN Fursov YL and Tonkov* Membership functions of fuzzy sets in the diagnosis of structures pathology. *Informatics, Networking and Intelligent Computing – Zhang (Ed).* ©2015 Taylor & Francis Group, London, SBN: 978-1-138-02678-0. Pages 261–264
4. *Kashevarova G.G., Sharafutdinov K.B., Saraykina K.A.* The Influence of Superabsorbent Polymer on the Performance of Concrete. *Journal of Civil Engineering Research & Technology.* Volume 3(3) (2021). pp. 1-4.
5. *Galina Kashevarova, Anastasia Semina, Svetlana Maksimova.* INTELLIGENT AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OBJECTS TECHNICAL DIAGNOSTICS. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering,* Vol. 17 No. 2 (2021). Pp. 22-33

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕОРИИ СТАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ СТЕРЖНЕВЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ СИСТЕМ НА ПРОИЗВОЛЬНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Козунова О.В.¹, Босаков С.В.²

¹*Белорусский национальный технический университет, к.т.н., доцент кафедры «Математические методы в строительстве», Беларусь, kozunova@gmail.com*

²*Белорусский национальный технический университет, д.т.н., профессор кафедры «Математические методы в строительстве, Беларусь, sevibo@yahoo.com*

Ключевые слова: стержневые и пластинчатые системы, шарнирно-соединенные балки и плиты, сетчатая фундаментная плита, комбинированное основание, упругий слой, метод Ритца, способ Жемочкина, функции влияния, осадки, контактные напряжения

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE THEORY OF STATIC CALCULATIONS OF ROD AND PLATE SYSTEMS ON AN ARBITRARY ELASTIC BASE

Kozunova O.V.¹, Bosakov S.V.²

¹*Belarusian National Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical Methods in Construction, Belarus, kozunova@gmail.com*

²*Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mathematical Methods in Construction, Belarus, sevibo@yahoo.com*

Keywords: rod and plate systems, articulated beams and plates, mesh foundation plate, combined base, elastic layer, Ritz method, Zhemochkin method, influence functions, precipitation, contact stresses

Актуальность проблемы. В рассматриваемой работе получила дальнейшее развитие методика и теория статического расчета сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании под действием внешней нагрузки, при моделировании основания различными моделями, начиная от классической модели Винклера до комбинированной модели, состоящей из модели Винклера и двухслойной модели Когана, которая весьма успешно подходит для расчета конструкций на неоднородных основаниях, имеющих слоистую структуру. Такие основания встречаются также при устройстве фундаментов и дорожных одежд на искусственном основании из песчаной подушки и моделируются комбинированными моделями [1,2].

Актуальность и своевременность предлагаемой работы заключается в том, что вопросы расчета сложных конструкций на упругом основании до настоящего времени не исследованы в полной мере и нет общего подхода к их расчету. Из истории развития статических расчетов стержневых и пластинчатых систем на упругом основании видно, что в результате научно-технического прогресса совершенствовались и уточнялись методы расчета указанных выше конструкций [3-8]. Разнообразие практических задач приводит к неоднозначному моделированию упругого основания. Обзор моделей упругого основания для расчета фундаментных балок, балочных плит и фундаментных плит сплошного сечения приводится в работах [9-11].

Авторам известны работы М.И. Горбунова-Посадова [4], И.А. Симвулиди [12], Г.Я. Попова [13], С.Н. Клепикова [6], С.Д. Семенюка [11], С.В. Босакова [8, 14], в которых различными подходами проведены исследования по расчету простых стержневых конструкций, изолированных фундаментных, в том числе сетчатых плит, а также

пространственных монолитных фундаментов, как системы перекрестных лент на упругом основании.

Общий подход методике и способа Б.Н. Жемочкина. Предлагаемая в работе методика основана на смешанном методе строительной механики [15] с использованием функций влияния Б.Н. Жемочкина [16]. Для определения коэффициентов канонических уравнений и свободных членов смешанного метода строительной механики через способ Б.Н. Жемочкина [16] в расчете используются соотношения для прогибов плит или балок с защемлением в центре, полученные ранее методом Ритца. Для упрощения соотношений Б.Н. Жемочкина в шарнирно-соединенных балках защемление с неизвестными перемещениями удобно вводить в начале или конце каждой балки.

В работе [17] обобщается методика расчета сложных инженерных систем на произвольном упругом основании, основанная на смешанном методе строительной механики с учетом соотношений Б.Н. Жемочкина для статических расчетов:

- 1) шарнирно-соединенных прямоугольных плит на комбинированном основании Винклера-Когана, модель которого предложена и апробирована в работах [2,18];
- 2) шарнирно-соединенных фундаментных балок на основании Винклера с учетом физической нелинейности материала балок [19];
- 3) сетчатых плит на линейно-деформируемом основании, который был численно апробирован для упругого полупространства [20] и для упругого слоя [21];
- 4) плоских рам на произвольном упругом основании на пространственную нагрузку [22] с учетом кручения;
- 5) фундаментных плит в форме части круга или кольца на произвольном упругом основании [23] в полярных координатах.

Численная реализация общего подхода предлагаемой методики в дальнейшем совершенствовании теории статических расчетов сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании выполнена с использованием компьютерной программы *WolframMathematica*.

Каждая сложная система разбивается на отдельные простые элементы: стержни (балки, элементы рамы), прямоугольные пластинки (плиты), ленты для сетчатых плит и перекрестных балок (лент). В свою очередь, каждая плита или лента разбивается на одинаковые прямоугольные участки, и в центре каждого участка вводится вертикальная связь, через которую осуществляется контакт плиты с упругим основанием. Для сложных стержневых систем каждый стержень (балка, элемент рамы) разбивается на участки равной длины и в центре каждого участка вводится вертикальная связь, через которую осуществляется контакт балки (рамы) с упругим основанием. По способу Б.Н. Жемочкина считается, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка.

При постановке задач вводятся классические гипотезы и допущения для контактирующих тел и зоны контакта: - считается, что на контакте конструкции с основанием действуют только нормальные напряжения, силами трения пренебрегаем [4]; - для плит и балок справедливы гипотезы теории изгиба [15], а для рам и сетчатых плит – необходимо учесть кручение; - соединительные шарниры – цилиндрические; - распределение контактных напряжений по ширине стержня (балки, элементы рамы) равномерное.

Полученная статически неопределимая система решается смешанным методом, приняв за неизвестные усилия во введенных связях, линейные и угловые перемещения защемлений нормали в центре каждой плиты, балки (рамы) или на краях балок (рам) и поперечные силы в соединительных шарнирах (алгоритм соответствующего

расчета см. ниже в задачах).

Задача 1. Авторы предлагают к обсуждению нелинейный расчет системы из шарнирно-соединенных балок на упругом основании Винклера под действием внешней нагрузки. Требуется: определить распределение контактных напряжений под балками, усилия и осадки.

Основная система смешанного метода приведена на рис. 1.

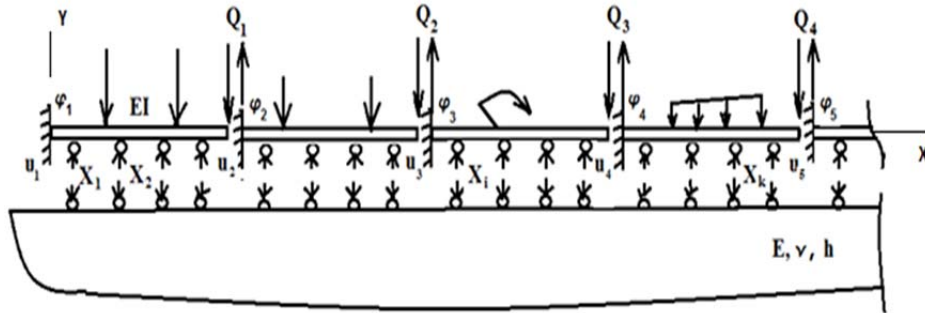


Рисунок 1 – Основная система смешанного метода шарнирно-соединенных балок на упругом основании Винклера

Система канонических уравнений смешанного метода для расчета одной балки с номером i имеет следующий вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{1,1}X_1 + \dots + \delta_{1,m}X_m + u_i - \varphi_i x_1 - \delta_{1,Q}Q_i + \Delta_{1,p} = 0 \\ \dots \\ \delta_{m,1}X_1 + \dots + \delta_{m,m}X_m + u_i - \varphi_i x_m - \delta_{m,Q}Q_i + \Delta_{m,p} = 0 \\ -\sum_{k=1}^m X_k + Q_{i,1} + R = 0 \\ \sum_{k=1}^m X_k x_k - \ell Q_{i,1} - M = 0 \\ \sum_{k=1}^m \delta_{k,Q}X_k - \delta_{i,Q}Q_i - u_i + \ell \varphi + \Delta_{Q,p} + u_{i+1} = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где m – число участков Жемочкина на одной балке;

u_i, φ_i – неизвестные линейное и угловое перемещения введенного защемления на балке с номером i ;

R, M – равнодействующая внешних сил и момент равнодействующей относительно введенного защемления на балке с номером i ;

Q_i – поперечная сила в разрезанном шарнире по правую сторону балки с номером i ;

X_k – усилие в связи Жемочкина с номером k .

Учет физической нелинейности материала в балке. После определения усилий в связях Жемочкина на контакте каждой балки с упругим основанием в результате линейного расчета, определяются величины изгибающих моментов в каждом сечении каждой балки известными соотношениями строительной механики [15]. По вычисленным значениям моментов определяется касательная жесткость для каждого участка Жемочкина на балках по формуле принятой зависимости «момент-кривизна» для сечений балки.

В работе она принята в виде гиперболического тангенса [24]. Поэтому

$$B_i^{(1)} = \frac{B_0}{\text{Cosh}^2\left(\frac{B_0}{M \text{ lim}} \chi_i^{(0)}\right)}, \quad (2)$$

где B_0 – начальная изгибная жесткость участка Жемочкина с номером i по упругому расчету (нулевая итерация);

$M \text{ lim}$ – предельный момент, воспринимаемый сечением балки. В работе определялся по программе Бета [25];

$\chi_i^{(0)}$ – кривизна на участке Жемочкина с номером i , определяемая после упругого расчета по формуле конечных разностей [26]

$$\chi_i^{(0)} = \frac{y_{i+1}^{(0)} - 2y_i^{(0)} + y_{i-1}^{(0)}}{c^2}, \quad (3)$$

где $y_i^{(0)}$ – вертикальное перемещение в центре участка Жемочкина с номером i по упругому расчету.

В дальнейшем расчете необходимо определить коэффициенты канонических уравнений $\delta_{i,k}^{(1)}$ и $\Delta_{i,p}^{(1)}$ как для балки переменной жесткости. Для этого используется представление интеграла Мора [15] в виде суммы

$$\delta_{i,k}^{(1)} = \sum_{n=1}^m \frac{M_i^n M_k^n}{B_n^{(1)}} \Delta x \quad (4)$$

Аналогичным образом определяются свободные члены $\Delta_{i,p}^{(1)}$ системы (1).

По вычисленным значениям $\delta_{i,k}^{(1)}$ и $\Delta_{i,p}^{(1)}$ снова решается система (1) и определяются новые значения $X_i^{(1)}$ в связях Жемочкина. Для определения скорректированных величин жесткости $B_i^{(2)}$ на каждом участке Жемочкина повторяются вычисления (3)-(4). Далее снова определяются $\delta_{i,k}^{(2)}$ и $\Delta_{i,p}^{(2)}$, решается система (1), определяются $X_i^{(2)}$ и т.д.

Итерационный процесс [27] заканчивается, когда разность

$$\left| M_i^{(r)} - M_i^{(r-1)} \right| \leq \varepsilon, \quad (5)$$

где ε – заданная величина погрешности.

Численные результаты приведены в работе авторов [19].

Задача 2. Рассматривается плоская рама как система различно-соединенных стержневых элементов на упругом основании под действием внешней нагрузки, которые образуют замкнутый контур. Расчетная модель плоской рамы на упругом основании и ее разбиение (расчленение) на отдельные стержневые элементы, шарнирно-соединенные в систему, представлена на рис.2. Места соединения элементов моделируются цилиндрическими шарнирами, которые при формировании основной системы заменятся парой неизвестных поперечных сил Q_{ik} . В жесткие узлы вводятся фиктивные заделки смешанного метода.

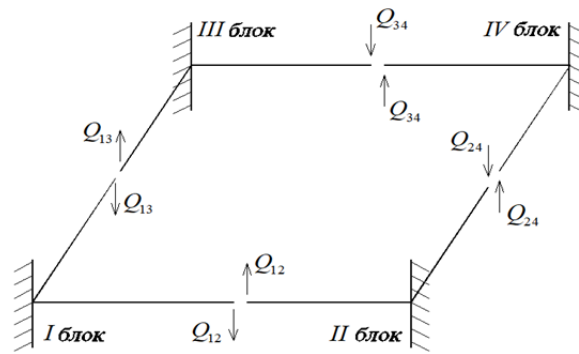


Рисунок 2 – Разбиение плоской рамы на Г-образные стержневые элементы, соединенные шарнирами

Каждый стержень плоской рамы разбивается на одинаковые прямоугольные участки и в центре каждого участка, который расположен на осях рамы горизонтально, вводится вертикальная связь, через которую осуществляется контакт плоской рамы с упругим основанием (рис. 3). Считается, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка.

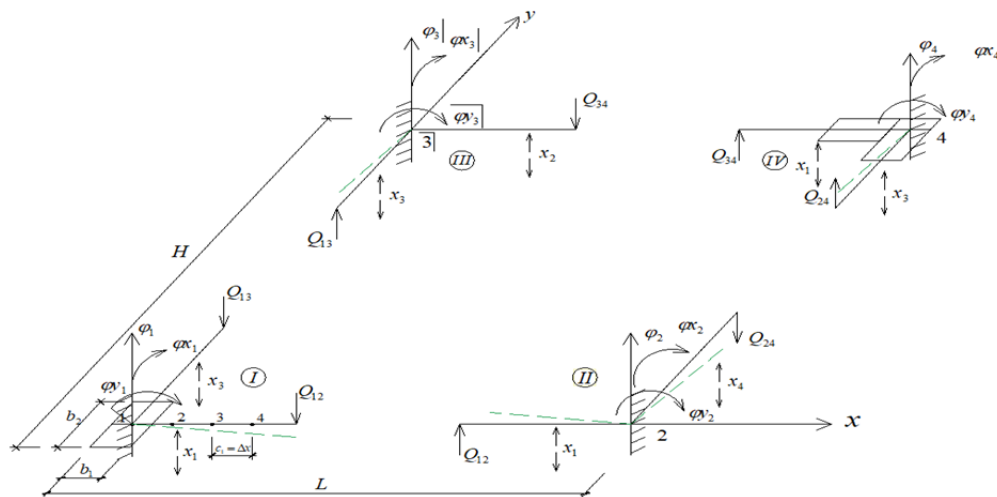


Рисунок 3 – Основная система смешанного метода плоской рамы на упругом основании

Полученная многократно статически неопределимая система решается, смешанным методом строительной механики [15], как и в задаче 1, приняв за неизвестные: усилия X_k во введенных связях Жемочкина на контакте элементов рамы и основания, линейные и угловые перемещения u_k , φ_k защемлений, введенных по центру стержней рамы (либо в углах), и поперечные силы Q_{ik} в разрезанных промежуточных шарнирах. На рис. 3 приводится расчетная модель плоской рамы как основной системы смешанного метода для Г-образного стержневого элемента, соединенного с соседним шарнирами (блок «i» основной системы). Отметим, что при действии симметричной нагрузки в местах разрезов отсутствуют крутящие моменты.

В ходе статического расчета плоских рам на упругом основании на пространственную нагрузку определяются: контактные напряжения под элементами рамы, усилия в них и осадки основания под всей плоской рамой.

Результаты расчета. Расчеты выполнялись для плоской железобетонной рамы индивидуального изготовления размерами $L=8\text{ м}$ х $H=8\text{ м}$, ширина полосы – $b=b_1=b_2=1\text{ м}$ из тяжелого бетона $C^{20/25}$ на упругом основании, моделируемом основанием Винклера с коэффициентом постели $K=200\text{ МПа/м}$ и упругого полупространства со следующими характеристиками основания $E_0 = 20\text{ МПа}$; $\nu_0 = 0.3$. Внешняя

нагрузка: сосредоточенная сила (в углах рамы) $P = 10 \text{ кН}$ и распределенная нагрузка $q = 10 \text{ кН/м}$.

На рис. 4 построены эпюры осадок упругого основания под нижней лентой рамы от распределенной нагрузки при моделировании упругого основания а) основанием Винклера, б) упругим полупространством.

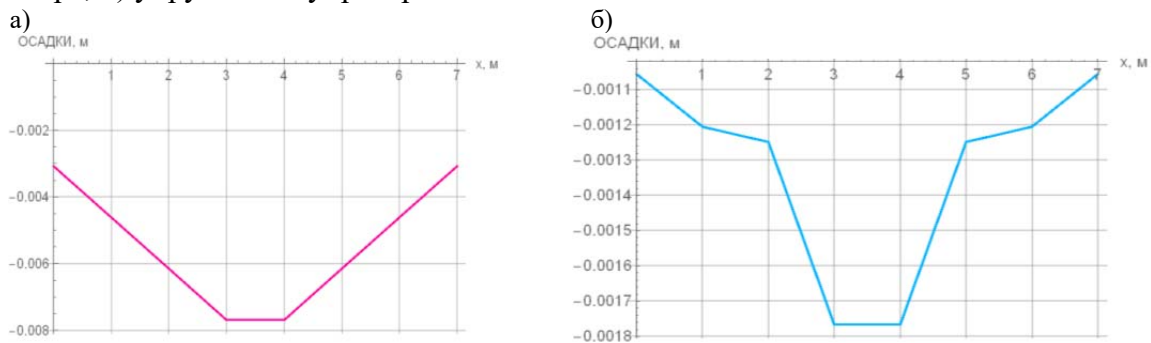


Рисунок 4 – Осадки упругого основания (м) под нижней лентой рамы

Более подробно алгоритм расчета, аналитические соотношения и численные результаты приведены в работе [22].

Задача 3. Далее авторы рассматривают задачи расчета гибких плит сложной формы на произвольном упругом основании *в полярных координатах* [4, 8]. Форма плит принимается в виде сектора круга с произвольным углом (рис. 5) или части кольца (рис. 6). Аналитические решения подобных задач известны для плит круглой или кольцевой формы в плане.

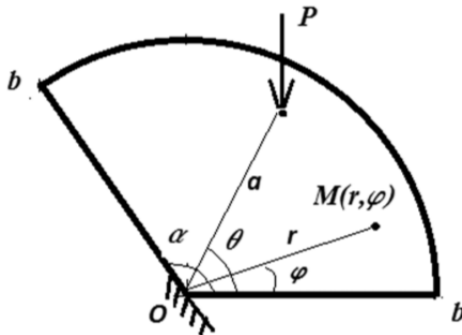


Рисунок 5 – Плита на упругом основании в форме сектора круга с защемленной нормалью

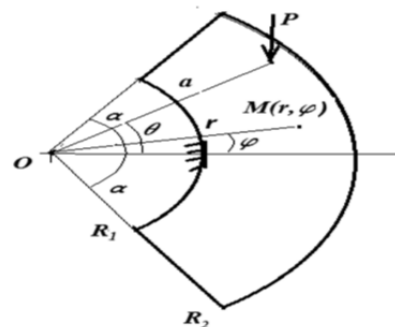


Рисунок 6 – Часть фундаментной кольцевой плиты с введенным защемлением

Расчет плит на упругом основании *в полярных координатах* ведется также способом Б.Н. Жемочкина, поэтому вначале определяются прогибы плиты в виде сектора круга с произвольным углом или части кольца с защемленной нормалью. Этот этап расчета выполняется методом Ритца[14], где за координатные функции принимаются члены ряда по произведениям степеней радиуса на тригонометрические функции угловой координаты.

Полученные выражения для прогибов плиты с защемленной нормалью позволяют сформировать систему разрешающих уравнений способа Б.Н. Жемочкина, решением которой являются линейное и угловое перемещения введенного защемления и распределение реактивных напряжений под плитой. Далее известными методами [8, 15] определяются перемещения плиты на упругом основании и усилия в ней.

Полученные результаты могут найти применение при расчете круглых и кольцевых фундаментов на неосесимметричную нагрузку и плитных фундаментов сложной

формы в полярных координатах.

Алгоритм решения задачи 3, как базовой. Рассматривается гибкая плита в форме сектора круга с заземленной нормалью под действием сосредоточенной силы (см. рис. 5). Прогибы плиты представимы в виде ряда, каждый член которого удовлетворяет геометрическим граничным условиям рассматриваемой задачи

$$W(r, \varphi) = \frac{r}{b} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{r}{b}\right)^k (A_k \cos k\varphi + B_k \sin k\varphi), \quad (6)$$

где A_k, B_k – неизвестные коэффициенты, зависящие от положения и величины силы и цилиндрической жесткости плиты.

Вычисляется функционал энергии изгиба плиты с заземленной нормалью и действующей на нее нагрузки [27] по формуле

$$\Phi = \frac{D^{b\alpha}}{2} \int_0^b \int_0^\alpha r \left(\left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 W}{\partial r^2} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \right) - \left(\frac{\partial}{\partial r \partial \varphi} \left(\frac{W}{r} \right) \right)^2 \right) \right) dr d\varphi \quad (7)$$

$$- P W_P,$$

где D, ν – цилиндрическая жесткость плиты и коэффициент Пуассона материала плиты; W_P – прогиб плиты с заземленной нормалью в точке приложения силы.

После нахождения функционала Φ составляется система линейных алгебраических уравнений метода Ритца [28]

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial A_i} = 0, & i = 1, 2, \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial B_k} = 0, & k = 1, 2, \dots \end{cases}, \quad (8)$$

решение которой позволяет найти прогибы плиты с заземленной нормалью от действия сосредоточенной силы.

Надо отметить, что в случае $\alpha = 2\pi$ координатные функции метода Ритца (6) ортогональны и можно получить точное решение в виде бесконечного быстроходящегося ряда

$$V(r, \varphi) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos k(\theta - \varphi); \quad A_k = \frac{2Pb^2}{\pi D} \frac{k \left(\frac{ar}{b^2}\right)^{k+1}}{1 + 4k^4(1-\nu) + 2k(1+\nu + 2k\nu)} \quad (9)$$

Очевидно, что в формуле (9) соблюдается теорема о взаимности перемещений [15].

Для расчета фрагмента фундаментной плиты в форме части кольца с заземленной нормалью (см. рис.6) задаемся прогибами этой плиты в виде (9), удовлетворяющему геометрическим условиям в заземлении

$$W(r, \varphi) = \frac{r^2 - 2rR_1 \cos \varphi + R_1^2}{R_2^2} \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{r}{R_2}\right)^k (A_k \cos k\varphi + B_k \sin k\varphi). \quad (10)$$

По формуле (7) находим функционал полной энергии плиты в форме части коль-

цевой плиты с введенным защемлением. Составляем систему алгебраических уравнений (8), находим ее решение. Далее, по прогибам (10) определяем коэффициенты канонических уравнений способа Б.Н. Жемочкина и распределение реактивных давлений под плитой. Как результат расчета, находятся перемещения и усилия в плите.

Надо отметить, что в монографии [29] Б.Н. Жемочкиным уже получено решение осесимметрично нагруженной круглой плиты с защемлением. Однако, этот результат имел частное значение и не был обобщен на произвольные упругое основание и место приложения внешней нагрузки.

Определение перемещений поверхности упругого полупространства от равномерно распределенной по элементарному участку в полярных координатах единичной нагрузки. Решение Буссинеска [28], как сингулярная часть выражения для перемещений поверхности упругого основания от сосредоточенной силы, входит в ряд известных моделей упругого основания [30]. Поэтому при использовании метода Б.Н. Жемочкина важно найти точное выражение для перемещений поверхности упругого основания от единичной силы, равномерно распределенной по элементарному участку площади в полярных координатах (рис.7).

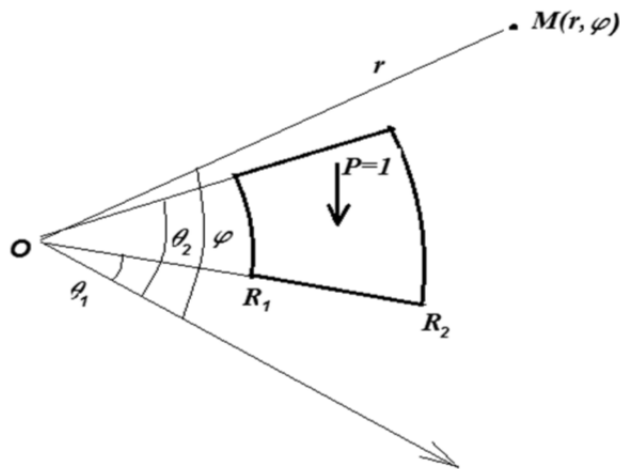


Рисунок 7 – Элементарный участок площади поверхности упругого основания в полярных координатах

Используя формулу Графа [31], в работе [32], было получено искомое выражение. Однако можно получить более простое выражение непосредственным интегрированием формулы Буссинеска: сначала по радиусу, потом по углу.

Представим это перемещение в следующем виде

$$V(r, \varphi) = \frac{P(1 - \nu_0^2)}{\pi E_0 b} F(r, \varphi, R_1, \theta_1, R_2, \theta_2), \quad (11)$$

где E_0, ν_0 – модуль упругости и коэффициент Пуассона упругого полупространства; b – наружный радиус части плиты; $F(r, \varphi, R_1, \theta_1, R_2, \theta_2)$ – безразмерная функция, полученная интегрированием решения Буссинеска по площади участка (см. рис. 3).

Численные результаты приведены в работе авторов [23].

Выводы и заключение. Несомненным достоинством способа Б.Н. Жемочкина и предлагаемого общего подхода в целом является возможность учета различных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкции и основания: пригрузки основания, переменной жесткости конструкции, влияния соседних

конструкций, изменения вида упругого основания, сил трения в контактной зоне и другие. Все эти факторы вносят значительные трудности при расчете сложных стержневых и пластинчатых систем на упругом основании в такие численно-аналитические способы, как способ ортогональных многочленов или способ степенных рядов, и приходится инженеру-проектировщику использовать компьютерное моделирование и численные методы в программных комплексах Лира-САПР, ANSYS и др.

Возможности способа Б.Н. Жемочкина были в полной мере раскрыты инженерами второй половины XX века в рамках технических параметров вычислительной техники того времени. Относительная простота и универсальность обусловили обширное его практическое применение в области строительных и геотехнических расчетов. Он был рекомендован к использованию в популярной учебной литературе по железобетонным конструкциям и фундаментастроению, исследование на его основе изменили представление о работе рандбалок и перемычек, несущих кирпичных стен. По результатам расчета способом Б.Н.Жемочкина спроектировано и возведено много сложных объектов строительства. Однако потенциал этого способа до конца не исчерпан, и поэтому можно встретить примеры [33-37] его использования для аналитического расчета задач теории упругости и верификации результатов численных методов.

Список использованных источников

1. Коган, Б.И. Напряжения и деформации многослойных покрытий/ Б.И. Коган //Тр. ХАДИ, 1953, вып.14.– С.33-46.
2. Босаков С.В. Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании/ С.В. Босаков, С.И. Зиневич, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М.– №4 (279)– 2018 – с.2-5.
3. Горбунов-Посадов, М.И. Балки и плиты на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов. – М.:Машстройиздат, 1949. – 238 с.
4. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 680 с.
5. Корнев, Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании / Б.Г. Корнев. – М.: Госстройиздат, 1954. – 231 с.
6. Клепиков, С.Н. Расчет конструкций на упругом основании / С.Н. Клепиков. – Киев: Будівельник, 1967. – 184 с.
7. Развитие теории контактных задач в СССР / Академия наук СССР, Ин-т проблем механики; отв.ред. Л.А. Галин. – М.: Наука, 1976. – 496 с.
8. Босаков, С.В. Статические расчеты плит на упругом основании / С.В. Босаков. – Минск: БНТУ, 2002. – 128 с.
9. Тарасевич, А. Н. Изгиб самонапряженных плит на упругом основании :дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 / А. Н. Тарасевич. – Брест, 2001. – 125 л.
10. Козунова, О. В. Статический анализ системы «балочная плита – нелинейно-упругое неоднородное основание» вариационно-разностным методом: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / О. В. Козунова. – Минск, 2017. – 168 с.
11. Семенюк, С.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно-деформируемом основании / С.Д. Семенюк– Могилев, БРУ, 2003. – 269 с.
12. Симвулиди, И.А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И.А. Симвулиди. М.: Высшая школа, 1987 – 576 с.
13. Попов, Г.Я. О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве // Г.Я. Попов/ Изв. Вузов: Строительство и архитектура, 3,1959. – С.25-33.
14. Босаков, С. В. Метод Ритца в контактных задачах теории упругости / С. В. Босаков. – Брест: БрГТУ. – 2006. – 107 с.
15. Ржаницын, Р.А. Строительная механика / Р.А. Ржаницын. – М., Высшая школа, 1991. – 439с.
16. Жемочкин, Б.Н. Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин, А.П. Синицын. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Госстройиздат, 1962. – 240 с.

17. Козунова, О.В. Общий подход к расчету сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании / О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №2 (290) – 2020– с. 20-25.
18. Козунова О.В. Использование модели трехслойного основания в расчетах шарнирно-соединенных дорожных плит / О.В. Козунова // Вестник БрГТУ – Брест, №1 (119) –2020. – С. 44–52.
19. Босаков, С. В. Развитие теории расчета шарнирно-соединенных балок на упругом основании с учетом их физической нелинейности / С.В. Босаков, О.В. Козунова // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 11–24.
20. Босаков, С.В. Развитие теории расчета сетчатых плит на упругом основании/ С.В. Босаков, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №3 (290) – 2020– с. 20-25.
21. Босаков, С. В. Расчет фундаментных сетчатых плит на упругом слое/ С.В. Босаков, О.В. Козунова // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 12. – С. 11–27.
22. Козунова О.В. Некоторые вопросы расчета плоских рам на упругом основании на пространственную нагрузку/ О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №4 (297) – 2021– с. 17-24.
23. Босаков, С.В. Способ Б.Н. Жемочкина в расчетах плит в форме части круга или кольца на произвольном упругом основании/ С.В. Босаков, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №1 (294) – 2021– с. 40-44.
24. Козунова, О.В. Применение МКР в нелинейных расчетах балок на однородном упругом слое / О.В. Козунова // Международный сборник научных статей «Ресурсоэкономматериали, конструкції, будівлі та споруди» – Ровно, Украина –2008. – Вып.17 – 447 с. – С. 373–381.
25. ПК Радуга. Версия 2.Руководство пользователя. Сост. Лешкевич О.Н. –Новополоцк, Изд. ПГУ– 31с.
26. Ильин, В.П. Численные методы решения задач строительной механики: справочное пособие / В. П. Ильин, В.В. Карпов, А.М. Масленников– Мн.: Вышэйшая школа, 1990. – 349с.
27. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности: уч. для строит. спец. вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – 2-е изд., испр. – М.:Выш.шк.,2002 – 400 с.
28. Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. –М.Наука–1975–576с.
29. Жемочкин, Б.Н. Расчет круглых плит на упругом основании / Б.Н. Жемочкин – М.: Изд. ВИА –1939 – 68 с.
30. Ворович, И.И. Неклассические смешанные задачи теории упругости / И.И. Ворович, В.М.Александров, В.А. Бабешко –М.: Физматлит–1974– 456с.
31. Градштейн, И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений /И.С.Градштейн, И.М.Рыжик –М.: Физматлит–1963–1100с.
32. Босаков С.В. Неосесимметричная контактная задача для кольцевой пластинки /С.В. Босаков, С.Генфуд/НТЖ: Прикладная механика, М. –т.53, №5, 2017 –С.101-107.
33. Дмитриева (Юркова), К.В. Расчет жесткой стенки в упругом весомой полуплоскости / К.В. Дмитриева (Юркова) // Наука и техника – 2016. – №6. – Т.15.– С.493-503 [DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-6-493-503].
34. Бартоломей, Л.А. Применение метода Б.Н.Жемочкина для совместного расчета системы «основание-фундамент-здание» / Л.А. Бартоломей, Н.Ю. Киселев, А.А. Цернант // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» –Том 9 –№4 (2017)– С. 44-49.
35. Босаков, С.В. Решение пространственной контактной задачи для шарнирного узла опирания однопролетной балки / С.В. Босаков, П.Д. Скачэк // Строительная механика и расчет сооружений. – 2019. – №4 (285) – С. 10-19.
36. Босаков, С. В. Решение пространственной контактной задачи шарнирных узлов опирания балки на упругие четвертьпространство и одну восьмую пространства/ С.В. Босаков, П.Д. Скачэк // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 12. – С. 28–44. (на англ. языке)
37. Bosakov S. V. Application of B.N. Zhemochkin's Method to Analysis of a Bendable Slab on an Elastic Bed// Soil Mechanics and Foundation Engineering – 2003. – Vol.40, Issue 2 – Pp.48-54 [DOI: 10.1023/A:102448001627].

О РАЗВИТИИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МКЭ ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

Мангушев Р.А.¹, Дьяконов И.П.², Полунин В.М.³, Башмаков И.Б.⁴, Колюкаев И.С.⁵

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский архитектурно строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Геотехники», Россия, ramangushev@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский архитектурно строительный университет», к.т.н., профессор кафедры «Геотехники», Россия, idjkanv@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский архитектурно строительный университет», аспирант кафедры «Геотехники», Россия, n1ce2u@yandex.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский архитектурно строительный университет», аспирант кафедры «Геотехники», Россия, 179bib@gmail.com

⁵ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский архитектурно строительный университет», магистрант кафедры «Геотехники», Россия, ilja.xd@yandex.ru

Ключевые слова: численное моделирование, геотехника, нелинейные модели материалов, модель грунта, метод конечных элементов, механика грунтов

ABOUT THE DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF SOFTWARE FEM COMPLEX FOR GEOTECHNICAL PRACTICE

Mangushev R.A.¹, Dyakonov I.P.², Polunin V.M.³, Bashmakov I.B.⁴, Kolyukaev I.S.⁵

¹ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Professor of the Department of Geotechnics, Russia, ramangushev@yandex.ru

² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Associate Professor of the Department of Geotechnics, Russia, idjkanv@yandex.ru

³ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering PhD student of the Department of Geotechnics, Russia, n1ce2u@yandex.ru

⁴ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, PhD student of the Department of Geotechnics, Russia, 179bib@gmail.com

⁵ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, undergraduate student of the Department of Geotechnics, Russia, ilja.xd@yandex.ru

Key words: numerical modeling, geotechnics, non-linear material models, soil model, finite element method, soil mechanics

В изменившейся политико-экономической ситуации в стране возникла настоятельная необходимость в разработке и созданию отечественных вычислительных комплексов, позволяющих прогнозировать развитие и изменение напряженно-деформированного состояния основания и сооружений с целью обеспечения их механической и технологической безопасности

В настоящее время наиболее популярным методом расчета грунтовых оснований является численное моделирование с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Это связано с его математической основой, позволяющей довольно точно описывать физические уравнения, используемые в теории упругости и строительной механики и учитывать особенности грунтовой среды. Практический опыт показывает [1-3], что в условиях слабых грунтов и когда в зону влияния попадают здания, чувствительные к неравномерным деформациям, требуется подходить к каждому случаю индивидуально. В связи с этим, это требует правильно выбрать модель грунтовой среды для описания грунтов и особенностей их поведения в задачах выемки котло-

вана и оценке влияния строительства нового здания. Существующие модели грунтов из семейства нелинейных моделей, такие, как Modified Cam-Clay, Soft Soil, Hardening soil и пр., далеко не всегда удовлетворительно описывают поведение слабого грунта. В современных расчетных программах возможно задать свою собственную модель грунта, но этот вариант подразумевает не только физико-математическое описание пользовательской модели грунта, но и ее адаптацию к методу конечных элементов.

На основе указанного отмечено, что важной задачей является разработка отечественного программного комплекса, реализующего метод конечных элементов в задачах прикладной геотехники. Разработка программного комплекса позволит адаптировать собственные модели грунтов к методу конечных элементов; изменить и совершенствовать вычислительные методы решения нелинейных и нестационарных задач; повысить качество образовательного материала в области численных методов для инженеров и обучающихся, специализирующихся в области геотехники.

Дается краткое описание, выполненных авторским коллективом исследований по систематизации и расширению существующих работ в области численных методов [4-8]. Отмечено, что в рассмотренных работах приведены общие уравнения для реализации численных методов в матричном виде и расчетов локальных матриц жесткости, однако мало уделено внимания вопросам работы с сеткой конечных элементов; созданию векторов правой части; генерации глобальной матрицы жесткости; учету граничных условий Дирихле и Неймана; графическому представлению информации.

Приведена этапность перспективы разработки программного комплекса для решения геотехнических задач численными методами которая представлена следующим образом.



Рисунок 1 – Общая блок схема работы программы, реализующей метод конечных элементов

На основе фундаментальных разработок в области численных методов в геотехнике и приведенной выше блок-схемы выше, авторами разработана «альфа» версия расчетной программы, которая позволяет выполнять линейные, нестационарные и нелинейные расчеты с помощью метода конечных элементов.

Представлены примеры реализованной авторами программы для решения геотехнических задач численными методами, в частности, задача о напряженно деформируемом состоянии грунтового склона методом конечных элементов. Проведено сравнение полученных результатов с расчетами в программном комплексе PLAXIS 2D.

Список использованных источников

1. Мангушев Р. А., Осокин А. И., Левинская П. Г. Перспективы устройства подземных паркингов в условиях стесненной застройки исторического центра Санкт-Петербурга // Жилищное строительство. 2019. № 4. С. 3-18.
2. Мангушев Р.А., Дьяконов И.П., Полунин В.М. численные расчеты в геотехнической практике. (Опыт применения конечно-элементного программного комплекса 'ПЛАКСИС'): учеб.-практич. пособие. М.: Изд-во АСВ, 2022.
3. Мангушев Р.А., Пеньков Д.В. Сравнение результатов численных расчетов с использованием современных моделей грунта (hardening soil, hardening soil small и generalized hardening soil) с результатами мониторинга // Вестник гражданских инженеров. – 2021 – №2(85). – С.85-93.
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987.– 359 с.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Москва: Издательство Мир, 1975.–393 с.
6. Парамонов В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. – СПб.: Группа компании «Геореконструкция», 2012. – 263 с.
7. Галлагер Р. Метод конечных элементов основы. Москва: Издательство Мир, 1984. – 428 с.
8. Сахаров И.И., Полунин В.М., Литвинов П.В. Математическое моделирование изменения температуры на языке программирования Python // Жилищное строительство. 2023. №1-2. С. 65-70

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ ПРЕДЫСТОРИИ НАГРУЖЕНИЯ

Мирсаяпов И.Т.¹, Королева И.В.²

¹ ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Основания, фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология», Россия, mirsayapov1@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология», Россия, 79178711218@yandex.ru

Ключевые слова: расчетная модель, численные методы расчета, плитный фундамент, коэффициенты постели, высотное здание

COMPUTATIONAL MODEL OF A HIGH-RISE BUILDING BASE GROUND DEFORMATION WITH CONSIDERING THE LOADING PREHISTORY

Mirsayapov I.T.¹, Koroleva I.V.²

¹ Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Foundations, Foundations, Dynamics of Structures and Engineering Geology", Russia, mirsayapov1@mail.ru

² Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Foundations, Foundations, Dynamics of Structures and Engineering Geology", Russia, 79178711218@yandex.ru

Key words: calculation model, numerical calculation methods, slab foundation, bed coefficients, high-rise building

В современных условиях грунтовые основания фундаментов зданий и сооружений подвергаются воздействию разного рода статических и динамических нагрузок при их различных сочетаниях. Существующие методы расчета оснований по деформациям разработаны для случая однократного кратковременного статического нагружения с постоянными параметрами на весь период эксплуатации. В реальных же условиях строительства и эксплуатации нагрузки на грунтовое основание прикладываются поэтапно по мере возведения здания или сооружения. При этом этапы активного нагружения в период строительства переходят в этапы длительной выдержки под нагрузкой. В связи с этим возникает необходимость усовершенствования методики расчета осадок оснований фундаментов при режимных длительных статических нагружениях. Эта задача особенно актуальна для высотных зданий с развитой подземной частью, с основаниями сложенными глинистыми грунтами, напряженно-деформированное состояние которых меняется во времени и зависит от истории предшествующего нагружения. В связи с этим были проведены численные исследования осадок основания фундамента высотного здания с использованием различных расчетных моделей, в том числе модифицированной модели Пастернака на основе расчетной модели грунта при трехосном режимном нагружении [1-3]. Характеристики высотного здания и грунтового основания были приняты по данным, представленным организаторами круглого стола в рамках Международного форума высотно-

го и уникального строительства 100+FORUM RUSSIA [4].

В работе рассмотрена предыстория загрузки основания на этапе строительства, что через 35 месяцев с начала строительства нагрузка от здания составила 75 % от полной.

При исследовании осадок здания были рассмотрены следующие расчетные модели:

1. Плитный фундамент в виде штампа;
2. Пространственная модель каркаса, включающая в себя только подземные, надземный, технический (распределительный) этажи и фундамент на упругом основании, заданном в виде коэффициентов постели;
3. Пространственная модель полного здания с фундаментом на упругом основании, заданном в виде коэффициентов постели.

Расчеты каждой модели проводились в двух вариантах. В одном варианте при вычислении коэффициентов постели задавались модули деформации грунтов основания E , принятые на основании данных инженерно-геологических изысканий. В другом – значения E_1 , полученные на основе модели грунта при трехосном режимном нагружении с учетом пространственного напряженно-деформированного состояния грунта в каждой точке основания, этапности нагружения и изменения реологических свойств грунтов, включая ползучесть, разуплотнение и уплотнение при длительном действии нагрузки в соответствии с рекомендациями [1-3].

Выполненные численные исследования осадок основания фундамента высотного здания на основе предложенной модели позволили получить результаты расчета, имеющие хорошую сходимость с данными мониторинга. Отклонение расчетной средней осадки от реальной составило не более 1 %.

Список использованных источников

1. *Мирсаяпов И.Т., Королева И.В.* Расчетная модель длительного нелинейного деформирования глинистых грунтов при сложном напряженном состоянии // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 121-128.
2. *Мирсаяпов И.Т., Королева И.В.* Особенности деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении // Известия КГАСУ, 2012, № 4 (22). С. 193-198.
3. *Mirsayapov I.T., Koroleva I.V.* Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Proc. intern. symp. Seoul, Korea. 2014. P. 401-404.
4. Материалы Международного форума высотного и уникального строительства 100+FORUM RUSSIA, 23-25 сентября 2015 г. – Екатеринбург. URL: <http://www.forum-100.ru> (дата обращения: 08.09.2015).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПЕРФОРИРОВАННОГО РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОД КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Мондрус В.Л.¹, Сизов Д.К.², Акимова И.В.³

¹ НИУ «Московский государственный строительный университет», д.т.н., член-корреспондент РААСН, Заведующий кафедрой СиТМ, Россия, mondrus@mail.ru

² ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», к.т.н., начальник отдела виброизмерений и проектирования виброзащиты, Россия, newfff@mail.ru

³ ООО «ВИБРОСЕЙСМОЗАЩИТА», инженер, Россия, vibroprotect@mail.ru

Ключевые слова: резинометаллические виброизоляторы, численные методы расчета, конструирование, виброзащита

DETERMINATION OF THE CHARACTERISTIC FEATURES OF THE OPERATION OF A PERFORATED RUBBER-METAL VIBRATION ISOLATION WITH THE USE OF MODERN SOFTWARE COMPLEXES IMPLEMENTING THE FINITE ELEMENT METHOD

Mondrus V.L.¹, Sizov D.K.², Akimova I.V.³

¹ National Research University "Moscow State University of Civil Engineering", Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the RAACS, Head of the Department of SiTM, Russia, mondrus@mail.ru

² LLC "VIBROSEISMOZASCHITA", head of the department of vibration measurements and design of vibration protection, Russia, newfff@mail.ru

³ LLC "VIBROSEISMOZASCHITA", engineer, Russia, vibroprotect@mail.ru

Key words: rubber-metal vibration isolators, numerical calculation methods, design, vibration protection

Одним из наиболее перспективных методов защиты зданий и элементов технологического оборудования от вибрационного воздействия различной природы являются системы виброзащиты, основанные на применении виброизоляторов. Современные конструктивные формы виброизоляторов, материалы, используемые для изготовления и технические характеристики виброизоляторов весьма различны, но одним из наиболее часто используемых типов виброизоляторов, наряду с пружинными, полиуретановыми, также используемыми для виброзащиты зданий, является резинометаллические виброизоляторы [1].

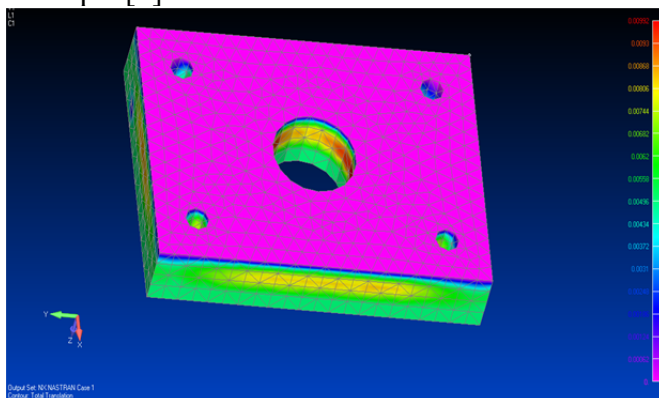


Рисунок 1 – Конечноэлементная модель перфорированного резинометаллического виброизолятора

Конструктивно данное устройство представляет собой чередующиеся резиновые слои постоянной толщины и армирующих слоев, чаще всего выполняемых в виде стальных пластин, сеток и отдельных стержней, позволяющих значительно повысить грузоподъемность виброизоляторов. Многообразие габаритов в плане, особенности конструктивного оформления армирующих слоев, а также их сопряжения с рабочим телом таких устройств - резиновыми слоями требует применения универсальных программных комплексов, позволяющих выполнить моделирование работы таких устройств еще до их практического внедрения в практику строительства. Наиболее перспективным и позволяющим в наибольшей степени учесть особенности работы резины как конструкционного материала являются программные комплексы, основанные на использовании метода конечного элемента (МКЭ). Использование метода МКЭ позволяет также определить компоненты напряженно-деформированного состояния здания в процессе монтажа виброизоляторов и их эксплуатации [2].

Как известно, резина является практически несжимаемым материалом, её коэффициент Пуассона близок к 0,5, поэтому эффективная упругая работа резинометаллического виброизолятора возможна только за счет свободной поверхности резинового тела, то есть для повышения эффективности работы резинометаллических виброизоляторов требуется найти баланс между максимальным развитием боковой поверхности упругих слоев (что может быть достигнуто за счет перфорирования упругого слоя) и максимальной грузоподъемностью, достижение которой, напротив, возможно за счет более частого расположения армирующих слоев.

В докладе рассматриваются резинометаллические виброизоляторы с различным расположением перфорации в пределах резинового слоя в плане и различные размеры перфорации. Использование перфораций, размещенных в центре виброизоляционного слоя приводит к уменьшению концентрации зоны всестороннего сжатия в виброisolаторе, приводя к существенному изменению как защитных свойств виброизолятора, так и сказывается на грузоподъемности виброизолятора. Безусловно, данная задача является оптимизационной и может иметь ряд наиболее выгодных для практики решений, в материалах доклада в наибольшей степени приводится качественная оценка влияния отверстий на динамические и статические свойства резинометаллического виброизолятора и их эффективность для снижения прогнозных значений [3] уровней вибрации в эксплуатируемых помещениях.

Список использованных источников

1. Виброзащита зданий / *М.А. Дашевский, В.В. Мондрус, В.В. Моторин, Д.К. Сизов*. Москва: Изво ООО «Сам Полиграфист», 2021. 252 с.
2. *Дашевский М.А., Моторин В.В., Акимова И.В.* Формирование напряжённого состояния виброизолируемого здания в процессе монтажа резинометаллических виброизоляторов// Москва, Вестник МГСУ, 2015, №12.
3. *Дашевский М.А., Мондрус В.Л.* Прогноз уровней вибрации зданий от движения поездов метрополитена// Промышленное и гражданское стр-во. 2013, № 11, С.52-54.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ КОМПОЗИТНЫХ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ ДЕМПФИРОВАНИЯ С ПАМЯТЬЮ

Сидоров В.Н.¹, Бадьина Е.С.², Детина Е.П.³, Макарова Е.А.⁴

¹ *Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики,*

Россия, sidorov.vladimir@gmail.com

² *Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, к.т.н., старший научный сотрудник научно-образовательного центра компьютерного моделирования уникальных зданий, сооружений и комплексов, Россия, shepitko-es@mail.ru*

³ *Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, ст. преподаватель кафедры информатики и прикладной математики, Россия, detinaep@mgsu.ru*

⁴ *Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, учебный мастер кафедры информатики и прикладной математики, Россия, makarovaEA@mgsu.ru*

Ключевые слова: демпфирование с памятью, колебания конструкций, композитные материалы, нелокальная механика, метод конечных элементов

NUMERICAL SIMULATION OF COMPOSITE FRAME STRUCTURES VIBRATIONS TAKING INTO ACCOUNT DAMPING WITH MEMORY

Sidorov V.N.¹, Badina E.S.², Detina E.P.³, Makarova E.A.⁴

¹ *Moscow State University of Civil Engineering, Head of the department of Informatics and Applied Mathematics, Russia, sidorov.vladimir@gmail.com*

² *Moscow State University of Civil Engineering, Senior Researcher of Scientific and Educational Center of Computer Simulation of Unique Buildings, Structures and Complexes, Russia, shepitko-es@mail.ru*

³ *Moscow State University of Civil Engineering, Senior Lecturer of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Russia, detinaep@mgsu.ru*

⁴ *Moscow State University of Civil Engineering, Study Master of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Russia, makarovaEA@mgsu.ru*

Key words: damping with memory, structural vibrations, composite materials, nonlocal mechanics, finite element method

При проектировании конструкций из новых композитных материалов с управляемыми свойствами часто, в той или иной степени, возникает необходимость решения оптимизационных задач. Процесс решения таких задач осложняется тем, что для адекватного описания поведения композитных конструкций под нагрузкой требуются подробные трёхмерные модели, позволяющие рассматривать свойства материалов, например, как ортотропные или анизотропные. В качестве альтернативы могут быть использованы одномерные модели конструктивных систем, построенные на основании специальных гипотез. Такой подход позволит в значительной степени сократить ресурсоёмкость задач оптимизации, что крайне важно на начальной стадии проектирования, при сравнении различных вариантов конструкций. В настоящем исследовании одномерная модель колебаний композитной рамы построена на основании принципов нелокальной механики [1]. Нелокальная во времени модель демпфирования в материале (демпфирования с памятью) была интегрирована в алгоритм метода конечных элементов, что делает её применимой для численного моделирования сравнительно сложных стержневых систем.

Уравнение движения деформируемой системы в алгоритме метода конечных элементов с учетом рассеяния энергии колебаний представляется в матричном

виде [2]:

$$M\ddot{V}(t) + D\dot{V}(t) + KV(t) = F(t), \quad (1)$$

где $V(t)$ – вектор узловых перемещений (точкой обозначена производная по времени), K – глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели, D – матрица демпфирования, M – матрица масс, $F(t)$ – вектор внешних нагрузок. В настоящей работе использовалась матрица жесткости рамного конечного элемента с тремя степенями свободы в каждом из двух его узлов.

При переходе к нелокальной во времени модели демпфирования материала (модели демпфирования с памятью) предполагается, что диссипативные силы в конструкции зависят не только от текущего значения скорости деформаций конечных элементов, но и от значений скоростей деформаций на всей истории колебательного процесса. При этом уравнение (1) принимает вид:

$$M\ddot{V}(t) + D \int_0^t G(t-\tau)\dot{V}(\tau)d\tau + KV(t) = F(t). \quad (2)$$

Ядровая функция $G(t-t_1)$ характеризует убывание влияния моментов колебательного процесса друг на друга по мере увеличения временного промежутка между ними, причём соблюдается условие нормирования: $\int_0^t G(t-\tau)d\tau = 1$. В настоящей работе в качестве ядра оператора внутреннего демпфирования использована функция ошибок: $G(t-\tau) = \frac{2\mu}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\mu^2(t-\tau)^2}$. Здесь μ – масштабный параметр, характеризующий степень нелокальности демпфирования материала. Чем меньше значение μ , тем более нелокальной является модель, и тем меньше уровень демпфирования в системе.

В качестве численных примеров рассматривались колебания двух стеклопластиковых П-образных рам высотой 6 м. Пролёт верхнего ригеля одной рамы составляет 8 м, а другой 4 м.

Для численного решения уравнения динамического равновесия конструкции (2) использовалась модификация метода Ньюмарка [2].

Калибровка нелокальной модели демпфирования (определение масштабного параметра μ) производилась по результатам численного моделирования колебаний рам в программном комплексе SIMULIA Abaqus. Трёхмерные твердотельные расчетные модели рассматриваемых рам были построены с учётом ортотропных свойств композитного материала.

Сравнение результатов, полученных для рассматриваемых рам по предлагаемой методике с результатами численного эксперимента приведены на рисунке 1. Прогиб и время представлены в безразмерном виде: $\tilde{t} = t\omega_0$, $\tilde{d} = \frac{d}{L}$. Здесь L – пролет верхнего ригеля в свету, а ω_0 – наименьшая собственная частота колебаний конструкции.

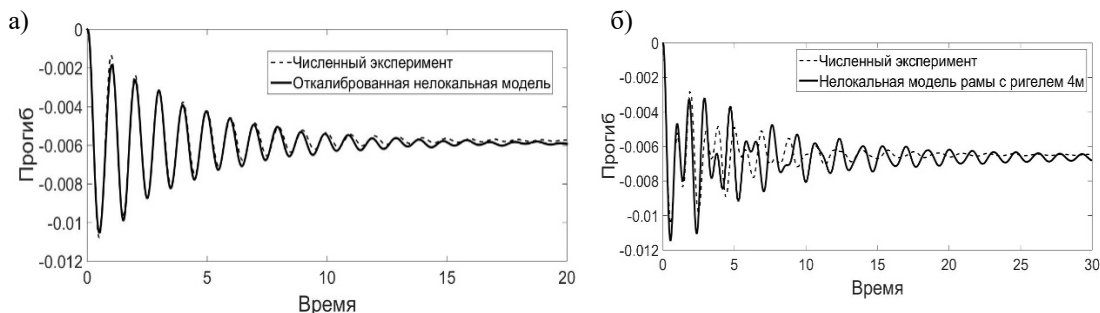


Рисунок 1 – Сравнение результатов численного эксперимента с результатами, полученными по нелокальной модели а) для рамы с пролётом ригеля 8 м б) для рамы с пролётом ригеля 4 м.

Для рамы с пролётом ригеля 8 м одномерная нелокальная модель позволяет добиться удовлетворительного совпадения с результатами подробного трехмерного моделирования. Возможность управлять степенью нелокальности модели за счёт изменения значения масштабного параметра позволяет использовать откалиброванную плоскую модель, построенную с учётом демпфирования с памятью, в качестве альтернативы подробным трёхмерным моделям конструкций, выполненных из материалов с развитой внутренней структурой. Однако, для рамы с более коротким верхним ригелем и, соответственно, более высокой первой собственной частотой, очевидно значительное различие полученных результатов. Для расширения области применимости нелокальной во времени модели демпфирования требуется её дальнейшее совершенствование, повышение её гибкости, устойчивости и достоверности. В частности, для более жёстких конструкций и их элементов, возможный путь решения этой проблемы заключается в учете влияния сдвиговых деформаций.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-19-00634 (грант РФФИ №21-19-00634)

Список использованных источников

1. *Lei Y., Friswell, M. I., Adhikari S.* A Galerkin method for distributed systems with non-local damping. *Int. Journal of Solids and Structures*. 2006, V. 43, pp. 3381 - 3400.
2. *Bathe K.J., Wilson E.L.* Numerical methods in finite element analysis. Prentice-Hall Inc, 1976, 528 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЭТАЖНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЗДАНИЯ НА МНОГОСЛОЙНОМ ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

Трещев А.А.¹, Теличко В.Г.², Андронов А.М.³

¹ ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», д.т.н., заведующий кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции», Россия, *taa58@yandex.ru*

² ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», к.т.н., доцент кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции», Россия, *katranv@yandex.ru*

³ ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», аспирант кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции», Россия, *double.a98@yandex.ru*

Ключевые слова: монолитный железобетон, гибридные конечные элементы, пространственная несущая система, чувствительность к виду напряженного состояния, повреждаемость

MODELING OF A MULTI-STORY REINFORCED CONCRETE BUILDING ON A MULTILAYER DEFORMABLE FOUNDATION INCLUDING DAMAGE

Treshchev A.A.¹, Telichko V.V.², Andronov A.M.³

¹ Tula State University, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Russia, *taa58@yandex.ru*

² Tula State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Building Materials and Structures, Russia, *katranv@yandex.ru*

³ Tula State University, PhD student, Department of Construction, Building Materials and Structures, Russia, *double.a98@yandex.ru*

Key words: monolithic reinforced concrete, hybrid finite elements, spatial bearing system, sensitivity to the type of stress state, damageability

Потребность в достоверных расчётных моделях, построенных для таких материалов, как бетон (железобетон) и других композитных материалов, а также грунтов, становится всё более актуальной с каждым годом. Это материалы, склонные к дилатации, физико-механические свойства которых, активно проявляют свою зависимость от компонентного состава тензора напряжений (разносопротивляющиеся материалы или материалы с «усложнёнными» свойствами) [1]. Соответствующие теоретические модели оказываются весьма сложными для практической адаптации. Поэтому имеется настоятельная потребность в получении новых числовых моделей, описывающих поведение конструкций в реальных условиях эксплуатации, особенно применительно к системам типа «сооружение-основание».

Как показано в работах [2, 3], эффективным средством для расчета железобетонных конструкций являются гибридные конечные элементы, в связи с чем, авторами была предложена новая модификация конечного элемента с пятью степенями свободы в узле и матрицей жесткости, полученной непосредственно для произвольного плоского треугольника, учитывающая продольные усилия и деформации поперечного сдвига, позволяющая просто и эффективно исследовать механическое поведение конструкций произвольной геометрии.

Для описания механической работы материалов здания и основания использовались определяющие соотношения для начально-изотропных материалов Н.М. Матченко – А.А. Трещева [1, 3], полученные в рамках подхода, связанного с нормированными про-

странствами напряжений. Процедуры, связанные с получением матрицы жесткости гибридного конечного элемента, подробно описаны в работах [2, 3].

Данная модель не может быть полностью свободной от дополнительных гипотез [2, 3], в частности, выделим следующее: 1) в виду неоднородности конструкции по толщине, плиты расчленяются на ряд фиктивных слоев [3]; 2) критерий прочности бетона в каждом фиктивном слое принимается согласно условию П.П. Баландина [3]; 3) влияние растянутого бетона учитывается коэффициентом В.И. Мурашева и характеристикой поврежденности бетона [2, 3]; 4) учитывается нагельный эффект в соответствии с предложениями [4].

Для демонстрации возможностей разработанной модели, решена задача об определении напряженно-деформированного состояния (НДС) здания на деформируемом многослойном основании. Здание содержит 25 этажей, имеющих одинаковую планировку, вид здания показан на рисунке. Подробное описание модели дано в работе [3].

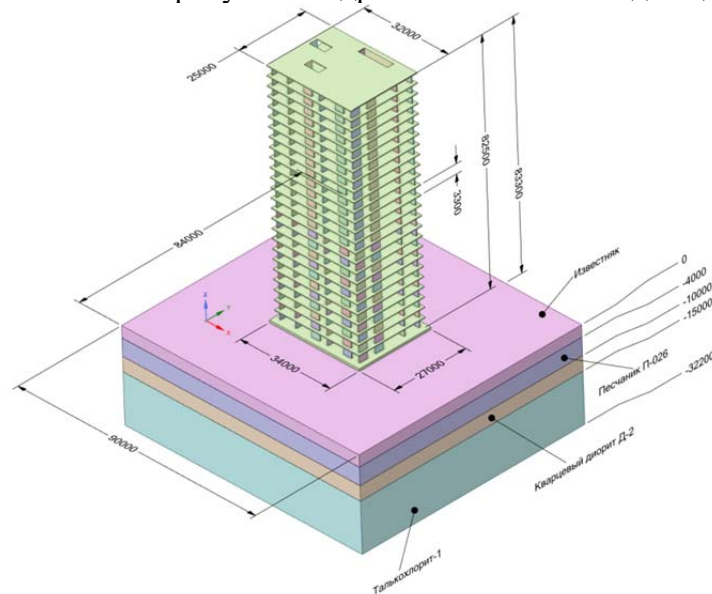


Рисунок 1 – Общий вид здания на многослойном деформируемом основании

Проведенный численный эксперимент по расчету здания позволяет объективно утверждать, что данная модель обладает значительными преимуществами перед существующими, реализованными в популярных САПР. Неучёт «усложнённых» свойств приводит к значительным погрешностям при вычислении основных характеристик НДС. Разница в вычисленных величинах перемещений по сравнению с результатами, полученными посредством нелинейного расчета в системе ANSYS, а также в сравнении с расчётом на основе усреднённых характеристик, составила до 20 %.

Список использованных источников

1. *Трещев А.А.* Теория деформирования и прочности материалов с изначальной и наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения. М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2016. 326 с.
2. *Теличко В.Г., Трещев А.А.* Гибридный конечный элемент для расчета плит и оболочек с усложненными свойствами // Известия вузов. Строительство. 2003. № 5. С. 17-23.
3. *Treschev A.A., Telichko V.G., Zolotov N.V.* Determination of strain-stress parameters of a multi-storey reinforced concrete building on an elastic foundation with allowance for different resistance of materials and cracking // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2019. V. 15. № 4. Pp. 150-163.
4. *Карпенко, Н.И.* Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат, 1976. 208 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПУАССОНА

Шитикова М.В.^{1,2}

^{1,2} ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", д.ф.-м.н., профессор,
научный центр по фундаментальным исследованиям в области естественных и строительных наук,
Россия, mvs@vgasu.vrn.ru

Ключевые слова: отрицательный коэффициент Пуассона, вязкоупругие ауксетики, дробная производная, дробноэкспоненциальная функция Работнова

MATHEMATICAL MODELLING OF MECHANICAL PROPERTIES OF VISCOELASTIC MATERIALS WITH NEGATIVE POISSON'S RATIO

Shitikova M.V.^{1,2}

¹ Voronezh State Technical University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Research Center on Dynamics of Solids, Russia, v_petrov@mail.ru

² Moscow State Civil Engineering University, Professor of Department of Structural and Theoretical
Mechanics, Russia

Key words: negative Poisson's ratio, viscoelastic auxetics, fractional derivative, Rabotnov's fractional exponential function

Ауксетики (от греч. αὐξητικός) - это материалы, обладающие отрицательным коэффициентом Пуассона [1], наличие которого чаще всего определяется геометрией структурных ячеек, размер которых может варьироваться от нано- до макро- масштаба в зависимости от природы материала [2]. Общая классификация ауксетиков представлена на схеме (рис. 1). Различают природные и искусственные ауксетики, первые подразделяются на минеральные и биологические [3], а вторые на двумерные и трехмерные согласно направлениям деформации при механическом воздействии.

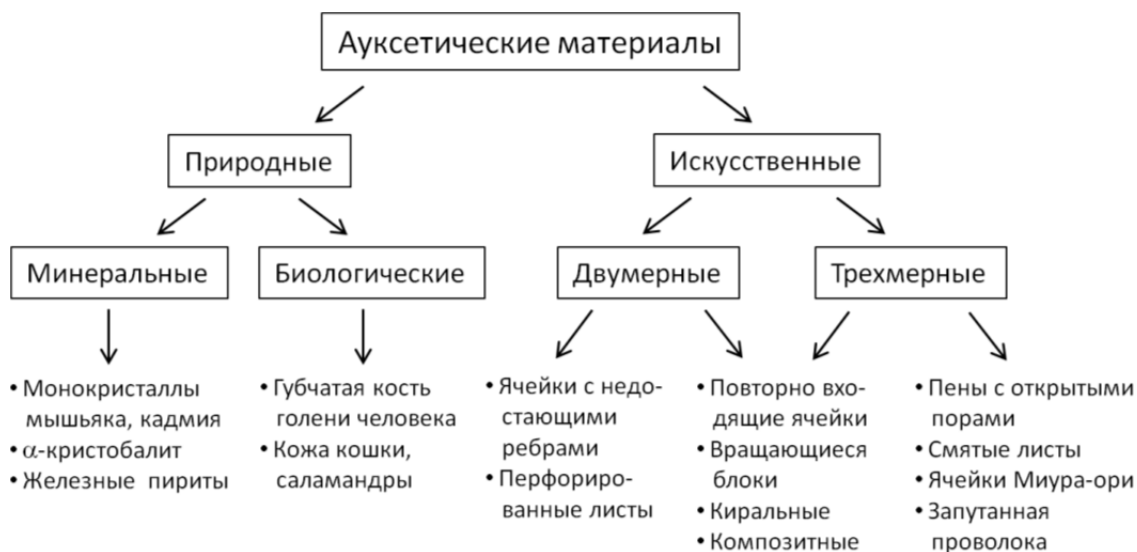


Рисунок 1 – Общая классификация ауксетических материалов

Ввиду отрицательного коэффициента Пуассона ауксетические материалы обладают полезным набором механических свойств [3-5], большинство которых превосходят аналогичные свойства неауксетических материалов, а некоторые являются уникальными. Ауксетики имеют широкое практическое применение [5], в том числе и в строительстве. Описание различных свойств материалов с отрицательными коэффициентами Пуассона можно найти в обзорных работах [2, 4, 5], из которых следует, что исследованию вязкоупругих ауксетиков уделено недостаточное внимание.

В данной работе предложен метод моделирования свойств изотропных вязкоупругих ауксетиков на основе использования операторов дробного порядка [6]. Хорошо известно [7], что каждый изотропный упругий материал обладает только двумя независимыми константами, а все остальные выражаются через две, которые должны быть заданы или определены из экспериментов. Так, например, если известны модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν , тогда параметры Ламе λ и μ и объемный модуль K определяются следующим образом:

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad \lambda = \frac{E\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad K = \frac{E}{3(1-2\nu)}, \quad (1)$$

или в случае, когда известны модуль сдвига μ и объемный модуль K , остальные константы, E , ν и λ , находятся из соотношений

$$E = \frac{9K\mu}{3K+\mu}, \quad \nu = \frac{3K-2\mu}{2(3K+\mu)}, \quad \lambda = \frac{3K-2\mu}{3}, \quad (2)$$

а при заданных параметрах Ламе λ и μ

$$E = \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu}, \quad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)}, \quad K = \lambda + \frac{2}{3}\mu. \quad (3)$$

Точно также и в случае изотропных вязкоупругих сред, материальные свойства которых зависят от времени и описываются операторами, которые должны быть выражены через два наперед заданных (или определенных из экспериментов) оператора, используя принцип соответствия и соотношения (1), или (2), или (3). В данной работе рассмотрены модели с дробными производными, включающие зависящие от времени операторы Пуассона, что позволило выявить достаточно интересные свойства современных вязкоупругих материалов, в том числе ауксетичных материалов.

С этой целью какие-либо два вязкоупругих оператора описываются моделью Кельвина-Фойгта, или моделью Максвелла, или моделью стандартного линейного твердого тела с дробными производными. Далее в зависимости от заданного сочетания вязкоупругих операторов, используя соотношения (1), (2) или (3), с помощью алгебры безразмерных операторов Ю.Н. Работнова дробного порядка можно найти оператор Пуассона и недостающие два вязкоупругих оператора через дробноэкспоненциальные функции Ю.Н. Работнова.

Анализ различных моделей вязкоупругости, построенных с использованием производных дробного порядка, без учета и с учетом объемной релаксации показал, что модели, в которых оператор Пуассона зависит от времени, позволяют описать свойства вязкоупругих ауксетиков, то есть материалов с отрицательными коэффициентами Пуассона. При этом в некоторых моделях коэффициент Пуассона может меняться от некоторого отрицательного значения до положительного релаксированного значе-

ния коэффициента Пуассона, а в других моделях коэффициент Пуассона с течением времени изменяется от своего нерелаксированного положительного значения до некоторой отрицательной величины, то есть в процессе релаксации материал может приобретать ауксетические свойства.

Данные исследования проводились в рамках выполнения государственного задания № 075-03-2023-132 (FZGM-2023-0006) Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности.

Список использованных источников

1. *Evans K.E.* Auxetic polymers: a new range of materials. *Endeavour*, 1991, Vol. 15, № 4. P. 170-174.
2. *Saxena K.K., Das R., Calius E.P.* Three decades of auxetics research – materials with negative Poisson's ratio: a review. *Advanced Engineering Materials*, 2016, Vol. 18, № 11. P. 1847-1870.
3. *Cho H., Seo D., Kim D.N.* Mechanics of auxetic materials. *Handbook of Mechanics of Materials*, 2018. P. 1-25.
4. *Prawoto Y.* Seeing auxetic materials from the mechanics point of view: a structural review on the negative Poisson's ratio. *Computational Materials Science*, 2012. Vol. 58. P. 140-153.
5. *Mazaev A.V., Ajeneza O., Shitikova M.V.* Auxetics materials: classification, mechanical properties and applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 747, PaperID 012008.
6. *Шитикова М.В.* Обзор вязкоупругих моделей с операторами дробного порядка, используемых в динамических задачах механики твердого тела. *Известия РАН. Механика твердого тела*. 2022. № 1. С. 3-40.
7. *Ляв А.* Математическая теория упругости. М.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. 674 с.

СЕКЦИЯ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 624.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК ОТ ВОЛН ЦУНАМИ НА СООРУЖЕНИЕ

Белаш Т.А.¹, Яковлев А. Д.²

¹АО «НИЦ»Строительство», д.т.н., профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», Россия, belashta@mail.ru

²ООО «КАПроект», к.т.н., инженер-конструктор, Россия, anton.yakovlev.94@mail.ru

Ключевые слова: расчет строительных конструкций, напряженно-деформированное состояние, цунами, нагрузки, строительные конструкции

MODELING OF LOADS FROM TSUNAMI WAVES ON THE STRUCTURE

Belash T.A.¹, Yakovlev A.D.²

¹Research Center of Construction, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Structures, Structures and Materials, Russia, belashta@mail.ru

²«КАПроект», Candidate of Technical Sciences, engineer, Russia, anton.yakovlev.94@mail.ru

Key words: calculation of building structures, stress-strain state, tsunami, loads, building structures

Цунами – одно из наиболее разрушительных природных явлений на нашей планете. Несмотря на всю возможную опасность цунамиопасных территорий, люди издавна селились на подобных территориях. Чаще всего это были рыбацкие поселения, которые должны были организовываться на побережьях. Но с развитием науки, человечеству удается снижать риск пребывания в цунамиопасных районах. Не маловажную роль играет в этом эволюция методов расчета строительных конструкций на воздействие волн цунами, что приводит к возможности проектирования цунамистойких зданий. [1], [2].

Целью расчета строительных конструкций является оценка их несущей способности. Для этих целей в настоящее время наиболее часто используются программные комплексы на основе метода конечных элементов. Данный метод имеет высокую точность, однако подразумевает решение большого количества уравнений, поэтому данный метод стал популярен с распространением вычислительной техники. Таким образом, в настоящее время проектировщики имеют достаточно эффективный способ определения напряженно-деформированного состояния конструкций. Но важно понимать, что для получения адекватных результатов, нужно вводить адекватные исходные данные, среди которых геометрические и жесткостные параметры исследуемой конструкции, граничные условия расчетной схемы и, конечно, нагрузки (как способ их приложения в расчетной схеме, так и их численное значение).

В мировом проектном сообществе уже достаточно давно сформировались условности по заданию силовых нагрузок (как постоянных, так и временных) в расчетной схеме. Такие нагрузки прилагаются к элементам конструкции, как правило, в виде статических нагрузок. Также уже достаточно давно сформированы методы приложения мгновенных динамических нагрузок (таких как пульсация ветра или землетрясение). Таким образом, для большинства нагрузок однозначно понятно, как задавать их

в различных компьютерных вычислительных программах. Но, в проектной практике иногда встречаются и особые задачи, например, воздействие волн цунами на сооружение.

Строго говоря, на территории бывшего СССР (и далее на территории Российской Федерации), согласно постановлению Совета Министров РСФСР № 19 от 8 января 1964 г. строительство в цунамиопасных районах запрещено. Это привело к тому, что в России долгое время не было строительных норм для застройки морских побережий, подверженных опасности цунами. [3] [4]

Лишь с 2018 г. вводится в действие утвержденный приказом Минстроя России от 23 июня 2017 года № 915/пр свод правил СП 292.1325800.2017 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования», разработанный рабочей группой АНО «Региональный альянс для анализа и уменьшения бедствий». [5] [6]

СП 292.1325800.2017 позволяет найти значение нагрузки от предполагаемой волны цунами, которое в дальнейшем следует задавать как статическую нагрузку по направлению предполагаемого действия волны цунами. Однако, в настоящее время есть большое количество программных комплексов, способных смоделировать накат волны на сооружение, что позволит оценить распределение давления от волны во времени. К таким программам относятся Autodesk CFD, XFlow, ANSYS и другие.

Данный доклад посвящен моделированию наката волны на сооружение в модуле «Fluid Flow (Fluent)» программного комплекса ANSYS 2021 и сравнению полученных результатов с методикой, представленной в СП 292.1325800.2017.

В результате моделирования наката волны на сооружение в программном комплексе ANSYS 2021 была получена картина распределения гидродинамического давления по поверхности исследуемого сооружения (рисунок 1).

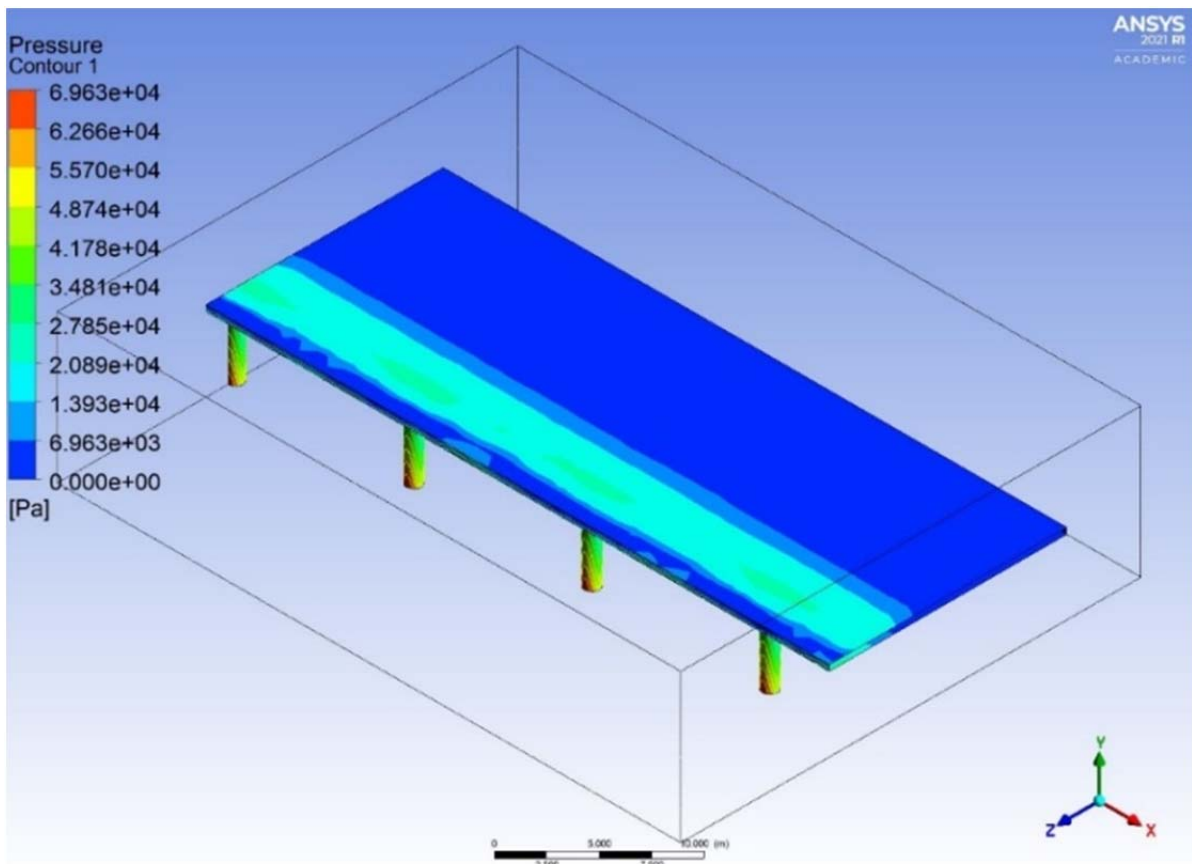


Рисунок 1 – Давление от волны на сооружение

На рисунке 1 видно, что колонны исследуемого сооружения испытывают на себе давление от движущейся волны. При этом, величина гидродинамического давления минимальна в верху колонны и увеличивается по линейному закону вплоть до максимального значения (у основания колонны). Таким образом, можно сделать вывод, что характер распространения давления в ANSYS 2021 аналогичен представленному в СП 292.1325800.2017: по треугольной эпюре с максимальным давлением внизу.

Но при этом величина максимального давления по СП примерно в 1,5 раза больше, чем по расчету в ANSYS, что объясняется множеством различных факторов. Несмотря на это, моделирование наката волн цунами на объект строительства уже сегодня может выполняться на стадии предпроекта, чтобы оценить характер распределения давления по поверхности объекта, что позволит выбрать наиболее подходящие конструктивные и объемно-планировочные решения. Между тем, необходимо дальнейшее развитие как методик расчета нагрузок от волн цунами, так и программных комплексов способных смоделировать накат волн цунами на различные объекты. Конечной целью этого развития должны стать программные комплексы, способные с достаточной точностью смоделировать накат волн цунами на строительные конструкции, а также получить картины напряженно-деформированного состояния этих конструкций, что должно привести к проектированию безопасных зданий и сооружений в цунамиопасных районах.

Список использованных источников

1. *Сывороткин В.Л.* Цунами // *Пространство и Время*. – 2011. – № 2(4). – С. 124-137.
2. *Helal M.A., Mehanna M.S.* Tsunamis from nature to physics // *Chaos, Solitons and Fractals*. 2008. Vol. 36. No 4. Pp. 787-796.
3. *Клячко М.А., Максимов В.В., Худнер И.А., Фильков В.Ю.* О межгосударственном стандарте «Здания, сооружения и территории. Требования безопасности при воздействии цунами» // *Сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием “Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска”*. 2015. С. 304-306.
4. *Клячко М. А.* О нормах проектирования зданий и сооружений в цунамиопасных районах // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2017. Том 10. № 3. С. 5-25.
5. *Клячко М. А., Пелиновский Е. Н., Кайстренко В. М.* Концепция и нормирование цунамизащиты в Российской Федерации // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2017. №6. С. 72.
6. СП 292.1325800.2017. Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования. – Введ. 2017-06-23. - М.: Минстрой России, 2017.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК. ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ

Бритиков Н.А.¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
инженер НОЦ КМ им. А.Б. Золотова, Россия
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» (ПУТ (МИИТ)), аспирант кафедры
Строительные конструкции, здания и сооружения, Россия, n.a.britikov@gmail.com

Ключевые слова: вычислительная аэродинамика, математическое моделирование, снегонакопление, снеготранспорт, численные методы

NUMERICAL MODELLING OF SNOW LOADS. FEATURES AND FUTURE OF THE METHODOLOGY

Britikov N.A.¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, A.B. Zolotov NICCM engineer, Russia
Russian University of Transport, PhD student, Department of Buildings and Structures, Russia,
n.a.britikov@gmail.com

Keywords: computational fluid dynamics, numericalmodelling, snow accumulation, snow transport, numericalmethods

Разработка методологии численного моделирования снеговой нагрузки сегодня является одной из важнейших задач строительной отрасли. Анализ строительных норм и регламентов разных стран [1] показывает, что ограниченных наборов покрытий и схем распределения коэффициента формы μ недостаточно для корректного определения снеговой нагрузки на большепролётные и уникальные здания и сооружения. Применяющиеся на практике методы физического моделирования [2] также обладают рядом существенных недостатков, среди которых одним из важнейших остаётся моделирование только переноса снегоимитатора на покрытия. В то же время, существует большое число численных методов [3, 4], позволяющих моделировать как процесс снегонакопления целиком, так и его подпроцессы (снеготранспорт, таяние, ссыпание) в отдельности и для частиц разных масштабов (перекатывающихся, сальтирующих и взвешенных). Современный уровень развития программных комплексов вычислительной аэродинамики позволяет внедрять эти методы и использовать для разработки, верификации и апробации полноценной методики численного моделирования снеговой нагрузки.

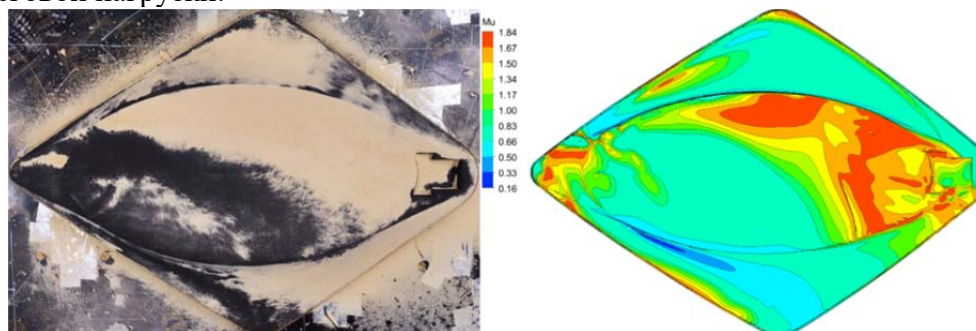


Рисунок 1 – Сопоставление результатов физического (слева) и численного (справа) моделирования снегонакопления на покрытии большепролётного здания

Разработанная методика [5] позволяет моделировать снегонакопление и снегоперенос на покрытиях зданий и сооружений в стационарной и нестационарной постановках. Моделирование в нестационарной постановке даёт возможность наблюдать изменение толщины снегового покрова во времени, а также обратное влияние снегоотложений на обтекание здания снеговетровым потоком, но является весьма ресурсоёмким для применения в инженерной практике и требует высокой степени дискретизации задачи для получения точных результатов. Указанные недостатки такого подхода решает моделирование в стационарной постановке, при котором основные уравнения модели уноса-отложения [6] решаются при больших временах. Полученные картины снегоотложений позволяют качественно оценить характер снегонакопления и, учитывая рекомендации нормативных документов, вывести значение коэффициента формы μ для всех зон покрытия. Методика в обеих постановках верифицирована с помощью данных наблюдений и экспериментов и апробирована на большепролётных зданиях, для которых требовался уточнённый расчёт снеговой нагрузки. Применение методики позволило выявить неочевидные распределения снегоотложений, опасные с точки зрения механической безопасности зданий.

На основе разработанной методики на базе НОЦ КМ им. А.Б. Золотова и УНПЛ ААИСК НИУ МГСУ прорабатывается единая, комплексная расчётно-экспериментальная методология моделирования снеговых нагрузок, объединяющая преимущества и компенсирующая взаимные недостатки физического и численного моделирования. Только «синтез» двух подходов позволяет наиболее ёмко и разносторонне изучить процесс снегонакопления на покрытиях зданий и сооружений.

Список использованных источников

1. Белостоцкий А., Бритиков Н., Горячевский О. Comparison of determination of snow loads for roofs in building codes of various countries //International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Т. 17. – №. 3. – С. 39-47.
2. Белостоцкий А., Горячевский О., Бритиков Н. Critical review of physical modelling of snow accumulation on roofs with arbitrary geometry //International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Т. 17. – №. 4. – С. 22-39.
3. Белостоцкий А., Бритиков Н., Горячевский О. Critical review of modern numerical modelling of snow accumulation on roofs with arbitrary geometry //International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Т. 17. – №. 4. – С. 40-59.
4. Tominaga Y. Computational fluid dynamics simulation of snowdrift around buildings: Past achievements and future perspectives //Cold Regions Science and Technology. – 2018. – Т. 150. – С. 2-14.
5. Бритиков Н. Numerical modelling of snow deposits and snow transport on long-span roofs for steady and unsteady flow //International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Т. 18. – №. 4. – С. 23-38.
6. Naaim M., Naaim-Bouvet F., Martinez H. Numerical simulation of drifting snow: erosion and deposition models //Annals of glaciology. – 1998. – Т. 26. – С. 191-196.

АВАРИЙНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СИТУАЦИИ И МЕХАНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ведряков И.И.¹, Востров В.К.²

¹*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство», д.т.н., профессор, директор, Россия, vedykov@gmail.com*

²*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство», д.т.н., советник директора, Россия, vostrv@mail.ru*

Ключевые слова: безопасность, надежность, живучесть, аварийные нагрузки, аварийные ситуации, прогрессирующее обрушение

EMERGENCY DESIGN SITUATIONS AND MECHANICAL SAFETY OF BUILDING STRUCTURES

Vedyakov I.I.¹, Vostrov V.K.²

¹*Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, Russia, vedykov@gmail.com*

²*Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Doctor of Technical Sciences, Advisor to the Director, Russia, vostrv@mail.ru*

Keywords: safety, reliability, robustness, emergency loads, emergency situations, progressive collapse

Произошедшие в последнее время многочисленные аварии как в РФ, так и за рубежом (складывание и опрокидывание зданий, обрушение алюминиевых крыш резервуаров большого объема, конструкций перекрытий в московском аквапарке «Трансвааль-парк» и плавательном бассейне в г. Чусовом, обрушение на Басманном рынке, выгорание резервуарных парков, колебание балочных мостов в Волгограде, аварии на Саяно-Шушенской ГЭС и шахте «Распадская», конькобежный центр «Крылатское» и др. показывают, что безопасность строительных конструкций не обеспечивается не только вследствие отступлений от действующих норм, а так же вследствие ошибок проектирования, дефектов изготовления и монтажа, низкого качества материалов и конструкций, неправильной эксплуатации [1, 2]. Безопасность строительных конструкций, в первую очередь, не обеспечивается вследствие несовершенства систем российских и межгосударственных нормативных документов в строительстве, а также СТО и РД крупных нефтяных и нефтегазовых компаний, когда в Федеральном законе №384-ФЗ декларируется необходимость учета аварийных расчетных ситуаций, а в СП, СТО, РД и межгосударственных нормативных документах и проектах это требование не всегда учитывается и детализируется.

Тщательный анализ происшедших аварий и катастроф позволяет установить, какая именно аварийная ситуация (не учтенная в проекте) привела к катастрофе. При анализе каждой случившейся аварии можно установить одну или несколько аварийных ситуаций, послуживших причиной аварии или катастрофы, но не сделанных в проекте объекта расчетными. Определение слабого звена не имеющей аналога конструкции с которого начинается разрушение – сложная, скорее научная, нежели проектная задача [2,3]. Время разрушения, долговечность, ресурс и живучесть приобре-

тают здесь критериальное значение. Разрушение может иметь прогрессирующий (катастрофический) характер или, если конструкция обладает (повышенной) живучестью, то процесс разрушения локализуется и после ремонта разрушение может быть предотвращено и эксплуатация продолжена. Пример – конькобежный центр «Крылатское» (2007г.) – разрушение оси шарнирного соединения при сложном переменном напряженном состоянии, невозможность дальнейшей эксплуатации без ремонта и усиления.

В [4, 5, 6] введен термин – прогрессирующее (лавинообразное) разрушение, а в [6] введен дополнительный термин – устойчивость против прогрессирующего обрушения. Первый термин имеет существенный изъян, так как может существовать лавинообразная потеря устойчивости, например, [7], или смешанный тип. Второе определение свободно от этого недостатка, так как в нем фигурирует «обеспечение несущей способности», а не только разрушение.

Для уникальных и особо сложных конструктивных форм сооружения, использующихся сразу на реальных объектах аварийная ситуация, требующая расчета, становится понятной после их разрушения. Характерный пример – частичное разрушение Саяно-Шушенской ГЭС. Для японской атомной станции «Фукусима» аварийная ситуация описана после во всех деталях, но расчетной она не была, так как в модели угроз (затопления) она отсутствовала. То есть нормировать аварийную ситуацию – сложная и не всегда успешно выполняемая задача.

Многолетняя практика эксплуатации показывает, что целый ряд строительных металлоконструкций (подкрановые балки, резервуары для нефти и нефтепродуктов, кожухи доменных печей и воздухонагревателей, нефте- и газопроводы, опоры морских платформ для добычи нефти и газа на шельфе морей и др.) эксплуатируются при наличии трещин. Это означает, что основным аварийным состоянием для металлоконструкций (наряду с локальной потерей устойчивости) служит образование хрупких и усталостных трещин в местах концентраторов напряжений, а эксплуатация конструкций с трещинами представляет собой стадию живучести конструкции. Приведенные выше примеры эксплуатации конструкций с трещинами говорят о том, что в стадии живучести сохраняет работоспособность большое число ответственных, в том числе листовых конструкций, а время живучести не кратковременно, как считается в работе [8], а может длиться годами. Но для таких особо ответственных сооружений как крытые бассейны, спортивные крытые сооружения, крытые конькобежные центры и др., в которых одновременно может находиться много людей, аварийная ситуация – образование трещин в конструкции должна быть расчетной, а стадия распространения возникших некатастрофических трещин может служить запасом прочности и устойчивости сооружения. Запас несущей способности должен существовать, т.е. возникающие хрупкие и усталостные трещины должны быть устойчивыми (не должны в момент возникновения разрушать несущие конструкции), ввиду того, что теоретическое определение момента возникновения трещин недостоверно, а методы мониторинга технического состояния недостаточно развиты, чтобы надежно диагностировать в конструкции момент появления устойчивых трещин; в отношении появления неустойчивых трещин они вообще бесполезны.

В п.4.5 СП [6] введен ошибочный критерий в виде обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения, в котором фигурируют усилия F в конструктивных элементах или соединениях, и несущая способность S конструктивных элементов, определяемые расчетом. Но, как показано на примере трещин в листовых конструкциях,

устойчивость против прогрессирующего обрушения связана либо со сбросом (снижением) нагрузки при образовании трещин (кожухи доменных печей и воздухонагревателей, взрывобезопасные резервуары и др.) либо с обеспечением живучести, когда не могут разрушаться области конструкции, примыкающие к зоне локального разрушения. Это и есть ответ на вопрос из [4] – могут или не могут разрушаться конструкции, примыкающие к зоне локального разрушения. Если не могут – то устойчивость против распространения локального разрушения обеспечена касательно данного вида аварийной ситуации; если могут – то конструкция не живуча и это и есть собственно лавинообразное разрушение, способы борьбы с которым не всегда совпадают с предлагаемыми в [6] и связаны с локализацией распространения разрушения. Например, это может быть попадание вершины распространяющейся динамической трещины в зону локальных сжимающих напряжений (бандажирование оболочек – стенок резервуаров, нефте- и газопроводов) или навивка стрингеров для изменения и закольцовывания распространяющейся динамической трещины [9], вставки из более вязких металлов или деформационные швы из трещиностойких материалов, ряд мероприятий из раздела 8 СП [6], связанными с конструктивными мероприятиями по защите различных систем от прогрессирующего обрушения.

Предлагается обновить и переиздать СП 296.1325800.2017, включив в него предлагаемый уточненный и расширенный перечень аварийных ситуаций и воздействий [10-14]. Кроме того, в соответствии с замечаниями из [4], следует убрать из него все разделы и подразделы касательно прогрессирующего (лавинообразного) обрушения.

– переиздать СП [6] как документ, посвященный узкому вопросу – защите зданий и сооружений от аварийных воздействий и аварийных ситуаций только в случае если зона локального разрушения начинает лавинообразно распространяться. Требуется ввести в документ и его название основные разделы, связанные с живучестью конструкций при различных видах локальных разрушений и локальной потери устойчивости, попутно устранив отмеченные выше ошибочные положения и недостатки этого документа.

– ввести в текст Федерального закона № 384–ФЗ требование о расчете живучести конструкций и убрать из статьи 16 п.6 положение об учете аварийной расчетной ситуации, которая может возникнуть после отказа одной из несущих конструкций заменив это положением, – когда возникает аварийная расчетная ситуация в результате действия аварийных ситуаций и аварийных нагрузок и воздействий.

Список использованных источников

1. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования. Промышленное и гражданское строительство. 2019. №4. с.16-24.
2. Ларионов В.В. Некоторые вопросы обеспечения механической безопасности строительных металлоконструкций. Промышленное и гражданское строительство. 2013. №7. с.57-60.
3. Востров В.К. Аварийные расчетные ситуации, аварийные нагрузки и безопасность опасных производственных объектов. Безопасность труда в промышленности. 2017. №2. С.60-68.
4. Травуш В.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований. Промышленное и гражданское строительство. 2019. №2. с.46-54.
5. СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия.
6. СП 385. 1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила

проектирования. Основные положения.

7. Колчунов В.И., Прасолов Н.О., Бухтиярова А.С. Живучесть нагруженных и коррозионно-поврежденных рамно-стержневых железобетонных конструкций при внезапной потере устойчивости несущих элементов. Промышленное и гражданское строительство. 2013. №12. с.16-24 с.42-47.

8. Карпенко Л.И., Колчунов В.И. О концептуально-механических подходах к обеспечению конструкционной безопасности. Строительная механика и расчет сооружений. 2007. №1. С.4-8.

9. Грудев И.Д., Мазур В.А. Экспериментальное изучение способов управления процессом распространения трещин в листовых металлоконструкциях. Научно-технический реферативный сборник. Проектирование металлических конструкций. Отечественный опыт. 1982. Выпуск 6 серия3. С. 3-4.

10. Ведяков И.И., Востров В.К., Гладштейн Л.И. Выбор стали и конструкционная (механическая) безопасность металлоконструкций резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов. Журнал нефтегазового строительства. 2014. №2. С.39-45.

11. Ведяков И.И., Востров В.К. Аварийные расчетные ситуации и аварийные сейсмические нагрузки. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. №5. С.33-38.

12. Мансуров М.Н., Востров В.К. Аварийные ледовые и сейсмические нагрузки на морские нефтегазопромысловые сооружения. Вести газовой науки: Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности. 2017. №4(32). С.150-158.

13. Ведяков И.И., Востров В.К. Особые ветровые воздействия и актуализация нормативных документов в строительстве. Строительная механика и расчет сооружений. 2018. №5. С.38-46.

14. Ведяков И.И., Одесский П.Д. Стали третьего поколения для строительных металлических конструкций. Промышленное и гражданское строительство. 2013. №7. с.23-28.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Ведяков И.И.¹, Жук Ю.Н.², Курнавин В.В.³, Симбиркин В.Н.⁴, Панасенко Ю.В.⁵

¹*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО», д.т.н., директор, Россия, dtsniisk@rambler.ru*

²*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО», к.т.н., заведующий лабораторией, Россия, shuk@eurosoft.ru*

³*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО», инженер, заместитель заведующего лабораторией, Россия, kv@eurosoft.ru*

⁴*ООО «ЕВРОСОФТ», к.т.н., главный инженер, Россия, simbirkin@eurosoft.ru*

⁵*ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО», инженер, руководитель группы экспертных расчетов, Россия, panyuriy@eurosoft.ru*

Ключевые слова: научно-техническое сопровождение проектирования, расчет, численные методы, нагрузки, программный комплекс

QUALITY CONTROL OF DESIGN SOLUTIONS WITH SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT FOR THE DESIGN OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF AN INCREASED RESPONSIBILITY LEVEL

Vedyakov I.I.¹, Zhuk Y.N.², Kurnavin V.V.³, Simbirkin V.N.⁴, Panasenko Y.V.⁵

¹*Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, Doctor of Technical Sciences, Director, Russia, dtsniisk@rambler.ru*

²*Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory, Russia, shuk@eurosoft.ru*

³*Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, engineer, Deputy Head of the Laboratory, Russia, kv@eurosoft.ru*

⁴*EUROSOFT LLC, Candidate of Technical Sciences, chief engineer, Russia, simbirkin@eurosoft.ru*

⁵*Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, engineer, group leader, Russia, panyuriy@eurosoft.ru*

Key words: scientific and technical support of design, analysis, numerical calculation methods, loads, software package

Согласно ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», проектирование зданий и сооружений повышенного уровня ответственности следует выполнять при научно-техническом сопровождении (НТС) и независимом контроле качества, осуществляемом организацией, отличной от организации, разработавшей проект.

Контроль качества проектных конструктивных решений выполняется путем их анализа, как правило, с проведением параллельных проверочных расчетов конструкций с использованием независимо разработанных, сертифицированных программных средств. В результате устанавливается соответствие проектной документации требованиям нормативных документов и полученным результатам расчетов.

Практика выполнения параллельных расчетов широко применяется в России более 15 лет. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко стоял у ее истоков и продолжает ее в настоящее время в рамках НТС проектирования. Благодаря этой практике наиболее часто вскрываются следующие ошибки в расчетах, выполненных проектировщиком, и, как следствие, в принятых конструктивных решениях:

- неверное определение нагрузок и их приложение в расчетной схеме;
- некорректный учет коэффициентов надежности по нагрузкам и по ответственности сооружения, коэффициентов сочетания нагрузок;
- излишне упрощенное моделирование конструкций, грунтового или свайного основания сооружения, не отражающее действительные условия их работы в рассматриваемых ситуациях;
- неполнота выполненных расчетов;
- неучет нелинейных эффектов различного рода;
- применение расчетных схем, не соответствующих возможностям и особенностям использованных программных средств.

Практика показывает, что многие ошибки в большеразмерной расчетной схеме сложно обнаружить без привлечения другого расчетчика, работающего в другом, независимо разработанном расчетном программном комплексе. Применение дополнительных средств диагностики расчетных схем, способов моделирования и методов решения задач делают процесс анализа более эффективным. Получение результата проверочного расчета, качественно отличающегося от проектного, зачастую свидетельствует о наличии грубых ошибок в расчетных схемах или в выборе методики решения задачи. При отсутствии ошибок расчетчиков результаты, полученные по разным программам, тоже могут различаться, но не столь существенно. В подавляющем большинстве случаев эти различия обусловлены разнообразием численных методов и алгоритмов, реализованных в программах, и неединственностью решений, в том числе допускаемой нормами проектирования.

Очень часто при начале расчетных работ в рамках НТС приходится выполнять объединение разрозненных (отдельных) моделей конструкций в единую расчетную модель. Данные работы позволяют еще на этапе формирования расчетной модели внести своевременные корректировки в проект.

В докладе представлены результаты НТС проектирования некоторых строительных объектов из практики лаборатории автоматизации исследований и проектирования сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Так, при НТС проектирования дворца единоборств в г. Брянске были усилены элементы стальных ферм. На основании проверочных расчетов комплекса новой застройки в г. Москве ряд элементов железобетонных конструкций был усилен, часть конструкций была подвержена перепроектированию. При выполнении проверочного расчета конструкций здания «Винного комплекса» была выявлена недостаточность армирования железобетонных стен из-за отсутствия в проектном расчете должного учета сдвиговых напряжений.

НТС проектирования комплекса по переработке углеводородного сырья выявило необходимость добавления ферм покрытия, диагональных связей, увеличения сечений ряда элементов.

При анализе проекта высотных зданий комплекса *Crescent Hotel* в г. Баку установлено, что, в отличие от сложившейся в России практики, расчетные параметры сейсмических воздействий приняты не на основании результатов сейсмического микрорайонирования, а взяты из норм ASCE. При этом нагрузочный эффект оказался намного меньше, чем требуют азербайджанские нормы AzDTN. В итоге было найдено компромиссное решение, при котором форма расчетной спектральной кривой принята по ASCE как более подходящая для высотных зданий, а прочие параметры сейсмических воздействий и значения корректирующих коэффициентов – в соответствии с AzDTN. Это позволило избежать дорогостоящего усиления конструкций зданий.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ОКОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ НА ПРИМЕРЕ ТИПОВОГО ЗДАНИЯ

Горячевский О.С.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), заместитель директора Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова, Россия.
АО НИЦ СтаДиО, ведущий инженер-расчетчик, Россия, noccm@mgsu.ru*

Ключевые слова: вычислительная аэродинамика, ветровая нагрузка, оконные конструкции, валидация

NUMERICAL MODELLING OF WIND LOADS ON WINDOWS. METHODOLOGY VALIDATION FOR A TYPICAL BUILDING

Goryachevsky O.S.¹

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Deputy Director of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia
R&D Center StaDyO, lead engineer, Russia, noccm@mgsu.ru*

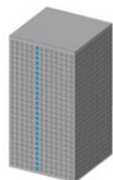
Key words: computational fluid dynamic, wind load, windows, validation

Одним из основных факторов, определяющих проектирование ограждающих конструкций, в т.ч. оконных, являются ветровые нагрузки. Методики расчета оконных конструкций и рекомендации по назначению ветровых нагрузок имеют свои особенности в нормативных документах различных стран. Однако основой для составления нормативных схем аэродинамических коэффициентов для типовых зданий и индивидуального определения коэффициентов для нетиповых зданий исторически являлись результаты физического моделирования – продувок в аэродинамических трубах. Условия проведения экспериментов в аэродинамических трубах содержат ряд допущений и отклонений от натурального обтекания зданий ветровым потоком: малые масштабы макетов (1:500-1:50), ограниченный учет окружающей застройки, сложности с учетом рельефа местности, отклонение от натурального профиля ветра и т.д. Дополнительной сложностью при анализе результатов экспериментов является ограничения измерительного оборудования, которое позволяет получить искомые значения аэродинамических коэффициентов лишь в относительно небольшом количестве точек (обыкновенно, несколько десятков).

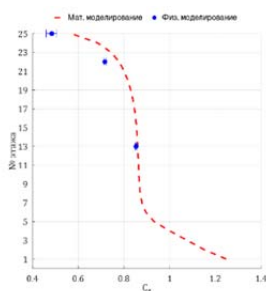
Сегодня во всем мире активно развивается альтернативный подход – математическое (численное) моделирование ветровых воздействий. Преимуществами численного моделирования являются возможность определения ветровых давлений и других интересующих величин в сотнях тысяч и миллионах точек, почти безграничные возможности учета окружающей застройки и рельефа местности. Основными недостатками математического моделирования остаются необходимость использования моделей турбулентности и RANS постановок, а при отказе от этих упрощений – огромная вычислительная сложность вихреразрешающих подходов.

В данном исследовании проведено математическое (численное в ANSYSFluent) и физическое (экспериментальное в аэродинамической трубе НИУ МГСУ) моделиро-

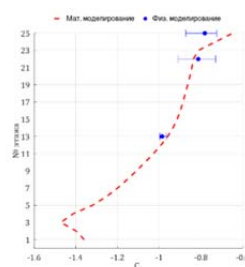
вание аэродинамических коэффициентов среднего и пикового давлений для оконных конструкции типового здания. Показано, что благодаря применению современной модели турбулентности (ГЕКОк- ω) и соблюдению определенных принципов формирования расчётной конечнообъемной модели возможно получать значения аэродинамических коэффициентов с достаточной для практического применения точностью. Вместе с тем, результаты математического моделирования позволяют восполнить значения аэродинамических коэффициентов в местах, где не размещались контрольные точки в эксперименте. Часть результатов моделирования приведена на рис. 1



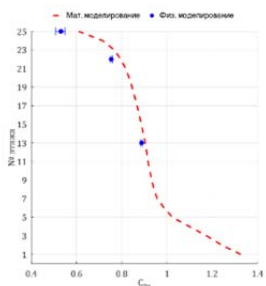
а) типовое здание, для которого проводились исследования с отметкой вертикального сечения, для которого приведены графики ниже



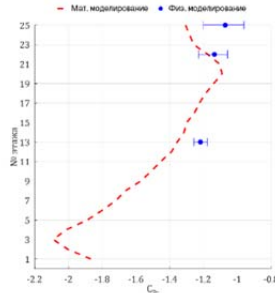
б) верхняя огибающая положительных средних аэродинамических коэффициентов C_p



в) нижняя огибающая отрицательных средних аэродинамических коэффициентов C_p



г) верхняя огибающая положительных пиковых аэродинамических коэффициентов C_{p+}



д) нижняя огибающая отрицательных пиковых аэродинамических коэффициентов C_{p-}

Рисунок 1 – Сопоставление результатов математического и физического моделирования в одном из вертикальных сечений типового здания

Список использованных источников

1. Rezaeiha, H. Montazeri, B. Blocken, On the accuracy of turbulence models for CFD simulations of vertical axis wind turbines. *Energy* 180, 838–857 (2019).
2. Y. Tominaga, A. Mochida, R. Yoshie, H. Kataoka, T. Nozu, M. Yoshikawa, Shirasawa T, AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(10-11), 1749-1761 (2008).
3. M. S.Thordal, J. C. Bennetsen, S. Capra, H.H.H. Koss, Towards a standard CFD setup for wind load assessment of high-rise buildings: Part 1–Benchmark of the CAARC building. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 205, 104283.
4. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Афанасьева И.Н. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 720 с. – ISBN 978-5-4323-0217-5.
5. Казакевич М.И. Основы расчетов сооружений на ветровые воздействия. Монография. – М.: МГСУ, 2019. – 180 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА ТГТУ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ BIM-МОДЕЛИ И ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЯ

*Жукова Я.И.¹, Хулина М.С.², Митина У.А.³, Тюкова А.А.⁴, Маркин И.А.⁵,
Умнова О.В.⁶, Худяков А.В.⁷, Мамонтов С.А.⁸*

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент.
yazhukovaa@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
ritakhulina2@gmail.com

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
m.ulyana2002@yandex.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
linatyukova05@mail.ru

⁵ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
igormarkin09@gmail.com

⁶ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
заведующая кафедрой «Конструкций зданий и сооружений», *umnova.ov@mail.tstu.ru*

⁷ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
доцент, *chudajkov@mail.ru*

⁸ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
доцент, *mamontov.sa@mail.tstu.ru*

Ключевые слова: нагрузки, воздействия, статический расчет, реконструкция зданий, расчетный комплекс SCAD Office

MODELING OF LOADS AND IMPACTS ON THE BUILDING STRUCTURES OF THE TSTU BUILDING DURING RECONSTRUCTION USING A BIM MODEL AND BUILDING SURVEY.

*Zhukova Ya.I.¹, Khulina M.S.², Mitina U.A.³, Tyukova A.A.⁴, Markin I.A.⁵,
Umnova O.V.⁶, Chudajkov A.V.⁷, Mamontov A.A.⁸*

¹ Tambov State Technical University, student, *yazhukovaa@yandex.ru*

² Tambov State Technical University, student, *ritakhulina2@gmail.com*

³ Tambov State Technical University, student, *m.ulyana2002@yandex.ru*

⁴ Tambov State Technical University, student, *linatyukova05@mail.ru*

⁵ Tambov State Technical University, student, *igormarkin09@gmail.com*

⁶ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of
Structures of Buildings and Constructures, *umnova.ov@mail.tstu.ru*

⁷ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, docent, *chudajkov@mail.ru*

⁸ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, docent, *mamontov.sa@mail.tstu.ru*

Key words: loads, impacts, static calculation, reconstruction of buildings, calculation complex SCAD Office.

Авторами предлагается проект реконструкции учебного корпуса ТГТУ с разработкой зон рекреации на эксплуатируемой кровле 1-го этажа, которая включает пристройку светопрозрачного атриума размером 6х12 м (рисунок 1).

На первом этапе разработки проекта были произведены обмеры корпуса для создания информационной модели здания в программном комплексе Revit 2022. Про-

анализировано конструктивное решение корпуса (размеры несущих элементов и их размещение в плане). Здание 4-х этажное с подвалом и чердаком, с перепадами высот, с каркасно-стеновой конструктивной системой и рамно-связевой схемой (сопряжение ригеля с колонной шарнирное, а колонны с фундаментом – жесткое), коридорного типа, с многоэтажным стоечно-балочным остовом с сеткой колонн 6х6м и 4,5х6м в железобетонных конструкциях, с кирпичными стенами в одноэтажной части здания и навесными железобетонными ограждающими конструкциями без утепления, с деревянными и частично с металлопластиковыми оконными блоками, плоской мягкой кровлей, с ленточным фундаментом под кирпичные стены и монолитным столбчатым под колонны, срок эксплуатации 30 лет. Установлены размеры несущих конструкций: ригель железобетонный таврового сечения размером 450х400х5540мм (пролет отправочного элемента); колонны квадратного сечения 400х400 мм высотой на этаж 3600мм; монолитные подколоники столбчатого фундамента с размерами 1000х1000х1700мм; 1000х1000х2400мм и 1000х1000х3000мм, плиты перекрытия и покрытия железобетонные пустотные с размерами 220х1500х6000 мм.



Рисунок 1 – Светопрозрачный атриум, расположенный в уровне эксплуатируемой кровли первого этажа

Также при проведении обследования здания было выполнено:

1. Оценка состояния инженерных сетей;
2. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций, включая чердачное покрытие;
3. Провели обследование конструкций неразрушающими методами для оценки наличия и характера размещения арматуры по сечению элементов, оценки остаточной прочности элементов несущего остова;
4. Установлены наиболее благоприятные места для размещения зон рекреации и столовой;
5. На основе полученных результатов сделан технический отчет. По результатам технического отчета установлен класс прочности бетона и уровень прочностной характеристики по нормальным напряжениям для несущих и ограждающих конструкций, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатель	Прочностные характеристики несущих и ограждающих конструкций обследуемого здания						
	Тип конструкции						
	колонны (3 этаж)	колонны (чердак)	Ригель (подвал)	Ригель (чердак)	Плиты покрытия сборные	Плиты перекрытия сборные	Подколоники (подвал)
Класс бетона	B25	B30	B20	B25	B25	B20	B35
Прочность, R _b , МПа	32,11	38,35	25,69	32,11	32,11	25,69	44,95

На основании установленной конструктивной схемы несущего остова исследуемого здания принята расчетная схема для выполнения статического расчета рамы

корпуса в программе SCAD Office. В расчете учитывались следующие нагрузки: постоянные, временные (ветер, снег), включая полезные нагрузки от функционального процесса на эксплуатируемой кровле, нагрузки от атриума, их неблагоприятные сочетания в характерных сечениях остова. Определены возникающие расчетные усилия и деформаций, выполнена экспертная проверка опасных сечений ригелей, колонн и плит перекрытий в программе SCAD Office (рисунок 2). Приняты расчетные усилия для проверки фундаментов.

Связь атриума с корпусом происходит за счет нижнего обвязочного металлического контура, передающего нагрузку на плиты покрытия 1 этажа и верхнего обвязочного контура, жестко соединенного справа в продольном направлении с железобетонными торцевыми колоннами несущего остова существующего здания. В перпендикулярном направлении жестко соединены последние поперечные ригели обвязочного нижнего и верхнего контуров с брандмауэром (торцевая стена атриума из газобетонных блоков с армируемыми швами через ряд и с анкерровкой к колоннам существующего здания).

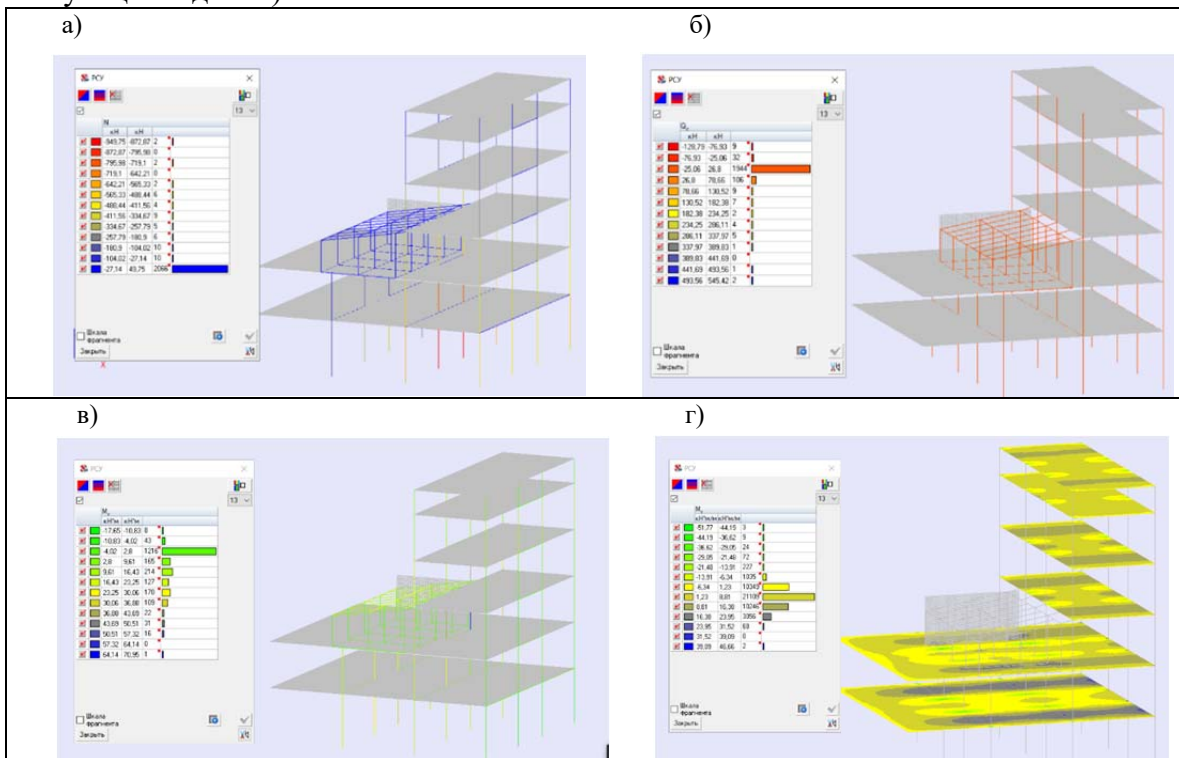


Рисунок 2 – Расчетные усилия при неблагоприятных сочетаниях нагрузок: а) максимальные усилия в стержнях (N); б) максимальное поперечное усилие; в) максимальные изгибающие моменты M; г) максимальные изгибающие моменты (перекрытия)

Список использованных источников

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2, 3). ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство" при участии ФГБУ "Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова", 2017.
2. СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*" (с Поправкой, с Изменением N 1, 2). АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ, 2017.

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ МОРОЗНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОНСТРУКЦИОННЫЙ БЕТОН ПРИ СИЛЬНОМ НАСЫЩЕНИИ МОРСКОЙ ВОДОЙ

Малюк В.В.^{1,2}

¹Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, младший научный сотрудник, Владивосток, Россия, mvd46@bk.ru

²ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», старший преподаватель, Южно-Сахалинск, Россия, mvv.77@mail.ru

Ключевые слова: морские сооружения, морозостойкость бетона, долговечность

THE CONCEPT OF A MODEL OF FROST IMPACT ON STRUCTURAL CONCRETE UNDER HIGH SATURATION WITH SEA WATER

Malyuk V.V.^{1,2}

¹Branch FGBU "TSNIIP Russian Ministry of Construction" DalNIIS, junior researcher, Vladivostok, Russia, mvd46@bk.ru

²Sakhalin State University, Senior Lecturer, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, mvv.77@mail.ru

Keywords: offshore structures, frost resistance of concrete, durability

Анализ причин разрушения бетона в конструкциях морских сооружений позволил установить, что в зоне переменного уровня воды многоциклическое замораживание-оттаивание не всегда является определяющим фактором внешних воздействий в зоне переменного уровня воды. Результаты натурных исследований морских сооружений на побережье дальневосточных морей свидетельствуют, что в реальных условиях в зоне переменного уровня имеются два участка, которые отличаются по степени насыщения бетона и характеру воздействия отрицательной температуры: а) участок действия прилива; б) участок всплеска волны. Определяющими факторами внешних воздействий на участке прилива являются температура замораживания бетона (t_F) и количество циклов замораживания-оттаивания (N_{FT}), а на участке всплеска волны - температура замораживания бетона (t_F) и продолжительность замораживания (T_F) [1]. Исходя из преобладающих факторов внешних воздействий, выделено два вида механизма замораживания бетона по преобладающим показателям воздействия: А - участок действия прилива: $P_{F1} = f(t_F; N_{FT})$; В - участок всплеска волны: $P_{F2} = f(t_F; T_F)$. На участке всплеска волны происходит обледенение конструкций и бетон подвержен в течение 60-90 суток длительному замораживанию. Это характерно для портовых сооружений всех дальневосточных морей: Японского, Охотского, Берингово, поскольку климатические и гидрологические условия этих морей формируют Тихий океан.

Установлено, на участках длительного обледенения часто происходит лавинообразное разрушение бетона после первого года эксплуатации, по кинетике процесса его можно отнести к внезапному отказу [2]. В зоне прилива наблюдается деградиционный характер разрушения бетона, т.е. процесс разрушения развивается в течение нескольких десятков лет.

В соответствии с современными теоретическими положениями о механизмах разрушения бетона причиной разрушения бетона является критическое водонасыще-

ние пор бетона в условиях морозного воздействия. Процесс водонасыщения пор бетона при воздействии отрицательной температуры определяет механизм замораживания бетона в конструкции. В системе «материал – конструкция – среда» целесообразно исследовать причины разрушения бетона на основе сценарного моделирования морозного воздействия на конструкционный бетон в зависимости от механизма замораживания бетона. Для моделей принята общая причина разрушения бетона при морозном воздействии – деструкция бетона начинается при достижении критической степени водонасыщения. Кинетика водонасыщения пор в период эксплуатации является производной как от состава и системы структуры пор бетона к началу морозного воздействия, так и от механизма замораживания бетона. Возможность изменения влажностного состояния бетона в конструкции при длительном обледенении в силу термоградиентного массопереноса воды является принципиальным отличием от процесса водонасыщения при многоциклическом замораживании-оттаивании за счет «накачки» пор водой. Это отличие оказывает влияние на выбор технологии бетонных работ и состав бетона для обеспечения требуемой долговечности конструкций в зоне переменного уровня воды. Стойкость бетона одного состава может существенно различаться при различных механизмах замораживания. Предложено морозное воздействие на бетон при насыщении морской водой исследовать на основе сценарного подхода к моделированию в зависимости от механизма замораживания бетона в конструкции, а сам процесс морозной коррозии рассматривать как двухэтапный, в котором присутствует этап инициации и деградации (см. рис. 1). Этап инициации определяет период водонасыщения бетона до критической степени, а этап деградации соответствует периоду развития микротрещин после критического водонасыщения до предельного уровня снижения прочности.

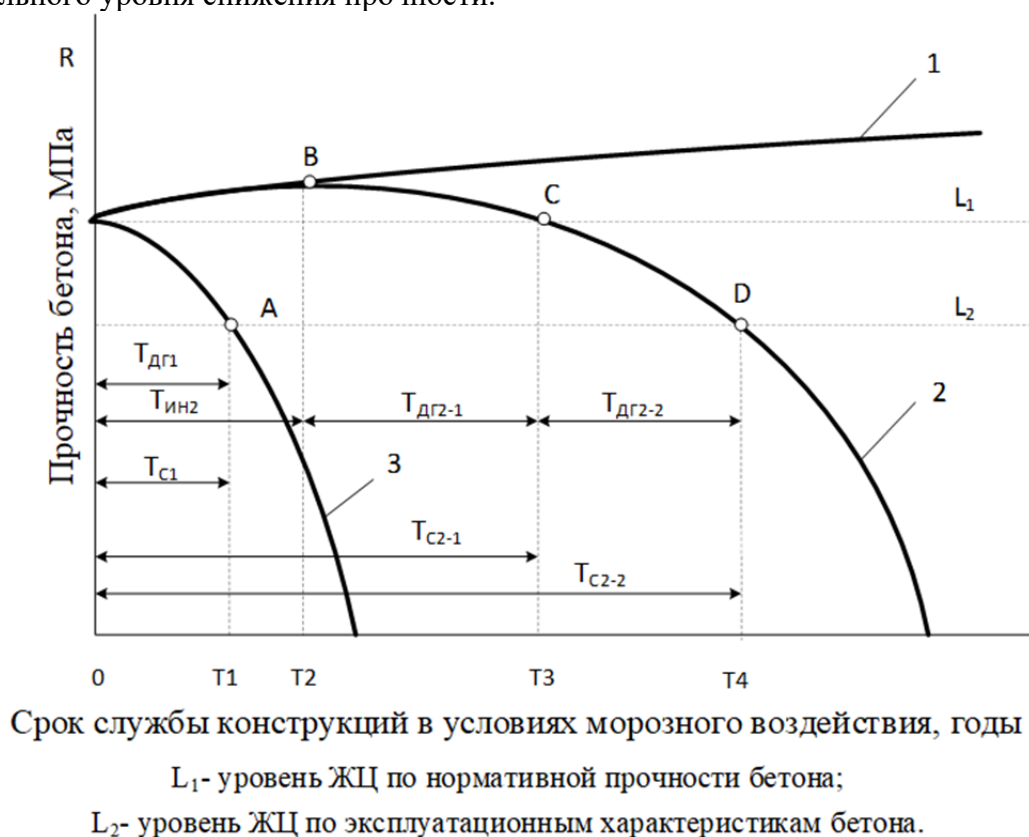


Рисунок 1 – Сценарии жизненного цикла бетона: 1- наличие только периода инициации ($T_{ин}$); 2 - наличие периода инициации ($T_{ин}$) и деградации ($T_{дг}$); 3 - наличие только периода деградации ($T_{дг}$)

Выделены три сценария развития структуры бетона при сильном водонасыщении в условиях морозного воздействия:

– сценарий 1: бетон имеет только период инициации $T_{ин}$; жизненный цикл бетона определяют конструктивные процессы в его структуре; развитие структуры соответствует классическому развитию структуры цементных бетонов в не агрессивных средах; бетон имеет бессрочный срок службы с практической точки зрения;

– сценарий 2: бетон имеет период инициации $T_{ин}$ и деградации $T_{дг}$; жизненный цикл бетона является интегральной составляющей продолжительности двух периодов, в которых развитие структуры определяют как конструктивные процессы, так и деструктивные;

– сценарий 3: бетон имеет только период деградации $T_{дг}$; жизненный цикл бетона определяют деструктивные процессы в его структуре; кинетика развития деструктивных процессов определяет продолжительность этого периода.

Реальный срок службы бетона отдельных портовых сооружений в условиях морского побережья дальневосточных морей достигает 100 лет, что раскрывает потенциальные возможности бетона. Однако увеличение случаев разрушения бетона после первого зимнего сезона свидетельствует о недостатках, которые имеются в современной концепции проектирования защиты бетона для агрессивной среды класса XF4и в реализации проектных решений на этапе строительства.

Сценарный подход к разработке прогнозных моделей долговечности, визуализация которого представлена на рисунке 1, с дифференцированной оценкой механизмов замораживания бетона в конструкции является концепцией для определения сроков службы бетона по эксплуатационным характеристикам (performance-based design).

Список использованных источников

1. *Malyuk V.V., V.D. Malyuk. Freezing Mechanisms of the Concrete in an Area of Variable Water Level of Port Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 988, Issue 5, id.052020, 7 pp.*

2. *Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Совершенствование методов проектирования и технологии бетонных работ (на примере о. Сахалин) // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 30–34.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ И КОМПЛЕКСЫ

Мкртычев О.В.¹, Решетов А.А.²

¹ *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), д.т.н., заведующий кафедры «Сопротивление материалов», Россия, mkrtychev@yandex.ru*

² *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., инженер научно-исследовательского центра «Надежность и сейсмостойкость сооружений», Россия, andrew331@bk.ru*

Ключевые слова: Сейсмостойкость, учет ротационных компонент, метод центральных разностей, метод Рунге-Кутты, одномассовая система

MODELING OF LOADS AND IMPACTS ON BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS, FACILITIES AND COMPLEXES

Mkrtychev O.V.¹, Reshetov A.A.²

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Head of the Department of Strength of Materials, Russia, mkrtychev@yandex.ru*

² *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Engineer of the Research Center Reliability and Earthquake Resistance of Structures*

Key words: Seismic resistance, consideration of rotational components, central difference method, Runge-Kutta method, single-mass system

В настоящее время при расчётах на землетрясение учитываются только поступательные компоненты сейсмического воздействия. Однако, анализ возникающих дефектов в сооружениях и конструкциях, подвергнувшихся сейсмическому воздействию, указывает на пространственный характер работы конструкций, что свидетельствует о том, что при проектировании в сейсмических районах для всех зданий и сооружений необходим также учёт ротационных компонент сейсмического воздействия.

В своих работах Ю.П. Назаров [1,2] обозначил две основные модели сейсмического движения:

1. Интегральная – определяет характеристики движения массива грунта шестью компонентами (три поступательными и тремя ротационными). В данной модели рассматривается некоторый фрагмент основания, принимая осреднённые параметры, т.е. устанавливая связь длин волн и размеров фундамента и используются теоремы Стокса [3].

2. Дифференцированная – определяет перемещения каждой точки рассматриваемого грунтового основания и представляет сейсмическое воздействие в виде векторного поля перемещений.

Целью данной работы было получение ротационных компонент акселерограммы (принимается интегральная модель) по поступательным компонентам, а также оценка влияния ротационных компонент на НДС одномассовой системы.

В интегральной модели сейсмического движения векторное поле линейных перемещений от сейсмического воздействия описывается обобщенной волновой моде-

лю, которая заключается в том, что движение основано на совместной работе P-, SH- и SV-волн.

Поступательное смещение X_k равно:

$$X_k = u_k + v_k + w_k. \quad (1)$$

Угловые ускорения связаны с линейными следующими формулами:

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{w}_x}{dt} - \frac{d\ddot{w}_z}{dt} \right); \quad \varepsilon_x = \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{w}_z}{dt} - \frac{d\ddot{w}_y}{dt} \right); \quad \varepsilon_z = \frac{1}{2c} \left(\frac{d\ddot{w}_y}{dt} - \frac{d\ddot{w}_x}{dt} \right), \quad (2)$$

Были рассчитаны горизонтальные перемещения системы с двумя степенями свободы от действия вращательной и поступательной составляющих в плоской постановке.

Полное перемещение u' массы m включает в себя две составляющие: u , возникающее от деформации конструкции $h\theta_g$ (где h – расстояние от основания до массы), возникающее от ротационной компоненты воздействия.

Запишем уравнение поступательного движения одномассовой системы, учитывающее ротационную и поступательную компоненты акселерограммы:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m(\ddot{u}_g + h\ddot{\theta}_g). \quad (3)$$

Плоская постановка задачи.

Пусть стержень, обладает следующими характеристиками: сосредоточенной массой $m = 250 \cdot 10^3$ кг, высотой стержня $h = 4,2$ м, $a = 0,4$ м, $b = 0,6$ м, коэффициентом затухания $c = 0,05$ от критического и модулем упругости $E = 3 \cdot 10^{10}$ Па.

Было рассмотрено воздействие поступательного ускорения вдоль оси X основания данного стержня и проведено сравнение с одновременным воздействием поступательного и ротационного ускорения.

Данная задача была решена в двух программных комплексах: методом Рунге – Кутты четвёртого порядка в ПК MATLAB и методом центральных разностей в ПК LS-DYNA.

В качестве ускорений были использованы поступательная акселерограмма и полученная по ней акселерограмма ротационного воздействия.

Также была решена задача с теми же исходными данными, но было рассмотрено воздействие с шестью компонентами (три поступательными и тремя ротационными).

Результаты исследования для плоской постановки задачи приведены на рис.1,2 и в таблице 1.

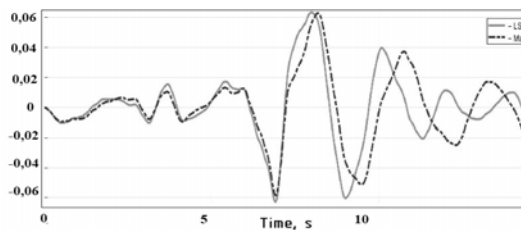


Рисунок 1 – Графическое сопоставление значений перемещений вдоль оси X верхней точки одномассовой системы от a_x из LS-DYNA и MATLAB

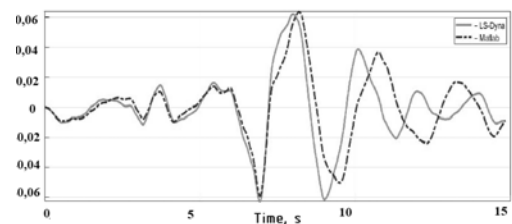


Рисунок 2 – Графическое сопоставление значений перемещений вдоль оси X верхней точки одномассовой системы от a_x и ε_y из LS-DYNA и MATLAB

Таблица 1

Сравнение максимальных и минимальных значений перемещений от учёта ε_y

–	–	$ота_x$	$ота_x + \varepsilon_y$	Разница
MATLAB	u_x^{max} , м	$6,30 \cdot 10^{-2}$	$6,37 \cdot 10^{-2}$	1,10 %
	u_x^{min} , м	$-5,84 \cdot 10^{-2}$	$-5,91 \cdot 10^{-2}$	1,18 %
LS-DYNA	u_x^{max} , м	$6,34 \cdot 10^{-2}$	$6,20 \cdot 10^{-2}$	2,26 %
	u_x^{min} , м	$-6,27 \cdot 10^{-2}$	$-6,27 \cdot 10^{-2}$	0,00 %

Как видно по графикам на рис. 1, 2 и таблицы 1 полученные значения перемещений в двух комплексах имеют незначительные отличия, что говорит о правильной постановке задачи, а также можно заключить, что влияние ротационной компоненты сейсмического воздействия на напряжённо-деформированное состояние одномассовой системы незначительно. Однако, исходя из уравнения (3) можно заключить, что рост вклада ротационной компоненты в напряжённо-деформированное состояние системы прямо пропорционален росту её высоты.

Список использованных источников

1. Назаров Ю. П., Позняк Е. В. Оценка ротационных компонент сейсмического движения грунта // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 6. – С. 32-36.
2. Назаров Ю.П. Расчётные модели сейсмических воздействий. – М. : Наука, 2012., – 414 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М. : Наука, 1967., 460 с.
4. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Сейсмические нагрузки при расчете зданий и сооружений: монография. – М. : Издательство АСВ, 2017. – 140 с
5. Chopra A. K. Dynamic of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering – New Jersey : Prentice-Hall, 2006. 794 p.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОУПРУГОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ. РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДИКИ

Негрозова И.Ю.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), младший научный сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, инженер-расчетчик. Россия, irina-lanzova@mail.ru

Ключевые слова: явления аэроупругости, аэроупругая неустойчивость, галопирование, дивергенция, флаттер, вихревое возбуждение, FSI

NUMERICAL SIMULATION OF AEROELASTIC INSTABILITY OF BUILDING STRUCTURES AND STRUCTURES. DEVELOPMENT AND PERSPECTIVES OF THE METHOD

Negrozova I. Yu.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Junior Researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia. R&D Center StaDyO, Structural Engineer, irina-lanzova@mail.ru

Key words: aeroelastic phenomena, aeroelastic instability, galloping, divergence, flutter, vortex shedding, FSI

Оценка возникновения явлений аэроупругой неустойчивости строительных конструкций в ветровом потоке является актуальной проблемой, несмотря на развитый аппарат компьютерного и экспериментального моделирования.

В настоящее время не все из аэроупругих явлений полностью изучены. В самом деле, для разработки моделей аэродинамических сил, действующих на колеблющееся тело, существует лишь несколько теоретических построений, полученных из основных законов аэрогидродинамики. В большинстве же исследований предлагаются эмпирические модели, в которых аэродинамическое описание сущности явления должно быть дополнено и подкреплено экспериментом. Соответствующие аналитические модели обычно включают лишь минимально необходимое число параметров, чтобы отвечать наиболее характерным особенностям наблюдаемых явлений.

Практически безальтернативный ещё 20-30 лет назад экспериментальный подход имеет ряд серьезных недостатков. Корректный анализ взаимного влияния воздушного потока и конструкции практически невозможен при эксперименте в аэродинамической трубе ввиду сложности воссоздания деформируемой конструкции в подобии. Практически все современные экспериментальные исследования основываются на предположении поведения конструкции как абсолютно жесткого тела. При этом обратное влияние деформированной конструкции на структуру воздушного потока многократно подтверждалось печальным опытом и сказывалось на завышении в лучшем или занижении в худшем случае критических скоростей наступления аэродинамической неустойчивости.

Благодаря развитию вычислительной техники и программных комплексов в по-

следние время активно развивается другой подход – математическое (численное) моделирование, свободное от ограничений экспериментальных методов. Сегодня возможно проводить прямое численное решение связанных задач аэрогидроупругости и непосредственно моделировать явления аэродинамической неустойчивости, не прибегая к многочисленным серьезным допущениями, принятым в экспериментальных методах. В результате получают более точные оценки критериев возникновения аэродинамической неустойчивости уникальных и особо ответственных гибких сооружений и как следствие повышается их механическая безопасность.

Несмотря на достоинства прямого численного моделирования, у него также есть недостатки. Основной недостаток – высокая вычислительная сложность. Хотя вместе с дальнейшим прогрессом вычислительной техники этот недостаток будет все больше нивелироваться, сейчас представляется актуальной разработка универсального и более экономного подхода оценки аэродинамической устойчивости конструкций.

В актуальном докладе рассматривается методика оценки аэроупругой неустойчивости строительных конструкций и сооружений, включая верификационные задачи аэроупругости и апробацию методики на реальных объектах.

Список использованных источников

1. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Афанасьева И.Н. Вычислительная аэродинамика в задачах строительства // М.: АСВ. – 2017. – Т. 720.
2. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения – Пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецово; под ред. Б.Е. Маслова. // М.: Стройиздат, 1984. – 360 с.
3. Ланцова И.Ю., Афанасьева И.Н. Моделирование аэродинамической неустойчивости строительных конструкций на примере сечения моста часть 1: оценка аэродинамической неустойчивости сечения инженерными методами // IJCCSE, vol. 14, issue 1, 2018.
4. Belostotsky A.M., Afanasyeva I.N., Negrozova I.Yu., Goryachevsky O.S. Simulation of aerodynamic instability of building structures on the example of a bridge section. Part 2: Solution of the problem in a coupled aeroelastic formulation and comparison with engineering estimates // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – V. 17. – №. 3. – P. 24-38. – DOI: 10.22337/2587-9618-2021-17-3-24-38.
5. Lantsova I. Numerical simulation of fluid-structure interaction by the example of a flow past a cylinder with a flexible thin structure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – V.1030. – №012084. – DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012084
6. Negrozova I.Yu., Goryachevsky O.S. Numerical simulation of oscillations a plate in resting fluid // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – Т. 19. – №. 1. – С. 124-134. - DOI:10.22337/2587-9618-2023-19-1-124-134.

УТОЧНЕНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА БАШЕННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ГРАДИРНИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ И ЭТАПОВ ВОЗВЕДЕНИЯ

Титков С.О.¹

¹*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ассистент кафедры «Технологии и организации строительства», Россия, s.o.titkov@donnasa.ru*

Ключевые слова: ветровая нагрузка, башенные каркасно-обшивные металлические градирни, визуализация, тензометрические весы, локальные аэродинамические коэффициенты

REFINED WIND LOAD ON TOWER METAL COOLING TOWERS TAKING INTO ACCOUNT THE FEATURES OF THE STRUCTURAL FORM AND STAGES OF CONSTRUCTION

Titkov S.O.¹

¹*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Assistant of the Department of Technology and organization of construction, Russia, s.o.titkov@donnasa.ru*

Key words: wind load, frame-sheathed metal cooling towers, visualization, tensometric scales, local aerodynamic coefficients

В настоящее время существует ряд не полностью решенных научно-технических задач при разработке качественных проектов башенных каркасно-обшивных градирен [1]. При этом основной проблемой является отсутствие в нормативных документах обоснованных значений нагрузок и воздействий на данное сооружение. Современное программное обеспечение, с помощью которого проектировщики выполняют расчеты, позволяет успешно моделировать сооружения любой сложности на всех этапах жизненного цикла с учетом различного рода нагрузок и воздействий. Разработка нормативных документов является важной задачей в этой области.

Анализ отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих нагрузки на башенные металлические градирни (БМГ), свидетельствует об отсутствии эпюр, характеризующих распределение локальных аэродинамических коэффициентов по периметру сечения градирни. Отсутствие эпюр ветрового давления в нормативных документах не дает полной оценки характера воздействия на конструкции БМГ.

Результаты исследований особенностей ветрового воздействия с учетом конструктивной формы и процесса возведения позволят уточнить значения ветрового давления на БМГ, а также разработать и дополнить методику проектирования металлических отдельно стоящих башенных градирен, повысить качество проектирования, и положительно отразится на работе сооружения в условиях эксплуатации.

Для оценки влияния ветрового потока на отдельно стоящие башенные металлические градирни с учетом формообразования и стадийности возведения данных сооружений и последующего выявления зависимостей, разработана программа модельных экспериментальных исследований в лаборатории строительной аэродинамики в метеорологической аэродинамической трубе (МАТ-1) ДонНАСА. Программа включает в себя четыре вида экспериментов [2-5]:

А) Количественные эксперименты:

– тензометрические исследования – позволяет выявить диапазон скоростей набегающего ветрового потока, при котором достигается критерий подобия по числу Рейнольдса;

– дренажные исследования – позволяют получить значения локальных аэродинамических коэффициентов, по которым строится эпюра распределения ветрового давления.

Б) Визуализационные эксперименты позволяют оценить характер обтекания ветрового потока, что в свою очередь сокращает выборку теорий, по которой проводится численные исследования:

- теневой метод лазерного ножа (применяется впервые в МАТ-1);
- метод шелковинок.

Разработаны модели рисунок 1, соответствующие натурным конструкциям реальных объектов исследования и выполнены с помощью 3D печати. В последующем цифровые модели, по которым производилась 3D печать, использованы в численных исследованиях, что позволяет избежать погрешностей при проведении верификации численных и экспериментальных исследований.

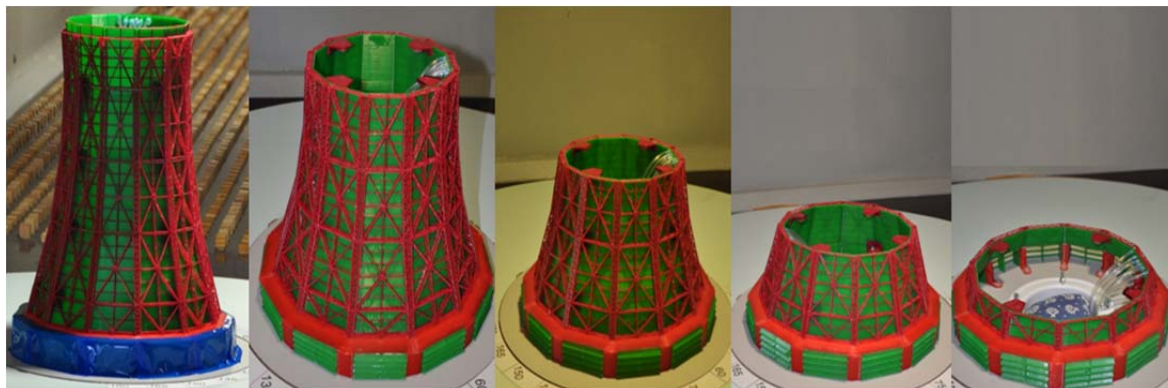


Рисунок 1 – Модельный ряд 12-гранной гиперболической градирни с учетом монтажных стадий

В таблице 1 приведены результаты исследований обтекания ветровым потоком каркасно-обшивных башенных градирен на стадии монтажа замыкания карт яруса.

Таблица 1.
Огибающая эпюра ветрового давления 12-гранной гиперболической БМГ направление ветра на ребро (монтажная стадия)

Угол, град.	Формула
$0 \leq x \leq 38$	$C_{pi} = -0.0035x^2 + 0.079x + 2$
$38 < x \leq 45$	$C_{pi} = 0.129x^2 - 10.7997x + 224.01$
$45 < x \leq 70$	$C_{pi} = -0.012x - 0.09$
$70 < x \leq 100$	$C_{pi} = 0.0131x^2 - 2.2212x + 89.982$
$100 < x \leq 180$	$C_{pi} = -0.9$

В результате численных [2,6] и экспериментальных исследований достигнута основная цель работы, заключающаяся в уточнении значений ветровых нагрузок на башенные металлические градирни на основе изучения закономерностей влияния

давления ветрового потока с учетом конструктивной формы градирен, в результате аэродинамических испытаний, и численных исследований ветрового давления. Выполнена разработка рекомендации по определению ветровой нагрузки с учетом особенностей конструктивной формы градирен и процесса их возведения.

Список использованных источников

1. *Бедов А.И., Габитов А.И.* Инженерные сооружения башенного типа, технологические эстакады и опоры линий электропередачи. М.: Издательство МГСУ, 2017. 328 с.
2. *Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Афанасьева И.Н.* Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. Издательство АСВ. Москва, 2017. 720 с.
3. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / *В.Н. Гордеев, А.И. Лант ух-Лященко, А.В. Махинько, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин.* М.: Издательство СКАД СОФТ, издательство АСВ, издательство ДМК Пресс, 2020. 596 с.
4. *Горохов Е.В., Кузнецов С.Г.* Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здание и сооружения. Донецк: Издательство Норд-Пресс, 2009. 168 р.
5. *Кузнецов С.Г.* Эффекты волнообразования при обтекании ветровым потоком высотных зданий и сооружений. Донецк: Издательство Норд-Пресс, 2009. 200 р.
6. Казакевич М.И. Основы расчета сооружений на ветровые воздействия. Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020.-190 с.

СЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 004.891, 69

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ

Долженко А.В.¹

¹ *Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
da7182@mail.ru*

Ключевые слова: строительно-техническая экспертиза, строительная дефектоскопия, нейросеть, искусственный интеллект, глубокая сверточная сеть, сегментация изображений, жизненный цикл плоской рулонной кровли

PRACTICAL ASPECTS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE AT THE STAGE OF OPERATION OF THE LIFE CYCLE OF A BUILDING

Dolzhenko A.V.¹

¹ *Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, da7182@mail.ru*

Key words: construction and technical expertise, construction flaw detection, neural network, artificial intelligence, deep convolutional network, image segmentation, life cycle of flat roof

Своевременное выявление и устранение локальных дефектов плоских рулонных кровель (ПРК) позволяет существенно продлить стадию эксплуатации их жизненного цикла. Процесс выявления дефектов и повреждений осуществляется в рамках строительно-технической экспертизы [1], являющейся технически сложным, ресурсоемким и часто небезопасным процессом, что существенно усложняет процесс управления жизненным циклом ПРК. В этой связи автором разработана и предложена к применению аппаратно-программная технология (АПТ) автоматизированной дефектоскопии ПРК на стадии эксплуатации [2].

Ключевым фактором качества предлагаемой АПТ (см. рис. 1) автоматизации поиска и диагностики дефектов ПРК является повторяемость условий диагностирования, обеспечиваемая программируемой траекторией движения, полной автономностью исполнения полетного задания БПЛА, а также достаточно обученной нейронной сети.

Разработанная и предложенная АПТ дефектоскопии ПРК базируется на алгоритмах нейронной сети DeepLabv3+, мерой оценки качества работы которой является метрика Intersection over Union (IoU) (см. рис. 2), представляющая собой отношение площади пересечения прямоугольного региона-кандидата с прямоугольником, на самом деле обхватывающим объект, к площади объединения этих прямоугольников [3].

Ключевыми детектируемыми дефектами ПРК, анализируемыми АПТ являются впадины, вздутия, трещины, отслоение, разрывы, отрывы, отсутствие рулонного ковра, биологическое и коррозионное повреждение её элементов (см. рис. 3).

Предложенный подход к нейросетевому обучению АПК распознавания и диагно-

стики типовых дефектов ПРК показал приемлемые результаты, что позволяет выделять области таких дефектов с приемлемым для практического применения качеством.

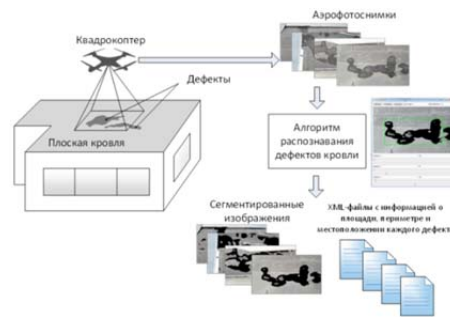


Рисунок 1 – Структура подхода нейросетевого обучения системы распознавания дефектов кровли

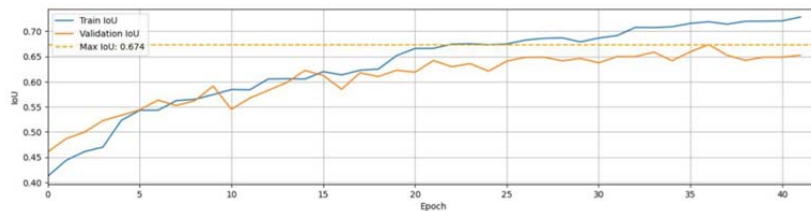


Рисунок 2 – Повышение эффективности распознавания дефектов плоской рулонной кровли в процессе обучения глубокой сверточной нейронной сети

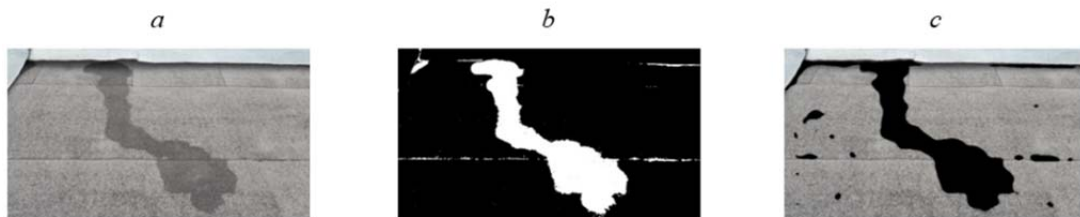


Рисунок 3 – Примеры распознавания дефектов: а – исходное изображение, б – подготовленная бинарная маска; с – результаты работы нейронной сети

Выполненное автором инженерное приложение целесообразно к использованию в широкой цифровой экспертной практике для автоматизации мониторинга дефектов зданий и сооружений, обеспечивающих динамически актуализируемый, кроссплатформенный, объективный доступный информационный ресурс, существенно расширяющей текущие и перспективные возможности строительно-технической дефектоскопии, снижающий издержки на ее производство и повышающий результативность управленческих решений и технико-экономических оценок текущей и прогнозируемой конструктивной безопасности и функциональной надежности исследуемых и эксплуатируемых объектов капитального строительства.

Список использованных источников

1. Грабовый, П. Г. Система экспертиз недвижимости и их содержание / П. Г. Грабовый // Цифровое будущее инновационной экономики России : межвузовский сборник научных трудов и результатов совместных научно-исследовательских проектов. – Москва : Издательство "Аудитор", 2018. – С. 89-95.
2. Наумов А. Е., Юдин Д. А., Долженко А. В. Совершенствование технологии проведения строительно-технических экспертиз с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. №. 4. С. 61-69.
3. Yudin D A, Magergut V Z 2013 Segmentation of sintering images using texture analysis based on self-organized maps, *Information technologies* 5 65–70.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ И СТОИМОСТИ СОЗДАНИЯ 3D-ТЕЛ ПРИ ЛАЗЕРНОМ СКАНИРОВАНИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА DT-BIM НА ОСНОВЕ ШКАЛЫ СЛОЖНОСТИ

Евтушенко С.И.¹, Феттер М.Г.²

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет», профессор., профессор кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», Россия, sergand1957@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет», аспирант кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», Россия, f3tter@ya.ru

Ключевые слова: управление проектом, Autodesk Revit, семейства, облака точек, цифровой двойник, 3D-моделирование, степень детализации

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE COMPLEXITY AND COST OF CREATING 3D BODIES WITH LASER SCANNING DURING THE IMPLEMENTATION OF THE DT-BIM PROJECT BASED ON THE COMPLEXITY SCALE

Evtushenko S. I.¹, Fetter M. G.²

¹ Moscow State University of Civil Engineering, Professor, Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, Russia, sergand1957@gmail.com

¹ Moscow State University of Civil Engineering, PhD of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, Russia, f3tter@ya.ru

Key words: Project Management, Autodesk Revit, Families, Point Clouds, Digital Twin, 3D Modeling, Granularity

Недостаточная распространённость применения технологий информационного моделирования на этапе эксплуатации обусловлена высокой стоимостью и низкой автоматизацией процесса создания цифровых двойников. Снижение себестоимости работ по созданию DT-BIM может позволить в перспективе снизить стоимость применения BIM на этапе эксплуатации.

В связи с вариативностью оборудования, моделируемого в модели DT возникает постоянная необходимость оценки себестоимости потенциального проекта, а именно, задач по созданию семейств, как составной части непосредственно моделирования.

На данный момент существует множество методик, позволяющих оценить сложность разработки цифрового продукта. При неизвестных общих сроках/стоимости выполнения работ (как на этапе формирования КП), необходима шкала, основанная на реальной трудоемкости работ.

В данной работе предлагается следующая система оценивания, основанная на нескольких классификациях процесса:

- по уровню решаемой задачи;
- по уровню детализации проекта (см. рис. 1);
- по количеству предполагаемых операций в САПР.

Расчет сложности представляет собой мультипликацию «веса» и условных баллов, рассчитываемых далее:

$$T = npt,$$

где T – искомое время выполнения задачи (блока/операции), n – сложность в баллах (pt), умноженное на продолжительность базовой команды.

В качестве условности для начала отсчета было введено понятие базовой команды. Используя метод подсчета времени по методике GOMS - «The model of Goals, Objects, Methods, and Selectionrules» - было получено время, затрачиваемое пользователем на выполнение такой команды в Autodesk Revit – 20 секунд.

Основываясь на блоках операций, складываемых по предложенной классификации возможно определить трудоемкость моделирования: переходя от уровня к уровню возможен подсчет как типовых 3д-блоков, так и типовых семейств, сложных семейств и дисциплин проектов.

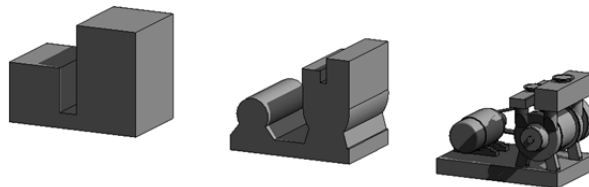


Рисунок 1 – Уровни детализации оборудования (слева направо: низкий, средний, высокий)

Данные, полученные в результате подсчета, при их сравнении с эмпирически полученными данными о времени моделирования аналогичных 3д блоков для параметрических семейств, оказываются ниже на несколько порядков. Например, время выполнения 1 экземпляра Насоса вакуумного в высокой детализации 104pt (или 34 минуты), однако создание такого же блока для параметрического семейства может занять от 6 часов. Ускорение обусловлено тем, что отсутствует необходимость: создания параметров и зависимостей; проверки работоспособности зависимостей на промежуточных этапах моделирования; создания таблицы выбора; создания типоразмеров/каталога типоразмеров; условности расчета на данном этапе;

Дальнейшая разработка подобной методики подсчета позволяет стандартизировать процесс выдачи КП, а также позволяет стандартизировать сопутствующие процессы, реализуемые как на уровне команды, так и ее участников.

Список использованных источников

1. *Можжаев, А. Н.* Сегментация облаков точек с помощью средств библиотеки pointcloudlibrary / А. Н. Можжаев // Экстремальная робототехника. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 301-308. – EDN YNCUTJ.
2. *Феттер, М. Г.* Scan-to-BIM: организация процесса для моделей трубопроводных систем / М. Г. Феттер // Дни студенческой науки : Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института цифровых технологий и моделирования в строительстве (ИЦТМС) НИУ МГСУ, Москва, 28 февраля – 04 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. – С. 214-218. – EDN SMBFRH.
3. *Boyu Wang, Chao Yin, Han Luo, Jack C.P. Cheng, Qian Wang,* Fully automated generation of parametric BIM for MEP scenes based on terrestrial laser scanning data//Automation in Construction. – Volume 125, 2021/103615. – ISSN 0926-5805. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103615>.
4. *Хайруллин, М. Ф.* Анализ современных методов создания эксплуатационной BIM-модели здания / М. Ф. Хайруллин // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре : Сборник статей 77-ой всероссийской научно-технической конференции, Самара, 26–30 октября 2020 года / Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, В.Ю. Алпатова. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2020. – С. 555-562. – EDN CLVWLI.
5. *Богданов, А. Н.* Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях / А. Н. Богданов, И. А. Алешутин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 4(46). – С. 326-332. – EDN VQTQVG.
6. *Можжаев, А. Н.* Сегментация облаков точек с помощью средств библиотеки pointcloudlibrary / А. Н. Можжаев // Экстремальная робототехника. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 301-308. – EDN YNCUTJ

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КОРПУСА ТГТУ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЗДАННОЙ BIM-МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Жукова Я.И.¹, Хулина М.С.², Митина У.А.³, Тюкова А.А.⁴, Умнова О.В.⁵

¹ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
yazhukovaa@yandex.ru*

² *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
ritakhulina2@gmail.com*

³ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
m.ulyana2002@yandex.ru*

⁴ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
linatyukova05@mail.ru*

⁵ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
заведующая кафедрой «Конструкций зданий и сооружений»,
umnova.ov@mail.tstu.ru*

Ключевые слова: модернизация, система водоснабжения, обследование зданий, BIM-модель

DEVELOPMENT OF A PROJECT TO MODERNIZE THE WATER SUPPLY SYSTEM OF THE TSTU BUILDING USING THE CREATED BIM MODEL OF THE BUILDING.

Zhukova Ya.I.¹, Khulina M.S.², Mitina U.A.³, Tukova A.A.⁴, Umnova O.V.⁵

¹ *Tambov State Technical University, student, yazhukovaa@yandex.ru*

² *Tambov State Technical University, student, ritakhulina2@gmail.com*

³ *Tambov State Technical University, student, m.ulyana2002@yandex.ru*

⁴ *Tambov State Technical University, student, linatyukova05@mail.ru*

⁵ *Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, head of the department «Structures of buildings and constructsures», umnova.ov@mail.tstu.ru*

Key words: modernization, water supply system, building survey, BIM model

На первом этапе разработки проекта модернизации системы водоснабжения и водоотведения корпуса ТГТУ была изучена нормативная база и проведено обследование технического состояния названных инженерных систем. Общей целью обследований технического состояния инженерных систем явилась диагностика, выявление степени физического износа, причин возникновения дефектов и повреждений, фактического состояния (работоспособности) и разработка мероприятий по обеспечению нормальной (безопасной) эксплуатации.

Правила обследования инженерных сетей [1] в строящихся и эксплуатируемых зданиях регламентируют ГОСТ [2, 3]. Нормативный срок службы для зданий II группы составляет 15 лет [7].

Авторами проведено обследование инженерных сетей трубопроводов холодного водоснабжения и канализации корпуса ТГТУ, сданного в эксплуатацию в 1992 году.

После осмотра инженерных сетей были сделаны следующие выводы:

1. Присутствует быстротекущий процесс наружной (рисунок 1) и внутренней коррозии труб из-за повышенной влажности в подвальном помещении, наличия конденсата на трубах и неблагоприятного микробиологического фона;

2. По предварительной оценке износ инженерных систем составляет 60-70%. Не

во всех аудиториях, где предусмотрена подача воды и санузлах, функционирует система водоснабжения;

3. Требуется разработка проекта модернизации системы водоснабжения и водоотведения с применением современных материалов и технологий, контролирующего оборудования с мониторингом эффективной и надежной её работы (защита от протечек, засоров, оптимального давления и расхода при подаче воды).

Трубопроводы системы холодного водоснабжения и их соединения должны быть герметичными, защищёнными от конденсационной влаги и не должны иметь коррозии, согласно требованиям [4].

Разработка проекта модернизации системы водоснабжения и водоотведения велась на основании созданной BIM-модели здания в программном комплексе Revit.

Программный комплекс включает в себя возможность проектирования и инженерных систем. С помощью библиотек в Revit можно запроектировать полноценную BIM-модель системы холодного водоснабжения и водоотведения.



Рисунок 1 – Состояние системы водоснабжения и водоотведения в подвале корпуса ТГТУ, эксплуатация с 1992 года

Проектирование систем внутреннего водопровода заключается в выборе типа труб, мест установки санитарных приборов, разводящих магистралей, ввода, водомерного узла, стояков, напорных баков, насосных установок, контролирующего оборудования.

На основе гидравлического расчета подобраны оптимальные размеры труб(длина, диаметр, толщина)при требуемом напоре в системе. Для дополнительного контроля гидравлический расчет был также выполнен в программе Microsoft Excel в табличной форме.

Расчет выполнялся в следующем порядке:

- выбирался расчетный путь – определяли расходы на расчетных участках пути – по расчетному расходу определяли диаметр трубы расчетного участка, потери напора по участкам и скорость движения воды – подбирали счетчик воды и контролирующее оборудование – определяется требуемый напор в системе.

Выводы:

1. Установлены оптимальные диаметры труб 25-100 мм согласно [5].
2. Библиотека семейств в программном комплексе Revit содержит множество компонентов для построения качественных BIM-моделей систем водоснабжения и водоотведения, что позволяет на достаточном уровне детализации оформить планы и схемы по всем требованиям норм;
2. BIM-модель позволит контролировать надежную работу системы на протяжении всего жизненного цикла, при необходимости ремонта подсчитать количество задвижек, клапанов, определить длину труб, что существенно облегчит работу хозяйственных служб ВУЗа и значительно снизит расходы на водоснабжение и ремонт.

Список использованных источников

1. СП 118.13330.2022 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения»
2. ГОСТ 31937-2011 «Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»
3. ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»
4. Строительные нормы СН 1.04.01-2020 «Техническое состояние зданий и сооружений»
5. СП 30.13330.2020 «СНиП 2.04.01-85* Внутренний водопровод и канализация зданий»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Келасьев Н.Г.¹

¹ *Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (АО «ЦНИИПромзданий»), д.т.н., профессор, Россия, kelasyev@mail.ru*

Ключевые слова: большепролетные сооружения, спортивные сооружения, проектирование стадионов, объемно-планировочные решения спортивных сооружений

MODELING OF SPACE-PLANNING SOLUTIONS OF UNIVERSAL LARGE-SPAN SPORTS FACILITIES

Kelasyev N.G.¹

¹ *Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (JSC Tsniipromzdaniy), Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia, kelasyev@mail.ru*

Key words: large-span structures, sports facilities, stadium design, space-planning solutions for sports facilities

Спорт способствует восстановлению развития физических сил. Распространение физической культуры вызывало необходимость строительства спортивных сооружений, которые могут использоваться для проведения зрелищных массовых мероприятий.

В настоящее время спорт становится не только заметным социальным, но и политическим фактором в современном мире.

Привлечение широких масс населения к занятию физической культурой, а также успехи на международных состязаниях, являются бесспорным доказательством жизнеспособности и духовной силы любой нации, а также ее военной и политической мощи.

Для решения проблем развития гармоничной личности было утверждено Постановление Правительства РФ от 30 сентября 2021 г. N 1661 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие физической культуры и спорта" на период до 2030 года.

Одни из направлений реализации указанной программы является проектирование и строительство стадионов. Они призваны развивать не только футбол и/или хоккей. Если в городах – мегаполисах могут быть построены специализированные только для этих видов спорта сооружения, то в ряде областных и районных центров целесообразно строить универсальные стадионы, в которых подтрибунные помещения используются для развития самых различных видов спорта, как игровых (баскетбол, волейбол и др.), так и единоборств, настольного тенниса, фехтования и многих других.

Особенно важно создавать в этих помещениях детско-юношеские спортивные центры.

Автором были рассмотрены два типа стадионов.

I тип – вместимостью 26 тысяч зрителей размерами 160×233 м. Северная трибуна была принята двухъярусной, что позволило обеспечить требуемую высоту подтрибунных игровых залов, остальные трибуны одноярусные.

II тип – подковообразный вместимостью 12,5 тысяч зрителей. В целях экономии материала на первом этапе использования стадиона южная трибуна не строится.

Были выявлены необходимые параметры помещений для различных видов спорта. Предложены и обоснованы несколько измененные параметры помещений для ряда видов спорта.

Для разработки рациональных объемно-планировочных решений предложено выделить 8 спортивных модулей-блоков и три модуля-блока административно-технических: вспомогательные, административно-хозяйственные и инженерно-технические.

Состав спортивных блоков стадиона определяется в зависимости от уровня развития того или иного вида спорта и национальных традиций. Модули-блоки, в свою очередь, состоят из отдельных помещений.

На основании проделанных расчётов и их анализа определены основные параметры модулей-блоков и комплектующих их элементов, которые должны послужить функционально-технологической основой проектирования стадионов.

Список использованных источников

1. СП 285.1325800.2016 «Стадионы футбольные. Правила проектирования»
2. *Канчели Н.В.* Строительные пространственные конструкции. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 128 с.
3. *Келасьев Н.Г., Кодыш Э.Н.* Проектирование физкультурно-оздоровительных комплексов. – Москва: АСВ, 2010. – 168 с.
4. *Келасьев Н.Г., Розенблюм А.Я.* Конструктивные решения малой ледовой арены для хоккея с шайбой в олимпийском парке Сочи // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №8. С. 18–19.
5. *Келасьев Н.Г.* Особенности проектирования и строительства футбольного стадиона в Казани для проведения чемпионата мира по футболу // Промышленное и гражданское строительство. – 2013.– № 6. С. 51-55.
6. *Келасьев Н.Г.* Особенности проектирования и строительства многофункционального спортивного комплекса - футбольного стадиона на 45 000 зрителей в Ростове-на-Дону // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №6. С. 17–23.
7. *Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А.* Железобетонные конструкции. В 2 ч. Ч. 2 – учебник для вузов. 2-е издание, дополненное и переработанное / М.: Издательство АСВ, 2022. – 478 с.
8. *Дыховичный Ю.А.* Большепролетные конструкции сооружений Олимпиады-80 в Москве. – М.: Стройиздат, 1982. – 277 с.
9. Проектирование металлических конструкций. Часть 2: «Металлические конструкции. Специальный курс». Учебник для ВУЗов / *А.Р. Туснин, В.А. Рыбаков, Т.В. Назмеева и др.*; под общей редакцией *А.Р. Туснина* – М.: Издательство «Перо», 2020 – 436 с.
10. *Каратаев О.Р.* Спортивные сооружения: учебное пособие / *О.Р. Каратаев, Е.С. Каратаев, А.С. Кузнецов.* – М.: Физическая культура. 2001. – 336с. ISBN 978-5-9746-0157-6
11. *Гранев В.В., Лейкина Д.К., Моторин В.В.* Многофункциональные спортивные комплексы. – М., 2011. – 200с., илл.
12. *Кодыш Э.Н.* Введение в проектирование технически сложных зданий и сооружений: учебн. для вузов / *Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, Н.Г. Келасьев, И.А. Терехов.* – М.: Издательство АСВ, 2022. – 294с. ISBN 978-5-4323-0439-1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Киянец А.В.¹, Байбури А.Х.², Провоторов Д.Н.³

¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», к.т.н., заведующий кафедрой «Строительное производство и теория сооружений», Россия, kiianetcav@susu.ru

² ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», д.т.н., профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Россия, baiburinah@susu.ru

³ СРО «Союз строительных компаний Урала и Сибири», директор департамента нормативного регулирования и контроля, Россия, provotorov_dn@sskural.ru

Ключевые слова: исполнительная документация, электронный документооборот, ПК СКИД, цифровизация

DIGITALIZATION OF DOCUMENT FLOW OF EXECUTIVE DOCUMENTATION IN CONSTRUCTION

Kiyanets A.V.¹, Bayburin A.Kh.², Provotorov D.N.³

¹ South Ural State University (national research university), Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, Russia, kiianetcav@susu.ru

² South Ural State University (national research university), Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, Russia, baiburinah@susu.ru

³ Union of construction companies of the Urals and Siberia, Director of the Department of Regulatory Regulation and Control, Russia, provotorov_dn@sskural.ru

Key words: as-built documentation, electronic document management, PC SKID, digitalization

На сегодняшний день этапы проектирования, строительства и отслеживания жизненного цикла зданий и сооружений уже перенеслись в цифровую среду, благодаря использованию BIM-технологий, но процессы, связанные с отчётностью при производстве работ, заполнением исполнительной документации (ИД) во многом ведутся в устаревшей бумажной форме.

Действующее Постановление Правительства РФ от 24.07.2021 г. №1264 «Об утверждении Правил обмена документами в электронном виде при организации информационного взаимодействия» и Постановление Правительства РФ от 01.01.2022 г. «О введении обязательного использования технологий информационного моделирования (BIM) на объектах госзаказа (с государственным финансированием)» требует обязательного применения цифровизации документооборота в строительстве.

Существует и ряд других нормативных актов, регламентирующих электронный документооборот исполнительной документации [1-5]. Но наиболее интересным в этом плане документом является ГОСТ Р 70108-2022 «Документация исполнительная. Формирование и ведение в электронном виде», 2022 г., которые был разработан СРО «Союз строительных компаний Урала и Сибири», и вступил в действие 1 января 2023 года. В настоящий момент это единственный национальный стандарт, регулирующий формирование и ведение исполнительной документации в электронном виде.

Для реализации и внедрения электронного документооборота было проведено

исследование перспектив внедрения различных систем электронного документооборота (ProCrewSchedule, eSub, ПК СКИД) в деятельность строительных организаций.

В результате проведенного опроса строительных фирм Челябинской области о методах ведения исполнительной документации и их готовности к переходу на системы электронного документооборота, были выявлены основные трудности, которые могут возникнуть при внедрении систем цифровизации в процессы ведения исполнительной документации, изучено состояние нормативной базы, проведен сравнительный анализ эффективности различных методов. Проведенная работа выявила преимущества полного перехода в цифровую среду: возможность удаленного доступа к СЭД; минимизация «человеческого» фактора за счёт минимального вовлечения человека в процесс составления исполнительной документации и сбора данных для её ведения; минимизация материальных затрат за счёт отказа от бумажных носителей, исключения транспортных расходов и т.п.; подключение всех участников строительства к единой системе ЭД; уменьшение сроков формирования, утверждения и подписания ИД; архивация документации в облачных хранилищах, исключающих её порчу, потерю и прочие причины приведения бумаги в негодность.

Были выявлены и трудности: отсутствие нормативно-технической документации, регулирующей ведение общих и специальных журналов работ в электронном виде, что исключает полный переход на системы ЭД; необходимость в обучении лиц, использующих программу; необходимость наличия системного администратора, выдающего доступ всем участникам строительства.

По результатам исследования наилучшим образом проявил себя ПК СКИД. К его достоинствам, выявленным в процессе работы, можно отнести практически полное исключение бумажного документооборота, быстрое составление и формирование ИД, при этом, время работы над ИД сократилось почти в 3 раза, снизилось количество ошибок, допускаемых при формировании документации, повысился уровень взаимодействия всех участников строительства за счёт обеспечения мгновенной связи между всеми участниками строительства и наглядным предоставлением информации.

Список использованных источников

1. РД 11-02-2006 Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения
2. РД-11-05-2007 «Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения»
3. СП 68.13330.2017 «Приёмка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения».
4. СП 471.1325800.2019 «Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества производства строительных работ»
5. Распоряжение правительства Российской Федерации от 27.12.2021 г. №3883-р О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года

О НЕОБХОДИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БАНКА ДАННЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ КУЛЬТУРНО-ДОСУГОВЫХ ЦЕНТРОВ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кожухина О.Н.¹, Иванова А.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, olga1463@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, ivanovaalena383@ya.ru

Ключевые слова: дом культуры, банк данных, модернизация, Тамбов

ON THE NEED TO FORM A DATA BANK OF EXISTING CULTURAL AND LEISURE CENTERS OF THE TAMBOV REGION

Kozhukhina O.N.¹, Ivanova A.A.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the
Department "Urban Construction and Highways", Russia, olga1463@yandex.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Student of the Department
"Urban Construction and Highways", Russia, ivanovaalena383@ya.ru

Key words: house of culture, data bank, modernization, Tambov

На сегодняшний день существует необходимость формирования культурно-досуговой среды, которая отвечала бы потребностям отдельных людей и общества в целом. В потребности населения входят: повышение качества, разнообразия и эффективности услуг в сфере культуры, создание условий для их доступности и вовлечения населения в активную социокультурную деятельность.

По этой причине модернизация и реновация в основном типовых домов культуры является важной задачей настоящего и будущего времени. Необходима разработка срочных мер по восстановлению сохранившихся на данный момент объектов культурного досуга населения, а именно, бывших домов культуры (ДК).

В современных условиях ДК станут востребованными тогда, когда они будут отвечать запросам общества, и при этом быть multifunctional. Низкая материальная база существующих культурных центров приводит к их повсеместному закрытию. В результате здания приходят в аварийное состояние и затем полностью разрушаются. Такой процесс происходит и в Тамбовской области. В Тамбове утрачены ДК «Строитель», ДК «Электрон» и т. д. Знаменитый ДК «Юбилейный» был продан частным лицам, которые стараясь окупить затраты, размещают в нем торговые павильоны, завешивая на фасадах баннерами композиции монументально - декоративного искусства. Здание в отсутствие необходимого содержания и ремонтов постепенно разрушается. Владельцы объекта сделали предложение о его сносе. Горожане выступили против этого и на сегодня здание бывшего ДК продолжает быть торговым строением, постепенно приходя в негодность.

Для исключения указанных негативных факторов в срочном порядке необходимо создать банк данных об объектах культурного назначения Тамбова и Тамбовской области, которые еще можно восстановить и в дальнейшем использовать по своему первоначальному назначению. Необходимость формирования такого банка обуслов-

лена повышением общественного внимания к степени вовлеченности различных социальных групп в деятельность клубных формирований. Отсутствие этих данных не позволяет обеспечить сохранение существующих зданий путем проведения капитального ремонта, модернизации или полной реконструкции с расширением социокультурных функций объекта.

Главными задачами при создании банка является сбор, анализ, исследование и изучение данных о действующих и не действующих клубных объектах для дальнейшего обобщения информации, способствующей сохранению их, в том числе и как объектов культурного наследия. В состав банка данных должны входить: историческая справка объекта с указанием его отличительных особенностей; место нахождения; статус объекта; техническое состояние здания в целом и его отдельных конструктивных элементов; предварительное предложение по реконструкции, модернизации или капитальному ремонту.

Исходя из перечня мероприятий Тамбовской области по выполнению государственных программ, направленных на развитие культуры и туризма [1], установлено, что в период 2022-2023 годов проведено: обследование технического состояния 203 объектов культурного наследия; работы по их сохранению проводились на 11 объектах; заключено 3 договора на проведение государственной историко-культурной экспертизы объектов культурного наследия; 41 организация культуры получила современное оборудование; модернизированы и переоснащены 24 учреждения культуры; произведены реконструкция или капитальный ремонт 10 культурно-досуговых организаций в сельской местности. В рамках проведения регионального проекта «Культурная среда» ведется работа по капитальному ремонту четырех домов культуры в Мордовском, Сосновском, Уваровском, Кирсановском районах Тамбовской области. Завершены работы по строительству дома культуры в Тамбовском районе, ведутся работы по модернизации двух детских школ искусств в г. Кирсанов и г. Уварово [2].

После реализации проекта создания банка данных ожидается использование их на местных уровнях, в информационных сервисах и порталах для повышения культурного интереса граждан, привлечения туристов, организации выставок и семинаров, развития творческих проектов в области музыкального, театрального и изобразительного искусства для участия в конкурсах распределения местного бюджета, привлечения инвесторов, строительных фондов, освещения проектов по восстановлению объектов. Создание и использование впоследствии банка данных о культурно-досуговых центрах Тамбовской области позволит последовательно решить поставленные на долгосрочную перспективу задачи по сохранению и популяризации объектов культурного наследия, к качественно новому уровню функционирования отраслей культуры, включая библиотечное, музейное, архивное дело, концертную и театральную деятельность, традиционную народную культуру, а также будет способствовать значительному укреплению потенциала области в сфере культуры, в том числе для формирования положительного образа Тамбовщины как в ее границах, так и за пределами.

Список использованных источников

1. Государственная программа Тамбовской области «Развитие культуры и туризма» [Электронный ресурс]: Министерство культуры Тамбовской области. – URL: <https://cult.tmbreg.ru/> (дата обращения 12.02.2023)
2. Государственная программа Тамбовской области «Культурная среда» [Электронный ресурс]: Правительство Тамбовской области. – URL: <https://www.tambov.gov.ru/> (дата обращения 12.02.2023)
3. Государственная программа Тамбовской области «Культурная среда» [Электронный ресурс]: Правительство Тамбовской области. – URL: <https://www.tambov.gov.ru/> (дата обращения 12.02.2023)

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕТОНА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Макеев А.И.¹

¹ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", к.т.н., доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Россия, makeev@vgasu.vrn.ru

Ключевые слова: цифровая модель бетона, цифровизация строительного материаловедения, конструирование структур, синтез материалов с заданными свойствами

INFORMATION MODELING OF CONCRETE: CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Makeev A.I.¹

¹Voronezh State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials, Products and Structures Technology, Russia, makeev@vgasu.vrn.ru

Key words: digital model of concrete, digitalization of building materials science, design of structures, synthesis of materials with specified properties

В контексте наступления эпохи цифровизации строительной отрасли развитие методов проектирования и расчета строительных конструкций, зданий и сооружений сегодня опирается на математическое и компьютерное моделирование их напряженно-деформированного состояния, нагрузок и воздействий, использование информационных технологий при экспериментальных и натурных исследованиях [1]. Отмечается, что «... компьютерные модели являются эффективным методом познания окружающего мира, а также прогнозирования и управления, позволяют осознать сущность изучаемых процессов и явлений. Потенциал математического и компьютерного моделирования, накопленный при исследовании одного круга задач, может быть использован для решения совсем других проблем» [2].

Переход к компьютерному моделированию строительных объектов, на наш взгляд, сегодня формирует благоприятную ситуацию для привлечения к этому процессу специалистов-материаловедов, конструирующих оптимальные структуры бетонов с задаваемыми свойствами. Под конструированием структуры здесь понимается умозрительная, виртуальная процедура «наполнения» объема проектируемой строительной конструкции (с учетом ее конфигурации, особенностей армирования и т.п.) образующими материал структурными элементами, с созданием пространственно-геометрической «конструкции структуры», способной максимально эффективно использовать силовые структурные связи в обеспечении потенциала работоспособности материала в условиях разрушающего воздействия эксплуатационной среды на строительную конструкцию [3]. Результатом конструирования структуры служит назначение комплекса управляющих воздействий из арсенала средств синтеза структуры - химико-технологической процедуры реализации составленного проекта пространственно-геометрической системы структурных связей в процессе производства строительной конструкции.

Однако, следует осознавать и признавать, что возможности взаимодействия и взаимопонимания специалистов по расчету строительных конструкций (“механиков”) и материаловедов до настоящего времени упирались в “водораздел” между используемыми ими понятиями, концепциями, методами, проходящий по масштабной границе 10^{-1} м в “пространстве и мире” строительной науки. Объективно сложилось, что “механики” имеют дело с телами масштаба от 10^{-1} м и крупнее, в которых реальная структура материала конструкции моделируется как сплошная однородная изотропная среда с некоторыми “эффективными” характеристиками, в той или иной мере совпадающими с истинными [4]. Степень достигнутого соответствия предопределяет прогностическую ценность результатов вычислений и компенсируется, в том числе, назначением коэффициентов запаса по материалу. Материаловеды же “работают” со структурированными твердыми телами, представляющими собой детерминированно-стохастическую конструкцию из элементов с характеристической размерностью от 10^{-1} до 10^{-10} м, обладающую минимум 5-6 структурными уровнями и тремя типами конструкции подструктур в целостной структуре бетона [5].

По нашему мнению, преодолеть “барьер” между механиками и материаловедами и решить обозначенные проблемы призвана разработка цифровой модели бетона, включающей, во-первых, идентификационные универсалии и качественно-количественные признаки его строения на всех масштабных уровнях, а во-вторых, сущностную причинно-следственную связь и отношения в системе «технология» - «состав-структура-состояние» - «свойства на момент изготовления и развернутые во времени в эксплуатационной среде».

Использование цифровой модели бетона (его цифрового двойника) при проектировании и расчете строительных конструкций призвано обеспечить уточнение картины их напряженно-деформированного состояния [6]. Для материаловеда фундаментальное предназначение цифровой модели состоит в реализации базового научного знания и положений системного структурного материаловедения и механики строительных композитов при разработке процедур конструирования и формировании арсенала средств синтеза оптимальных структур бетонов с наперед задаваемыми конструкционными и функциональными свойствами.

В аспекте прикладного назначения цифрового двойника бетонов обоснованно ожидать, что его внедрение в практику строительства обеспечит решение задач оптимизационного проектирования их состава и структуры в зависимости от условий эксплуатации в строительных конструкциях, а также назначения рациональных режимов и параметров изготовления конструкций. В перспективе, цифровой двойник бетона и железобетона, интегрированный в состав BIM-технологий, способен будет осуществлять автоматизированное управление производственным процессом изготовления изделия, а также мониторинг состояния материала конструкций в процессе эксплуатации с прогнозом их остаточного ресурса.

Рассмотрение ретроспекции накопления научного знания, эволюции концепций и методологий теоретического и прикладного материаловедения строительных композитов [7] показывает, что решение перманентной проблемы оптимизации структуры и технологии бетонов с древнейших времен и до наших дней осуществлялось на основе информационного моделирования [8]. Сегодня оно переживает процесс перехода от этапа обобщения знаний, вобравших в себя накопленные на описательном и объяснительном этапах данные и факты, к этапу формализации и компьютерного моделирования причинно-следственных отношений в системе «технология — материал

— конструкция — здание, сооружение — эксплуатационная среда» при обосновании прогностических процедур и разработке предписывающих действий в задачах конструирования и синтеза оптимальных структур бетонов.

Список использованных источников

1. *Травуш В. И.* Цифровые технологии в строительстве // *Academia. Архитектура и строительство.* 2018. № 3. С. 107-117
2. Информатика в строительстве (с основами математического и компьютерного моделирования) / коллектив авторов ; под. ред. *П.А. Акимова.* М.: КНОРУС, 2017. 420 с.
3. *Макеев А.И.* Методологические основания теории конструирования и синтеза оптимальных структур конгломератных строительных композитов // *Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения,* 2015. №1(10). С. 29-37
4. *Карпенко Н.И.* Общие модели механики бетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
5. *Чернышов Е.М. Макеев А.И.* Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 3. Системная идентификация "конструкции структуры" конгломератных строительных композитов (в качественной постановке проблемы) // *Известия высших учебных заведений. Строительство.* 2021. № 3(747). С. 5-26.
6. *Чернышов Е.М. Макеев А.И.* К моделированию напряженного состояния структурно-неоднородных конгломератных композитов в строительных конструкциях // *Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций.* 2015. Т. 11, № 2. С. 160-170
7. *Чернышов Е.М.* Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 2. Развитие и эволюция научного знания о конгломератных строительных композитах как структурированных системах // *Известия высших учебных заведений. Строительство.* 2020. № 1 (733). С. 57-77.
8. *Чернышов Е.М., Макеев А.И.* О проблеме развития, эволюции «цифрового подхода» в материаловедении и технологии строительных композитов // *Современная наука: теория, методология, практика: Материалы III всероссийской (национальной) научно-практической конференции / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет". Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2021. С. 9-21.*

ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Наумов А.Е.¹

¹*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
kafeun@mail.ru*

Ключевые слова: виртуальная реальность, высшее техническое образование, строительные конструкции зданий и сооружений, профессиональные компетенции

DIDACTICAL EFFICIENCY OF VIRTUAL REALITY IN EDUCATION FOR STRUCTURAL DESIGNING

Naumov A.E.¹

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, ,kafeun@mail.ru*

Key words: virtual reality, higher technical education, building structures, professional competencies

Виртуализация образовательных технологий в течение ряда последних лет рассматривается одной из наиболее эффективных практик повышения эффективности обучения. В основе виртуализированного обучения лежит иммерсивность — виртуальное расширение реальности, позволяющее лучше воспринимать и понимать окружающую действительность, что дидактически усиливает учебный материал в технических дисциплинах, связанных преимущественно с анализом профессиональных артефактов. Виртуализация строительного образования имеет еще большие перспективы роста компетентностного качества студентов, их практическую адаптацию, поскольку системно и непрерывно трансформирует восприятие учебных артефактов, приближая воспринимаемый масштаб и инструменты работы с ними к размерам и действиям, характерным для среды профессиональной деятельности выпускника.

В БГТУ им. В.Г. Шухова апробированы эффективные инструменты виртуализации учебного материала по дисциплинам строительного проектирования для профилям бакалавриата направления 08.03.01 — Строительство. В сотрудничестве с производителем виртуальной отечественной среды VR-Concept (vrconcept.net) разработано и внедрено в образовательную практику как факультативно, так и в составе дисциплин, обеспечивающих профессиональные компетенции учебного плана более 50 комнат виртуальных процессов, преимущественно в предметной области проектирования и структурного анализа. В рамках виртуализированных дисциплин изучаются основы формообразования, конструирования, усиления и технической эксплуатации железобетонных и стальных конструкций зданий и сооружений. Практическая работа в виртуальном процессоре обеспечивает детальное рассмотрение узлов и элементов конструкций, работу с ее визуальными и модельными атрибутами, работу в динамических сценариях сборки и технологической манипуляции, представляемым в форматах наблюдателя, соучастника и индивидуального исполнителя задания.

Эффективный образовательный процесс немислим без эффективной обратной связи с обучающимся. Виртуализация процессов, реализованная в уникальной в этом функциональной среде VR-concept позволяет максимизировать объективность обрат-

ной связи с обучающимся, исключив полностью традиционное интервью, заменив его автоматизированным сбором и оценкой пользовательской динамической метрики, складывающейся из анализа траекторий базовых движений ключевых узлов аватара обучающегося и хронометража основных процессов, декомпозированной сложной задачи, осуществляемых при обучении и выполнении заданий (рис. 1).

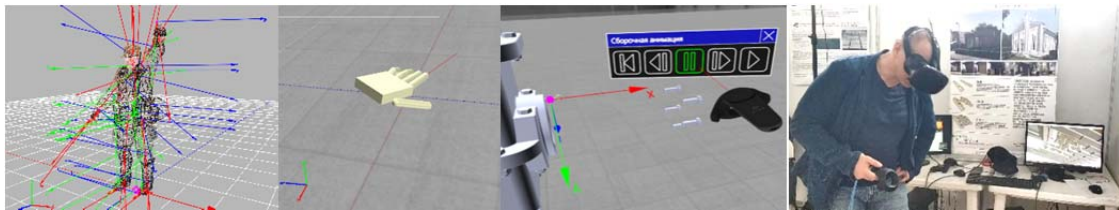


Рисунок 1 – Элементы обеспечения метрики работы в комнате виртуальных процессов: статистика движений обучающегося, статистика мелкой моторики обучающегося, хронометраж выполнения процессов, визуальная эргономика работы (слева-направо)

Общая оценка успешности выполнения обучающимся задания определяется как $U = \sum K_i G_i$, где K_i — оценка показателей успешности, G_i — удельные веса показателей успешности, определяемые и динамически меняемые в каждом виртуальном процессоре индивидуально. Показателем K_1 выражается успешность выполнения студентом всех этапов задания от 2 (выполнено до 2 этапов) до 5 баллов (все этапы задания успешно выполнены) визуальной оценкой преподавателем контрольного задания. Показателем успешности K_2 оценивается время, затраченное обучающимся на работу в виртуальном пространстве в процентах от назначенных преподавателем на ключевые этапы выполнения задания. Показатель успешности K_3 оценивает качество совершенных в виртуальном пространстве движений (отклонений от минимально необходимого движения) выражаемой

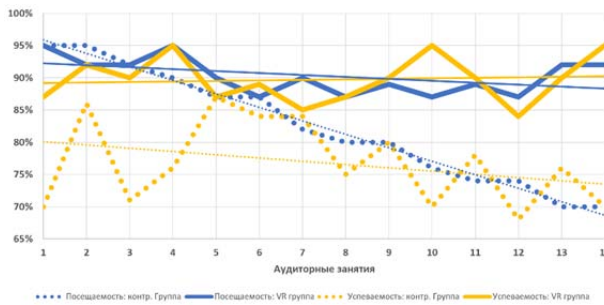


Рисунок 2 – Эффективность виртуализации дисциплины «Железобетонные конструкции»

волатильностью траектории базовых движений ключевых узлов аватара к траекториям, полученным в контрольной сборке задания преподавателем. Показатель успешности K_4 выражается оценкой относительного числа совершенных пользователем в виртуальном процессоре действий к совершенным в контрольной сборке задания преподавателем. На основании полученной за выполнение задания оценки делаются

рекомендации по отработке навыков, требующихся для повышения анализируемых показателей успешности дифференцированной выборкой из базы элементарных заданий, отрабатываемых обучающимся факультативно. При наборе студентом оценки более 4,5 баллов в среднем за все лабораторные работы практикум считается успешно выполненным, практическая часть дисциплины — успешно освоенной и студент допускается к экзамену по теоретической части дисциплины. Мониторинг посещаемости и успеваемости практических занятий идентичной тематики тестовой группой студентов в виртуальных процессорах и контрольной группой в экранном ВМ-интерфейсах продемонстрировали значительный рост и интереса (посещаемости) и освоения прививаемых компетенций (успеваемости в тестовых заданиях, рис. 2).

О ПРИМЕНЕНИИ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рашевский Н.М.¹, Щербakov А.Г.², Чикин А.Д.³

¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, *rashevsky.n@gmail.com*

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», магистрант кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, *artem.shcherbakov01@gmail.com*

³ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», студент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, *artyom.chikin@gmail.com*

Ключевые слова: онтологии, информационное моделирование, строительство, ifc

ON THE APPLICATION OF ONTOLOGICAL ENGINEERING IN THE IMPLEMENTATION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

Rashevsky N.M.¹, Shcherbakov A.G.², Chikin A.D.³

¹*Volgograd State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction, Russia, rashevsky.n@gmail.com*

²*Volgograd State Technical University, Master's Degree student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction, Russia, artem.shcherbakov01@gmail.com*

³*Volgograd State Technical University, student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction, Russia, artyom.chikin@gmail.com*

Key words: ontologies, information modeling, construction, ifc

В свете последних событий, а именно — Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 г. с прогнозом до 2035г. (распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 года №3268-р), связанной с цифровизацией строительной отрасли [1], все более актуальными становятся автоматизация данной отрасли и междисциплинарных исследований, для реализации которых необходимо создание единой семантической модели, интеграция знаний в области строительства и архитектуры, внедрения новых методов анализа, поддержки и принятия решений, которые будут применимы на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений, включающего в себя этапы от замысла инвестора до создания сооружения на строительной площадке. Использование BIM-технологий (также технологии информационного моделирования - ТИМ) помогает решить часть проблем. Но на каждом технологическом этапе модель будущего здания может изменяться весьма значительно. В связи с этим появляется необходимость в легко адаптируемом к изменению среды подходе и этим подходом является – онтологический инжиниринг.

Онтологический инжиниринг успешно используется во многих сложноструктурированных предметных областях для формализации моделей [2, 3]. На данный момент отсутствует единая онтологическая модель для представления комплексного

управления строительством.

Так же онтологический подход используется в строительстве для различных подзадач:

- Этап проектирования. Существуют отдельные исследования по формированию онтологических моделей на основе IFC файлов [4, 5].

- Этап строительства. Онтологический инжиниринг помогает справиться с растущей сложностью строительных проектов, реализуются исследования, связанные с планированием работ и контролем строительства, градостроительным и территориальным зонированием. Полученные знания можно использовать при реализации систем поддержки принятия решений [6, 7].

- Этап эксплуатации. Данные исследования посвящены сбору данных с различных датчиков, обработке и анализу данных, а также оценки энергоэффективности зданий [8] с последующим добавлением результатов в информационную модель здания. Основной проблемой в этом направлении является неоднородность и объем данных, собранных с использованием различных систем [9].

- Безопасность на строительной площадке. Неоднородность информации и правилах безопасности на тех или иных условиях и территориях застройки, создают трудности в обмене и повторном использовании информации. Представляя различную информацию о знаниях по безопасности труда с помощью онтологии, можно адаптировать информационную модель к тем или иным условиям [10].

Описанные решения не имеют единого подхода к интеграции разнородных данных в информационную модель. В связи с этим создание нового методологического подхода к формированию единой семантической модели объекта строительства на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений, построенной на основе анализа разнородных данных, онтологического инжиниринга на базе IFC-файла, не только позволит решить множество проблем, связанных с интеграцией и применением BIM технологий, но и существенно ускорить разработку информационных моделей сооружений и упростить поддержку жизненного цикла зданий.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>. Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре "Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве" ИАиС ВолгГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

Список использованных источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. 2022. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405560559/>.

2. *Petr Matějka, Aleš Tomek*. Ontology of BIM in a Construction Project Life Cycle. *Procedia Engineering* Volume 196 (June 2017):pp.1080-1087. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.065>.

3. *L.Y. Ding, B.T. Zhong, S. Wu, H.B. Luo*. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Safety Science* Volume 87 (August 2016): pp.202-213. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>.

4. *Evelio González, José Demetrio Piñeiro, Jonay Toledo, Rafael Arnay, Leopoldo Acosta*. An approach based on the ifcOWL ontology to support indoor navigation. *Egyptian Informatics Journal* Volume 22 Issue 1 (March 2021):pp.1-13. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2020.02.008>.

5. *Yuchao Li, Qin Zhao, Yunhe Liu, Xinhong Hei, Zongjian Li.* Semiautomatic Generation of Code Ontology Using ifcOWL in Compliance Checking. *Advances in Civil Engineering* Volume 2021 (July 2021):pp.18. <https://doi.org/10.1155/2021/8861625>.
6. *Mehdi Tavakolan, Sina Mohammadi, and Banafsheh Zahraie.* Construction and resource short-term planning using a BIM-based ontological decision support system. *Canadian Journal of Civil Engineering* 48(1) (January 2020): pp.75-88. <https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0439>.
7. Д. А. Горлов, Н. М. Рашевский, К. А. Дятлов, А. К. Залинян, А. Г. Щербаков. Применение онтологической модели представления знаний в проектировании архитектурных объектов // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2022. № 6 (61). С. 22–25.
8. *Miguel Molina-Solana, María Ros, M. Dolores Ruiz, Juan Gómez-Romero, M.J. Martin-Bautista,* Data science for building energy management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 70 (April 2017):pp.598-609, ISSN 1364-0321.<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.132>.
9. *Sara Gilani, Caroline Quinn, J.J. McArthur.* A review of ontologies within the domain of smart and ongoing commissioning.*Building and Environment* Volume 182 (September 2020) 107099, ISSN 0360-1323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107099>.
10. *Chen, W.T.; Bria, T.A.* A Review of Ontology-Based Safety Management in Construction. *Sustainability* Volume 15(1)(December2023): pp.413. <https://doi.org/10.3390/su15010413>

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Романов И.Р.¹, Киселева О.А.²

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, belragh@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, kiseleva_oa@rambler.ru

Ключевые слова: информационное моделирование зданий и сооружений, BIM-технологии, системы автоматизированного проектирования

THE MAIN ADVANTAGES OF BUILDING INFORMATION MODELING SYSTEMS USING AUTOMATED DESIGN SYSTEMS

Romanov I.R.¹, Kiseleva O.A.²

¹ Tambov State Technical University, Russia, belragh@mail.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, kiseleva_oa@rambler.ru

Key words: information modeling of buildings and structures, BIM technologies, computer-aided design systems

Информационное моделирование зданий и сооружений (Building Information Modeling или BIM) — это процесс создания и использования информации по строящимся, а также завершённым объектам капитального строительства в целях координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех этапах жизненного цикла [1]. Под BIM также понимается информационная модель здания - совокупность представленных в электронном виде документов, графических или других данных по объекту строительства, размещаемая в соответствии с установленными правилами в среде общих данных и представляющая собой единый источник информации по объекту [2].

В декабре 2014 г. Минстрой России утвердил план поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в строительстве, который предусматривает создание правовой и нормативно-технической базы, формирование инфраструктуры и подготовки кадров. Решение вопросов на государственном уровне позволит значительно ускорить реализацию перехода на новую технологию, повысить конкурентоспособность российского строительного комплекса.

Системы информационного моделирования зданий (BIM) в настоящее время пользуются очень большой популярностью. Большинство строительных компаний стараются использовать их на всех этапах проектирования и строительства зданий. Это происходит благодаря тем большим преимуществам, которые предоставляет BIM:

1. Одно из основных преимуществ BIM заключается в увеличении точности проектирования. С помощью этой системы можно создать трёхмерную модель здания, что позволяет увидеть все детали здания, не упустить ни одного элемента;

2. С помощью BIM можно сократить возможность ошибок на этапе проектирования. Система позволяет сравнивать различные сценарии проектирования, исключая ошибки, которые могут возникнуть в процессе создания проектной документации;

3. BIM позволяет снизить затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию зданий;

4. BIM позволяет снизить вероятность ошибок во время строительства и эксплуатации здания, благодаря улучшенной координации между командами на проекте. Вся информация хранится в едином формате и едином месте, что упрощает обмен информацией как между различными отделами проектировщиков, так и между проектирующей организацией и организацией, осуществляющей строительство объекта;

5. Система BIM позволяет представить проектных решения в виде трехмерной модели, что позволяет лучше визуализировать проект;

6. BIM с CAD являются инструментами, которые могут быть использованы для управления жизненным циклом здания. Они позволяют сохранять актуальные данные о технических характеристиках здания и его эксплуатации, а также планировать работы по обслуживанию здания.

Ярким примером применения информационного моделирования является строительство Шанхайской башни высотой 632 м, при создании которой было сэкономлено 16 млн. долларов исключительно из-за возможности устранения ошибок на этапе проектирования. После создания инженерных систем и конструкций только на этаже было обнаружено и устранено около 250 строительных конфликтов [3].

Также одним из знаковых проектов, где успешно была реализована BIM-модель и перечисленные выше преимущества, является центр дизайна DongdaemunDesignPlaza в Сеуле – крупнейшее в мире здание неправильной формы. Ввиду геометрии здания этот объект было невозможно возвести на основе 2D-чертежей, и поэтому решили применить BIM-технологии. Из-за внедрения информационного моделирования не с начальной стадии проектирования, разошлись данные из моделей и чертежей — например, детали каркаса и места соединения металлических конструкций. Несогласованность данных приводила к серьёзным проблемам. Однако проектировщики смогли решить их с помощью программного комплекса TeklaStructures. Компания воспользовалась BIM-технологиями, чтобы устранить несоответствие между чертежами и 3D-моделями.

Благодаря программному обеспечению из модели была извлечена необходимая детализированная информация о точках соединения элементов сложной пространственной формы. Также это ПО помогло точно рассчитать выносы балок, в результате чего монтаж стальных конструкций крыши был проведен в установленные сроки и с минимальными издержками.

Список использованных источников

1. Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства (с изменениями на 4 марта 2015 года): Приказ Минстроя России от 29 декабря 2014 года № 926 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420245345> (дата обращения 28.03.2023).

2. ГОСТ Р 57310-2016. Моделирование информационное в строительстве. - М.: Стандартинформ, 2018. - 32 с.

3. *Shanghai Towercasestudy*: RisingtonewheightwithBIM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/case-studies/shanghai-tower/shanghai-tower-customer-story.pdf> (дата обращения 28.03.2023).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИЙ

Теличенко В. И.¹, Слесарев М. Ю.²

¹НИУ МГСУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»; академик РААСН, д.т.н., президент НИУ МГСУ, Россия, President@mgsu.ru

²НИУ МГСУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»; д.т.н., проф. кафедры «Технологии и организации строительного производства», Россия, Slesarev@mgsu.ru

Ключевые слова: искусственный интеллект, защита интеллектуальной собственности

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TECHNOLOGY OF CREATING INNOVATIONS

Valery I. Telichenko¹, Mikhail Yu. Slesarev²

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering ; Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, President of NRU MGSU, Russia, President@mgsu.ru

² National Research Moscow State University of Civil Engineering ; Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technologies and Organization of Construction Production", Russia, Slesarev@mgsu.ru

Key words: artificial intelligence, intellectual property protection

Актуальность проблемы проявилась 23 декабря 2022 года, когда Минстрой России и другие ведущие организации строительной отрасли подписали соглашение о создании Консорциума. Задачи, которые предстоит решать, распределены по пяти основным блокам: аналитика, координация, наука и инновации, нормативно-техническая деятельность и цифровизация.

Однако, должен присутствовать шестой блок – блок защиты интеллектуальной собственности, без которого заявлять о научном и технологическом суверенитете будет юридически не обоснованным. При этом возникает вопрос: возможно или нет автоматизированное генерирование технологических изобретений?

Авторы для проверки этой гипотезы предлагают использование искусственного интеллекта в креативном синтезе экологически ориентированных прогрессивных или перспективных словесных и графических образов прорывных технологий с учётом машины статистической обработки патентной информации и фондов технических регламентов.

Цель исследования – выявить проблемы и риски и наметить подходы к разработке методики автоматизированного прогнозирования прорывных технологий строительного производства.

Задачи исследования: – поиск методов исследования будущего строительной отрасли, - поиск корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий и вариантов использования искусственного интеллекта, способного креативно генерировать словесные и графические образы технологий, - обоснование роли правовой защиты интеллектуальной собственности, без которой научно-исследовательский суверенитет строительной отрасли невозможен, - словесные и графические образы будущих прорывных технологий экологически ориентированно-гостроительного производства, а также проведение патентной и экологической экс-

пертиз сгенерированных образов технологий.

В границах исследования поднимается *проблема устойчивости развития отрасли и общества* для предстоящего решения, состоящая из двух вопросов:

- 1-й вопрос «Как с помощью живого человеческого и искусственного интеллекта обеспечить совместимость бесконфликтного, то есть устойчивого развития на планете биосферы и техносферы?»;

- 2-й вопрос «Как заставить искусственный интеллект креативно генерировать самостоятельно, или в интеграции с живым интеллектом эксперта, инновационные прорывные решения экологически ориентированных технологий, например, в области строительства?». При этом - представителем *биосферы* выступает человек, а представителем *техносферы* выступает *искусственный интеллект*.

Возможность заглянуть в перспективы развития и наметить новые направления развития перспективных, то есть ещё никому неизвестных и нереализованных ранее в техносфере инновационных технологий – это уже очевидно, может информационная технология генерирования текстов на основе использования собственного подсознания и футуристических произведений, созданных, как человеком, так и искусственным интеллектом, плюс алгоритмы теории решения изобретательских задач, плюс идеология конструирования, плюс технология обработки больших данных и существующие базы данных патентной и научно-технической информации, а также правовой информации для экспертизы экологической безопасности принимаемых технических решений.

Использование искусственного интеллекта в креативном синтезе экологически ориентированных перспективных образов прорывных технологий с учётом статистической обработки патентной информации и фондов технических регламентов является одной из задач креативного прогнозирования объектов техносферы, интегрированного с подсознанием квалифицированного разработчика, грамотного в области идеологии конструирования компонентов технологии и алгоритмов решения изобретательских задач. Принимаем во внимание, что *объект исследования* – это методология автоматизированного прогнозирования перспективных строительных технологий при интеграции живого и искусственного интеллекта, а *предмет исследования* - это образы будущих прорывных технологий строительного производства.

Для определения трендов развития и разработки методологии автоматизированного прогнозирования прорывных технологий строительного производства при интеграции живого и искусственного интеллекта – методикой должны решаться задачи поиска методов исследования будущего строительной отрасли, включая поиск корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий и поиск и использование доступных образцов искусственного интеллекта, способного креативно генерировать образы технологий, а также автоматически проводить экологическую оценку и экспертизу сгенерированных образов проектов перспективных технологий.

Выводы:

1 - главный тренд развития - экологизация всех видов деятельности, в первую очередь образования на всех уровнях, в том числе подготовка кадров для строительной отрасли и коммунального хозяйства с учётом создания повсеместно «зелёной» среды жизнедеятельности на основе «зелёной» инновационной продукции;

2 - основной тренд развития - автоматизация интеллектуального творческого труда инженеров, архитекторов, экспертов, изобретателей и учёных, и исследователей во всех отраслях, и в первую очередь в строительной и градостроительной отрасли;

3 - традиционный тренд развития - повышение производительности труда и эффективности производства на основе внедрения прорывных прогрессивных и перспективных технологий, в первую очередь в строительной отрасли и коммунальном хозяйстве;

4 - парадоксальный тренд развития - риски разработчиков перемещаются в область возможной утраты моральных ценностей и потери прав интеллектуальной собственности, с вытекающими последствиями возможной утраты научного и технологического суверенитета, так как материальные затраты на производство инновационной продукции обесцениваются применением искусственного интеллекта и доступностью программных средств и баз знаний и данных.

Список использованных источников

1. *Slesarev, M.* Modeling and formation of environmental safety management systems of construction technologies. Materials: E3S Web of Conferences Vol"Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021" 2021.<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809084>

2. *Slesarev, Mikhail Y. y Makarova, Anastasia. M.* Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters. Revista Inclusiones Vol: 7 num Especial (2020): pp. 477-488.<https://revistainclusiones.org/index.php/inclu/article/view/1430>

3. *Слесарев, М.Ю.* Формирование систем экологической безопасности строительства: [монография] Моск. гос. строит. ун-т. - Москва: МГСУ, 2012. - 351 с.<https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/monografii/1706/>

4. *Slesarev, M. and Kovrigin. A.* Model of bifurcation prediction and innovation sustainability of energy facilities. E3S Web of Conferences 97, 01011 (2019) *FORM-2019* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199701011>

5. *Slesarev M., Telichenko V., Nguyen D.* Formation of innovative methods for ecological safety systems of construction. MATEC Web of Conferences 251, 02010 (2018) <https://doi.org/10.1051/matecconf/201825102010>

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ BIM И ПРОГРАММ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПЛАСТИН И СТЕРЖНЕЙ

Шашкин К.Г.¹

¹ ООО «ИСП «Геореконструкция», к.т.н., заместитель генерального директора, Россия, cshashkin@yandex.ru

Ключевые слова: BIM, метод конечных элементов, контакт-элементы, интерфейсные элементы

INTERACTION OF BIM AND SOFTWARE FOR CALCULATION OF STRUCTURES. PROBLEM SOLUTION WITH A HELP OF SPATIAL CONTACT ELEMENTS FOR PLATES AND RODS

Shashkin K.G.¹

¹ "ISP "Georeconstruction", LLC, PhD, Tech., Deputy director general, Russia, cshashkin@yandex.ru

Key words: BIM, finite element method, contract-elements, interface elements

Технология проектирования зданий с применением информационных моделей здания (BIM) получила в последнее время достаточно широкое применение. При наличии определенных преимуществ, общепризнанным «слабым местом» данной технологии является связь информационной модели здания с расчетной схемой конструкций. В имеющихся программных решениях обеспечивается, разве что, создание расчетных схем на базе геометрии информационной модели здания, после чего следует специальная работа по назначению типов конечных элементов, жесткостей, нагрузок и т.п. Поскольку конструкции в расчетах, как правило, моделируются стержневыми и пластинчатыми конечными элементами, необходима специальная и достаточно трудоемкая доработка исходной трехмерной геометрии информационной модели, в противном случае стержни и пластины, созданные по геометрии средних линий и поверхностей не будут стыковаться друг с другом.

В результате нарушается непрерывность и взаимосвязанность процесса проектирования с использованием информационной модели. Любые изменения исходной геометрии уже не могут быть быстро отображены в расчетной схеме, требуется достаточно трудоемкая переделка. Расчетная схема конструкций в итоге начинает жить отдельной жизнью от процесса проектирования в информационной модели, отслеживание изменений ложится целиком на исполнителя, что в результате ведет к росту ошибок проектирования. В итоге использование технологии информационного моделирования может привести к повышению риска нарушения механической безопасности объектов. Такая ситуация является абсолютно недопустимой, требуется доработка технологии информационного моделирования и обязательное включение математической модели сооружения в общий процесс проектирования.

Для решения данной задачи при разработке системы конечно-элементного моделирования конструкций IEECloud была разработана специальная технология моделирования стыков конструктивных элементов. В традиционных решениях для стыковки конечных элементов применяется соединение узлов конечно-элементных

сеток. Данный подход является наиболее простым, но не лишен определенных недостатков. Например, при стыковке элементов с разными функциями формы происходит совмещение данных функций только в узлах. В докладе для стыковки элементов предлагается использование специальных контактных (или интерфейсных) конечных элементов, которые при решении минимизируют расстояние между функциями формы стыкуемых элементов. В результате при моделировании конструкций используются несвязанные сетки, что упрощает процесс создания конечно-элементных схем и позволяет автоматизировать переделку схемы при изменении геометрии.

Для стержневых и пластинчатых элементов разработана также технология их стыковки по реальной трехмерной геометрии. В этом случае контакт осуществляется по трехмерной поверхности тел, моделируемых стержневым или пластинчатым конечным элементом, а перемещения на контактах вычисляются с использованием традиционных гипотез плоских сечений или прямых нормалей, заложенных в вывод математических основ стержневых и пластинчатых конечных элементов.

Решение тестовых задач показывает, что данный подход настолько же корректен, насколько вообще корректно упрощенное представление трехмерных тел в виде одномерных (стержни) или двумерных (пластины) моделей.

Предложенный подход позволяет кардинально упростить процесс создания расчетной схемы по информационной модели здания и, тем самым, включить математическую модель в процесс проектирования с использованием технологии BIM.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ МОНТАЖА

Шейко Е.А.¹, Смирнова О.В.², Семочкин А.В.³

¹ РУТ (МИИТ) «Российский университет транспорта», ассистент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», Россия, elizabet-250997@mail.ru

² РУТ (МИИТ) «Российский университет транспорта», канд. тех. наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», Россия, o_v_smirnova@mail.ru

³ РУТ (МИИТ) «Российский университет транспорта», доцент академии «Высшая инженерная школа», Россия, a.semochkin@rut.digital

Ключевые слова: информационная модель, напряженно-деформированное состояния, стадии жизненного цикла, конструктивные элементы

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGY TAKING INTO ACCOUNT THE INSTALLATION

Sheiko E.A.¹, Smirnova O.V.², Semochkin A.V.³

¹Russian University of Transport, Assistant of the Department of Computer-aided Design Systems, Russia, elizabet-250997@mail.ru

² Russian University of Transport, Candidate of Technical Sciences associate Professor of the Department of Computer-aided Design Systems, Russia, o_v_smirnova@mail.ru

³ Russian University of Transport, associate Professor of the Academy Higher Engineering School, Russia, a.semochkin@rut.digital

Key words: information model, stress-strain states, life cycle stages, constructive elements

В современных условиях проектирования зданий и сооружений, а именно построения их информационных моделей, помимо напряженно-деформированного состояния конструкций на этапе эксплуатации, необходимо учитывать напряжения возникающие в конструкциях на этапе монтажных работ. Учитывая необходимость проработки, в информационной модели, всех этапов жизненного цикла объекта строительства, необходимо учитывать напряженно-деформированное состояния конструкций не только на стадии возведения зданий и сооружений, а также на стадиях: капитального ремонта, реконструкции и реставрации. Так же, при моделировании данных стадий, помимо напряжений возникающих в момент монтажа, необходимо учитывать напряженно-деформированное состояния конструкций при демонтаже.

Для проведения прочностных расчетов, по смоделированной информационной модели, необходимо отфильтровать конструктивные элементы по стадиям жизненного цикла рис. 1.



Рисунок 1 – Стадии жизненного цикла объекта строительства

В момент моделирования, пока стадии еще не присвоены, элементы могут пересекаться, что недопустимо для расчетной схемы. После корректной фильтрации конструкций, по стадиям, не должно возникать коллизий рис. 2.

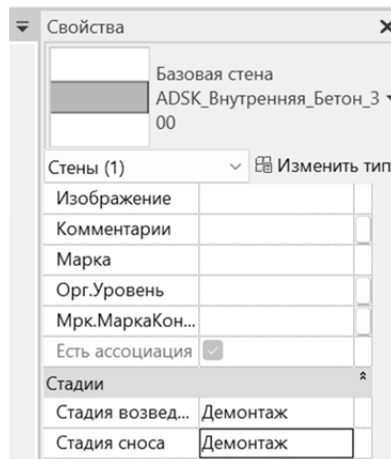


Рисунок 2 – Фильтрация конструктивного элемента.

Для демонтируемых или временных элементов необходимо указать "Стадию демонтажа", во время которой элементы будут удалены. При помощи данного метода, появляется возможность рассматривать и выгружать конструктивную схему, объекта строительства, для каждой стадии жизненного цикла.

Список использованных источников

1. Гинзбург А.В. Информационная модель жизненного цикла строительного объекта // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. С. 61-65.
2. Ланцов, А. Л. Компьютерное проектирование зданий. Revit 2015 [Текст] : начала работы, архитектурные элементы здания, инженерные сети здания, несущие конструкции здания, оптимизация работы в проектах / А. Л. Ланцов. – Москва : Consistent Software Distribution : РИОР, 2014. – 664 с. : ил., табл.; 30 см.; ISBN 978-5-369-01393-9.
3. Назаров Ю. П. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла конструкций / Ю. П. Назаров, А. С. Городецкий, В. Н. Симбиркин // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений: сборник научных статей в двух частях / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – ч. 2. – М. ; ЦПП, 2009. – С. 209 - 216.
4. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К.: Сталь, 2002. – 600 с.

**СЕКЦИЯ 3. РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЧИСЛЕННЫХ И
ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ,
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 539.3

РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Акимов В.А.¹

¹*Белорусский национальный технический университет, к. ф.-м. наук, доцент кафедры
«Математические методы в строительстве», Россия, vakim50@mail.ru*

Ключевые слова: задачи теории упругости

SOLVING AN INNOVATIVE PROBLEM OF ELASTICITY THEORY

Akimov V.A.¹

¹*Belarusian National Technical University, Ph.D. Sci., Associate Professor, Department of Mathematical
Methods in Construction, Russia, vakim50@mail.ru*

Key words: problems of elasticity theory

Решим инновационную задачу теории упругости в следующей постановке: в данной точке упругого твердого тела заданы главные напряжения и направления главных площадок т.е. там, где они действуют $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения и $\vec{n}_1 = (l_1, m_1, n_1)$, $\vec{n}_2 = (l_2, m_2, n_2)$, $\vec{n}_3 = (l_3, m_3, n_3)$ – направления главных площадок

Требуется найти исходный тензор напряжений $T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}$ в данной точке.

За основу решения берутся известные формулы [1]:

$$\begin{cases} (\sigma_x - \sigma_i)l_i + \tau_{xy}m_i + \tau_{xz}n_i = 0, \\ \tau_{yx}l_i + (\sigma_y - \sigma_i)m_i + \tau_{yz}n_i = 0, \\ \tau_{zx}l_i + \tau_{zy}m_i + (\sigma_z - \sigma_i)n_i = 0, \\ l_i l_j + m_i m_j + n_i n_j = \begin{cases} 0, & \text{если } i \neq j \\ 1, & \text{если } i = j \end{cases} \quad i, j = 1, 2, 3. \end{cases} \quad (1)$$

Вводя обозначения $\sigma_x = x_1, \tau_{xy} = x_2, \tau_{xz} = x_3, \sigma_y = x_4, \tau_{yz} = x_5, \sigma_z = x_6$, перепишем эту систему в виде 3 систем, содержащих по 3 уравнения:

$$\begin{cases} l_1 x_1 + m_1 x_2 + n_1 x_3 = \sigma_1 l_1 \\ l_2 x_1 + m_2 x_2 + n_2 x_3 = \sigma_2 l_2 \\ l_3 x_1 + m_3 x_2 + n_3 x_3 = \sigma_3 l_3 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} l_1 x_4 + m_1 x_5 + n_1 x_6 = \sigma_1 m_1 \\ l_2 x_4 + m_2 x_5 + n_2 x_6 = \sigma_2 m_2 \\ l_3 x_4 + m_3 x_5 + n_3 x_6 = \sigma_3 m_3 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} l_1 x_3 + m_1 x_5 + n_1 x_6 = \sigma_1 n_1 \\ l_2 x_3 + m_2 x_5 + n_2 x_6 = \sigma_2 n_2 \\ l_3 x_3 + m_3 x_5 + n_3 x_6 = \sigma_3 n_3 \end{cases} \quad (4)$$

Полученные девять уравнений содержат шесть неизвестных. Поэтому 3 из них превращаются в тождества и служат для проверки правильности решения. Так, например, выражая x_2 из (1) и (2) уравнений, x_5 из (2) и (3) уравнений, x_3 из (3) и (1) уравнений, получим 3-и замечательных тождества:

$$\begin{vmatrix} l_1 \sigma_1 l_1 n_1 \\ l_2 \sigma_2 l_2 n_2 \\ l_3 \sigma_3 l_3 n_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_1 m_1 m n_1 \\ \sigma_2 m_2 m_2 n_2 \\ \sigma_3 m_3 m_3 n_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} l_1 m_1 \sigma_1 m_1 \\ l_2 m_2 \sigma_2 m_2 \\ l_3 m_3 \sigma_3 m_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} l_1 \sigma_1 n_1 n_1 \\ l_2 \sigma_2 n_2 n_2 \\ l_3 \sigma_3 n_3 n_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sigma_1 n_1 m_1 n_1 \\ \sigma_2 n_2 m_2 n_2 \\ \sigma_3 n_3 m_3 n_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} l_1 m_1 \sigma_1 l_1 \\ l_2 m_2 \sigma_2 l_2 \\ l_3 m_3 \sigma_3 l_3 \end{vmatrix} \quad (5)$$

Эти соотношения можно отдельно установить на основании формулы: $l_i l_j + m_i m_j + n_i n_j = 0$, если $i \neq j$ $i, j = 1, 2, 3$.

Приведем численный пример. Зададим значения главных напряжений и ориентации главных площадок:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 5 \text{ МПа}, & \sigma_2 &= 4 \text{ МПа}, & \sigma_3 &= 1 \text{ МПа}, \\ \vec{n}_1 &= \left(\frac{1}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2}, 0\right), & \vec{n}_2 &= (0, 0, 1), & \vec{n}_3 &= \left(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}, 0\right) \end{aligned}$$

Подставляя эти исходные данные в систему уравнений (2), (3), (4), получим следующее решение:

$$x_1 = 2, x_2 = -\sqrt{3}, x_3 = 0, x_4 = 4, x_5 = 0, x_6 = 4.$$

Таким образом искомый тензор напряжений имеет вид:

$$T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -\sqrt{3} & 0 \\ -\sqrt{3} & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

И наоборот, если для заданного тензора напряжений требуется найти главные напряжения и главные площадки, то получим исходные данные для этой задачи. Круг замкнулся. На практике, при решении системы уравнений (2), (3), (4) тождества (5) выполняются автоматически, а значения неизвестных x_2, x_5, x_3 будут совпадать, что является проверкой правильности их решения. На этой базе могут быть составлены контрольные и самостоятельные работы для студентов, изучающих напряженное состояние в точке в курсе теории упругости или механики материалов. Предложенная здесь инновация, несомненно, принесет пользу не только студентам и преподавателям, но и специалистам, работающим в данном направлении.

Список использованных источников

1. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. Учебник под ред. Г.С. Варданяна - М., Издательство АСВ, 1995.-568 стр. с илл.

РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Акимов В.А. ¹¹Белорусский национальный технический университет, к. ф.-м. наук, доцент кафедры «Математические методы в строительстве», Россия, vakim50@mail.ru**Ключевые слова:** задачи теории упругости

SOLVING OF THE ONE INVERSE PROBLEM OF ELASTICITY THEORY

Akimov V.A. ¹¹ Belarusian National Technical University, Ph.D. Sci., Associate Professor, Department of Mathematical Methods in Construction, Russia, vakim50@mail.ru**Keywords:** problems of elasticity theory

Прямая задача заключается в нахождении компонент вектора полного напряжения, действующего на наклонной площадке с нормалью $\vec{n} = (l; m; n)$, по известному тензору напряжений (1).

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

Решение этой задачи известно [1, стр. 79].

$$\begin{cases} p_{nx} = \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n, \\ p_{ny} = \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n, \\ p_{nz} = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n. \end{cases} \quad (2)$$

Обратная задача, очевидно, звучит, так: по известным компонентам полного напряжения ($p_{nx}; p_{ny}; p_{nz}$), действующего на наклонной площадке с нормалью $\vec{n} = (l; m; n)$, найти компоненты тензора напряжений (1).

В результате разработанного автором алгоритма, впервые были получены следующие формулы:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{n}{\Delta} [-(n^2 - lm)(l^2 - mn)p_{nx} - lmn^2 p_{ny} + nl(n^2 - lm)p_{nz}], \\ \sigma_y &= \frac{l}{\Delta} [lm(l^2 - mn)p_{nx} - (l^2 - mn)(m^2 - nl)p_{ny} - mnl^2 p_{nz}], \\ \sigma_z &= \frac{m}{\Delta} [-nlm^2 p_{nx} + mn(m^2 - nl)p_{ny} - (m^2 - nl)(n^2 - lm)p_{nz}], \\ \tau_{xy} &= \frac{m}{\Delta} [(n^2 - lm)(l^2 - mn)p_{nx} + lmn^2 p_{ny} - nl(n^2 - lm)p_{nz}], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\tau_{yz} = \frac{n}{\Delta} [-lm(l^2 - mn)p_{nx} + (l^2 - mn)(m^2 - nl)p_{ny} + mnl^2 p_{nz}],$$

$$\tau_{zx} = \frac{l}{\Delta} [nlm^2 p_{nx} - mn(m^2 - nl)p_{ny} + (m^2 - nl)(n^2 - lm)p_{nz}].$$

Здесь $\Delta = l^2 m^2 n^2 + (l^2 - mn)(m^2 - nl)(n^2 - lm)$.

Делаем проверку. Подставляем выражения (3) в формулу (2) и после элементарных преобразований непосредственно убеждаемся в их тождестве.

Для простоты и убедительности приведем численный пример:

$$l = \frac{2}{3}, m = \frac{2}{3}, n = \frac{1}{3}; p_{nx} = 1, p_{ny} = 2, p_{nz} = 3.$$

Непосредственно по формулам (3), находим:

$$\sigma_x = -15; \sigma_y = -36; \sigma_z = 27;$$

$$\tau_{xy} = 30; \tau_{yz} = 18; \tau_{zx} = -27;$$

Таким образом, нам удалось восстановить тензор напряжений в данной точке по действующим на заданной наклонной площадке компонентам полного напряжения

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -15 & 30 & -27 \\ 30 & -36 & 18 \\ -27 & 18 & 27 \end{pmatrix} Mna$$

Теперь окончательно убедимся в том, что формула (2) тождественно удовлетворяется в числах:

$$-(15)^2/3 + 30^2/3 + (-27)^2/3 = 1; \quad -10 + 20 - 9 = 1;$$

$$30^2/3 + (-36)^2/3 + 18^2/3 = 2; \quad 20 - 24 + 6 = 2;$$

$$(-27)^2/3 + 18^2/3 + 27^2/3 = 3; \quad -18 + 12 + 9 = 3.$$

Таких примеров можно привести сколь угодно много. Автор выражает надежду, что предложенный им алгоритм решения обратной задачи принесет определенную пользу не только студентам, но и специалистам, работающим в данном направлении. Ведь более подробный анализ напряженно-деформируемого состояния в разных точках позволит более основательно изучить прочностные свойства несущих элементов всей конструкции в целом. Решение обратной задачи как бы замыкает поставленную проблему, придавая ей завершенность и полноту.

Отметим также и то обстоятельство, что автором также успешно была решена еще одна обратная задача: по значению главных напряжений и направлению главных площадок необходимо восстановить тензор напряжений в данной точке. Она успешно внедрялась в учебный процесс и проходила апробацию на строительном факультете БНТУ. Несомненно, что кроме обучающей составляющей она также имеет и практическую значимость

Список использованных источников

1. Соппротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. Учебник под ред. Г.С. Варданяна - М., Издательство АСВ, 1995.-568 стр. с илл.

**КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОГО
МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.
ЧАСТЬ 1: ДВУМЕРНАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ**

Акимов П.А.¹, Мозгалева М.Л.², Колганов К.В.³

¹ *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, pavel.akimov@gmail.com*

² *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, marina.mozgaleva@gmail.com*

³ *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», заместитель директор Научно-исследовательского института проектирования, Россия, masterwl@mail.ru*

Ключевые слова: дискретно-континуальный метод конечных элементов, метод конечных элементов, расчеты строительных конструкций, балка-стенка, двумерная задача теории упругости, краевая задача, матрица жесткости

**COMBINED APPROACH TO STRUCTURAL ANALYSIS
BASED ON MIXED APPLICATION OF DISCRETE-CONTINUAL FINITE ELEMENT METHOD
AND FINITE ELEMENT METHOD.
PART 1: TWO-DIMENSIONAL THEORY OF ELASTICITY**

Akimov P.A.¹, Mozgaleva M.L.², Kolganov K.V.³

¹ *National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor,
Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Sciences,
Russia, pavel.akimov@gmail.com*

² *National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics
and Computer Sciences, Russia, marina.mozgaleva@gmail.com*

³ *National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Deputy Director of Research Institute of Design, Russia, masterwl@mail.ru*

Key words: discrete-continual finite element method, finite element method, structural analysis, deep beam, two-dimensional theory of elasticity, boundary problem, stiffness matrix

Современный этап развития строительной механики характеризуется практически повсеместным использованием численных методов анализа (прежде всего, метода конечных элементов (МКЭ)) и соответствующего реализующего программного обеспечения (ANSYS, MicroFE, NASTRAN, SCAD, SIMULIA Abaqus, ЛИРА САПР и др.). Вместе с тем, в последние десятилетия наблюдается также определенное развитие и численных методов, в частности, дискретно-континуальных методов расчета строительных конструкций (дискретно-континуальный метод конечных элементов (ДКМКЭ), дискретно-континуальный метод граничных элементов (ДКМГЭ), дискретно-континуальный вариационно-разностный метод (ДКВРМ)), предложенных в работах А.Б. Золотова и П.А. Акимова [1]. В частности, ДКМКЭ и ДКВРМ позволяют получать решения в корректной аналитической форме, дают возможность качественно и количественно оценить влияние локальных и глобальных факторов, весьма эффективны в зонах краевого эффекта, где часть составляющих решения являются быстроизменяющимися функциями, скорость изменения которых не всегда может быть адекватно учтена в рамках численных методов. Дискретно-континуальные методы получили дальнейшее развитие в трудах М.Л. Мозгалевой [2], М. Аслами [3], О.А. Козырева [4], О.А. Негрозова [5] и др. В настоящей статье рассматривается так называемый комбинированный подход к расчету строительных конструкций на основе совместного использования дискретно-континуального метода конечных элементов (ДКМКЭ) и

метода конечных элементов (МКЭ). Рассматривается задача статического расчета балки-стенки, соответствующая расчетная модель – двумерная задача теории упругости.

Основная идея указанного комбинированного подхода заключается в следующем. Очевидно, что МКЭ позволяет рассчитывать объекты любой сложности, однако нередко такие расчеты сопряжены с построением вычислительных схем большой размерности. Вместе с тем, наиболее опасным с позиции прочности является напряженно-деформированное состояние (НДС) в относительно небольшом количестве локальных частей объекта, как правило, известных заранее [2]. В этих частях и целесообразно использовать, по возможности, ДКМКЭ, тогда как в остальных частях объекта – МКЭ (например, на рис. 1 показана схема дискретизации в простейшей задаче статического расчета балки-стенки).

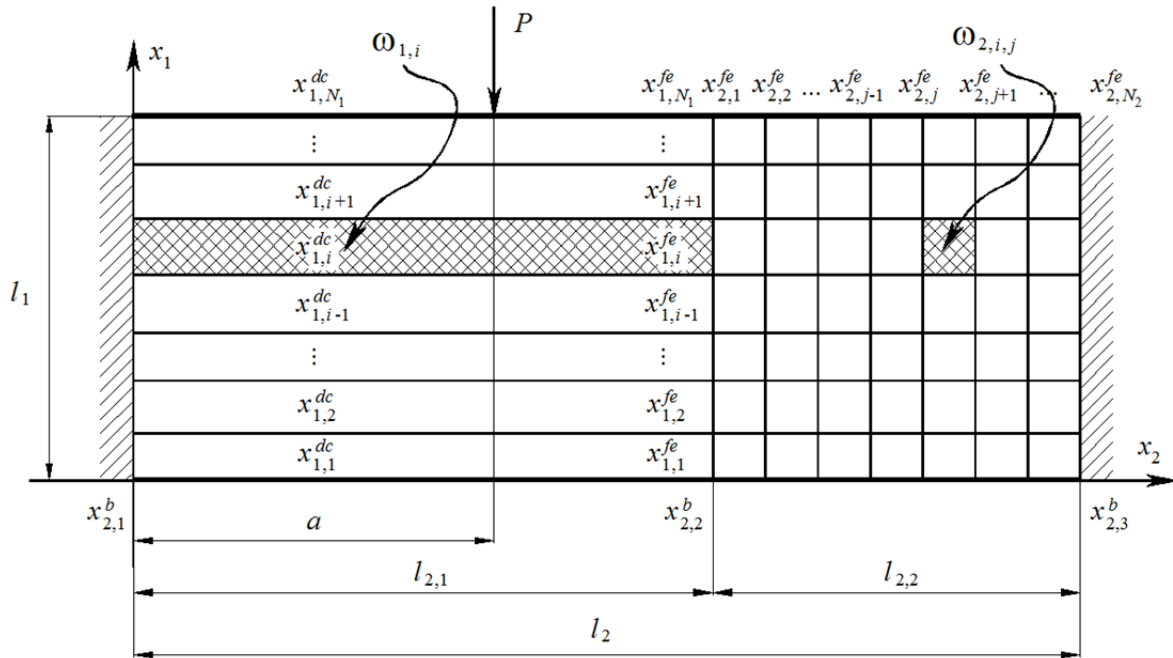


Рисунок 1 – Пример схемы аппроксимации в рамках комбинированного подхода

На каждой из показанных на рис. 1 подобластей строятся аппроксимирующие модели (дискретно-континуальная и дискретная (конечноэлементная)), после чего осуществляется переход к единой (связанной) многоуровневой аппроксимирующей модели на всей области и построение разрешающей системы линейных алгебраических уравнений (с учетом условий «стыковки» на границе подобластей).

Список использованных источников

1. Золотов А.Б., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Мозгалева М.Л. Дискретно-континуальные методы расчета сооружений. М.: Архитектура-С, 2010. 336 с.
2. Акимов П.А., Мозгалева М.Л. Многоуровневые дискретные и дискретно-континуальные методы локального расчета строительных конструкций. М.: АСВ, 2014. 632 с.
3. Аслами М. Многоуровневые дискретные и дискретно-континуальные подходы к локальному расчету строительных конструкций. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». М.: НИУ МГСУ, 2015. 321 с.
4. Козырев О.А. Определение собственных значений и собственных функций краевых задач строительной механики на основе развития дискретно-континуального метода конечных элементов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 «Строительная механика». М.: МГСУ, 2009. 200 с.
5. Akimov P.A., Negrosov O.A. Semianalytical Structural Analysis Based on Combined Application of Finite Element Method and Discrete-continual Finite Element Method Part 1: Two-Dimensional Theory of Elasticity. Procedia Engineering, Volume 153, 2016, pp. 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.073>.

**КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОГО
МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.
ЧАСТЬ 2: ТРЕХМЕРНАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ**

Акимов П.А.¹, Мозгалева М.Л.², Колганов К.В.³

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, pavel.akimov@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, marina.mozgaleva@gmail.com

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», заместитель директор Научно-исследовательского института проектирования, Россия, masterwl@mail.ru

Ключевые слова: дискретно-континуальный метод конечных элементов, метод конечных элементов, расчеты строительных конструкций, трехмерный брус, трехмерная задача теории упругости, краевая задача, матрица жесткости

**COMBINED APPROACH TO STRUCTURAL ANALYSIS
BASED ON MIXED APPLICATION OF DISCRETE-CONTINUAL FINITE ELEMENT METHOD
AND FINITE ELEMENT METHOD.
PART 2: THREE-DIMENSIONAL THEORY OF ELASTICITY**

Akimov P.A.¹, Mozgaleva M.L.², Kolganov K.V.³

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Sciences, Russia, pavel.akimov@gmail.com

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Sciences, Russia, marina.mozgaleva@gmail.com

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Deputy Director of Research Institute of Design, Russia, masterwl@mail.ru

Key words: discrete-continual finite element method, finite element method, structural analysis, three-dimensional beam, three-dimensional theory of elasticity, boundary problem, stiffness matrix

Настоящая статья посвящена комбинированному подходу к расчету строительных конструкций на основе совместного использования дискретно-континуального метода конечных элементов (ДКМКЭ [1]) и метода конечных элементов (МКЭ). Рассматривается задача статического расчета трехмерного бруса, соответствующая расчетная модель – трехмерная задача теории упругости.

Основная идея указанного комбинированного подхода заключается в следующем. Очевидно, что МКЭ позволяет рассчитывать объекты любой сложности, однако нередко такие расчеты сопряжены с построением вычислительных схем большой размерности. Вместе с тем, наиболее опасным с позиции прочности является напряженно-деформированное состояние (НДС) в относительно небольшом количестве локальных частей объекта, как правило, известных заранее [2]. В этих частях и целесообразно использовать, по возможности, ДКМКЭ, тогда как в остальных частях объекта – МКЭ (например, на рис. 1 показана схема дискретизации в простейшей задаче статического расчета трехмерного бруса).

На каждой из показанных на рис. 1 подобластей строятся аппроксимирующие модели (дискретно-континуальная и дискретная (конечноэлементная)), после чего осуществляется переход к единой (связанной) многоуровневой аппроксимирующей модели на всей области и построение разрешающей системы линейных алгебраических уравнений (с учетом условий «стыковки» на границе подобластей) [3, 4]. Следует отметить, что авторами разработаны алгоритмы формирования матриц граничных условия для типовых вариантов граничных условий в рамках дискретно-континуальной модели на основе метода базисных вариаций [5].

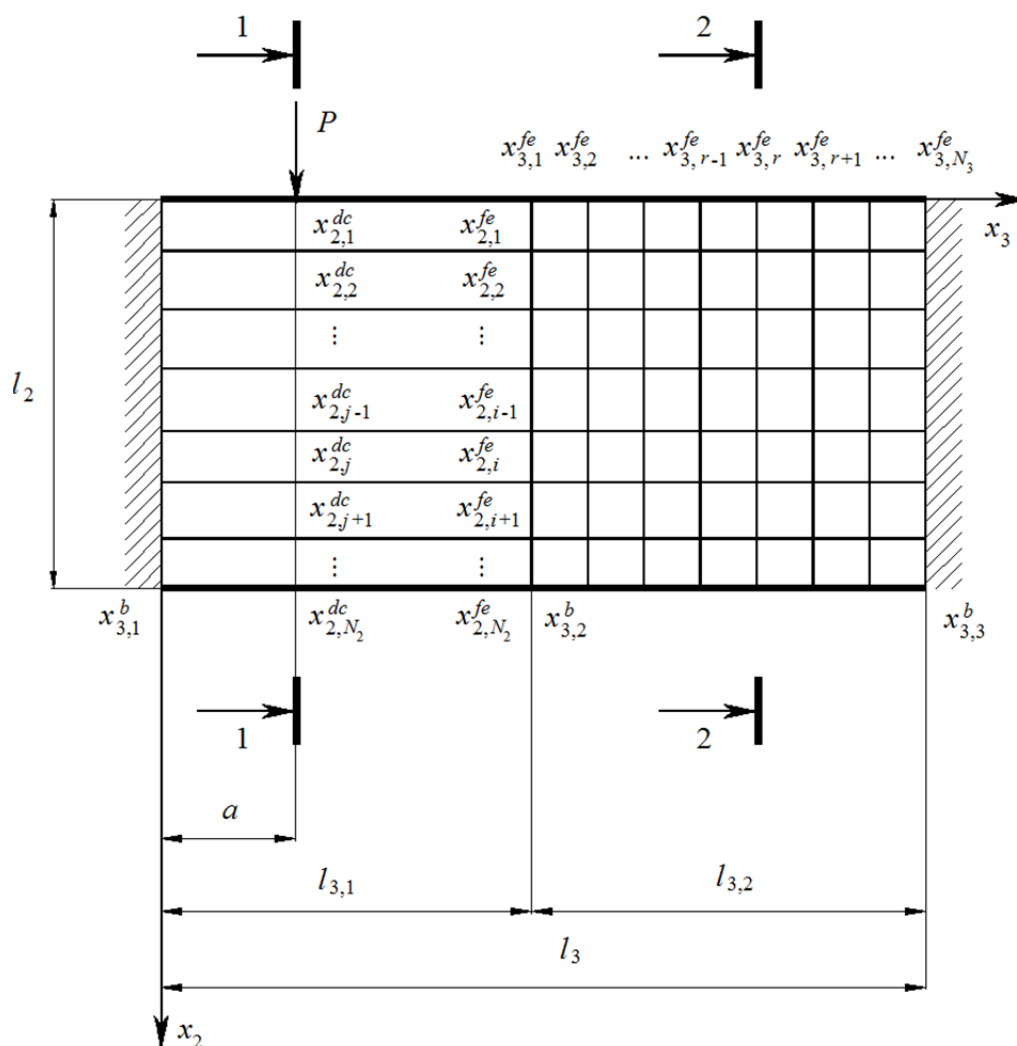


Рисунок 1 – Пример схемы аппроксимации в рамках комбинированного подхода

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Золотов А.Б., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Мозгалева М.Л. Дискретно-континуальные методы расчета сооружений. М.: Архитектура-С, 2010. 336 с.
2. Акимов П.А., Мозгалева М.Л. Многоуровневые дискретные и дискретно-континуальные методы локального расчета строительных конструкций. М.: АСВ, 2014. 632 с.
3. Akimov P.A., Negrozov O.A. About Solution of Multipoint Boundary Problems of Three-Dimensional Structural Analysis with the Use of Combined Application of Finite Element Method and Discrete-Continual Finite Element Method. Part 1: Formulation and Basic Principles of Approximation. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 14, Issue 2, 2018, pp. 14-29. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-2-14-29>
4. Akimov P.A., Negrozov O.A. Semianalytical Structural Analysis Based on Combined Application of Finite Element Method and Discrete-continual Finite Element Method Part 2: Three-Dimensional Theory of Elasticity. Procedia Engineering, Volume 153, 2016, pp. 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.074>.
5. Mozgaleva M.L., Akimov P.A., Mskhalaya Zh.I., Kharitonov V.A. About Method of Basis (Local) Variations and its Applications in Structural Analysis. Procedia Engineering, Volume 153, 2016, pp. 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.169>.

**КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НА ОСНОВЕ СМЕШАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОГО
МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.
ЧАСТЬ 3: ЗАДАЧА ОБ ИЗГИБЕ ТОНКОЙ ПЛАСТИНЫ**

Акимов П.А.¹, Мозгалева М.Л.², Колганов К.В.³

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, pavel.akimov@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, marina.mozgaleva@gmail.com

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», заместитель директор Научно-исследовательского института проектирования, Россия, masterwl@mail.ru

Ключевые слова: дискретно-континуальный метод конечных элементов, метод конечных элементов, расчеты строительных конструкций, тонкая пластина, модель Кирхгоффа, краевая задача, матрица жесткости

**COMBINED APPROACH TO STRUCTURAL ANALYSIS
BASED ON MIXED APPLICATION OF DISCRETE-CONTINUAL FINITE ELEMENT METHOD
AND FINITE ELEMENT METHOD.
PART 3: PLATE ANALYSIS**

Akimov P.A.¹, Mozgaleva M.L.², Kolganov K.V.³

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor,
Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Sciences,
Russia, pavel.akimov@gmail.com

² National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics
and Computer Sciences, Russia, marina.mozgaleva@gmail.com

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Deputy Director of Research Institute of Design, Russia, masterwl@mail.ru

Key words: discrete-continual finite element method, finite element method, structural analysis, three-dimensional beam, thin plate, the Kirchhoff model, boundary problem, stiffness matrix

Настоящая статья посвящена комбинированному подходу к расчету строительных конструкций на основе совместного использования дискретно-континуального метода конечных элементов (ДКМКЭ [1]) и метода конечных элементов (МКЭ). Рассматривается задача статического расчета изгибаемой тонкой пластины в рамках модели Кирхгоффа.

Основная идея указанного комбинированного подхода заключается в следующем. Очевидно, что МКЭ позволяет рассчитывать объекты любой сложности, однако нередко такие расчеты сопряжены с построением вычислительных схем большой размерности. Вместе с тем, наиболее опасным с позиции прочности является напряженно-деформированное состояние (НДС) в относительно небольшом количестве локальных частей объекта, как правило, известных заранее [2]. В этих частях и целесообразно использовать, по возможности, ДКМКЭ, тогда как в остальных частях объекта – МКЭ (например, на рис. 1 показана схема дискретизации в задаче статического расчета тонкой пластины [3-9]).

На каждой из показанных на рис. 1 подобластей строятся аппроксимирующие модели (дискретно-континуальная и дискретная (конечноэлементная)), после чего осуществляется переход к единой (связанной) многоуровневой аппроксимирующей модели на всей области и построение разрешающей системы линейных алгебраических уравнений (с учетом условий «стыковки» на границе подобластей) [7]. Следует отметить, что авторами разработаны алгоритмы формирования матриц граничных условий для типовых вариантов граничных условий в рамках дискретно-континуальной модели на основе метода базисных вариаций [10].

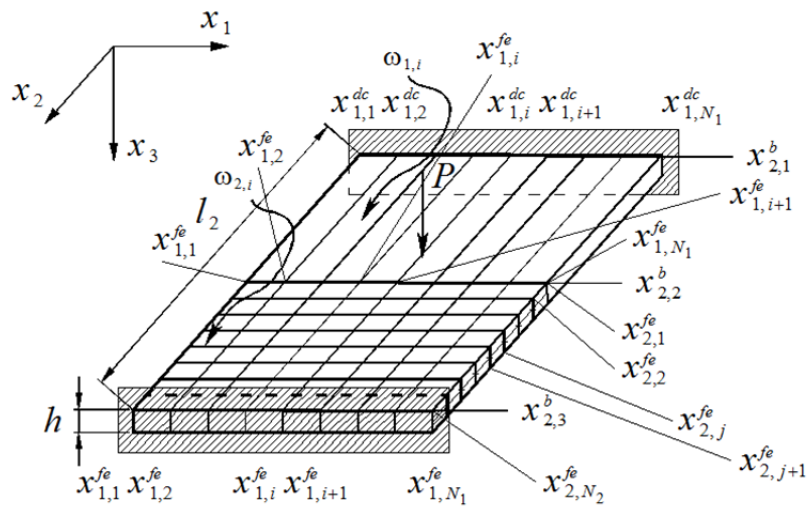


Рисунок 1 – Пример схемы аппроксимации в рамках комбинированного подхода

Список использованных источников

1. Золотов А.Б., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Мозгалева М.Л. Дискретно-континуальные методы расчета сооружений. М.: Архитектура-С, 2010. 336 с.
2. Акимов П.А., Мозгалева М.Л. Многоуровневые дискретные и дискретно-континуальные методы локального расчета строительных конструкций. М.: АСВ, 2014. 632 с.
3. Akimov P.A., Mozgaleva M.L. Wavelet-Based Multilevel Discrete-Continual Finite Element Method for Local Plate Analysis. Applied Mechanics and Materials, Volumes 351-352, 2013, pp. 13-16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.351-352.13>.
4. Akimov P.A., Mozgaleva M.L., Mojtaba Aslami, Negrozov O.A. Local High-Accuracy Plate Analysis Using Wavelet-Based Multilevel Discrete-Continual Finite Element Method. Key Engineering Materials, Volume 685, 2016, pp. 962-966. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.685.962>.
5. Akimov P.A., Mozgaleva M.L., Kaytukov T.B. Numerical Solution of the Problem of Isotropic Plate Analysis with the Use of B-Spline Discrete-Continual Finite Element Method. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 16, Issue 4, 2020, pp. 14-28. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2020-16-4-14-28>.
6. Akimov P.A., Negrozov O.A. About Solution of Multipoint Boundary Problems of Three-Dimensional Structural Analysis with the Use of Combined Application of Finite Element Method and Discrete-Continual Finite Element Method. Part 1: Formulation and Basic Principles of Approximation. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 14, Issue 2, 2018, pp. 14-29. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-2-14-29>.
7. Akimov P.A., Negrozov O.A. Semianalytical Structural Analysis Based on Combined Application of Finite Element Method and Discrete-continual Finite Element Method Part 3: Plate Analysis. Procedia Engineering, Volume 153, 2016, pp. 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.075>.
8. Aslami M., Akimov P.A. Wavelet-based finite element method for multilevel local plate analysis. Thin-Walled Structures, Volume 98, 2016, pp. 392-402. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2015.10.011>.
9. Mozgaleva M.L., Akimov P.A., Kaytukov T.B. Wavelet-Based Discrete-Continual Finite Element Plate Analysis with the Use of Daubechies Scaling Functions. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 15, Issue 3, 2019, pp. 96–108. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2019-15-3-96-108>.
10. Mozgaleva M.L., Akimov P.A., Mskhalaya Zh.I., Kharitonov V.A. About Method of Basis (Local) Variations and its Applications in Structural Analysis. Proc Procedia Engineering, Volume 153, 2016, pp. 16-23. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.169>.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ

Алехин А.Н.¹

¹*ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщений», к.т.н., доцент кафедры
«Мосты и транспортные тоннели», Россия, aleknin.51@gmail.com*

Ключевые слова: грунтовое основание, нелинейная модель, параметры, метод, численное моделирование, эффективность

GEOTECHNICAL ASPECTS OF COMPUTER MODELING OF STUCTURES

Alekhin A.N.¹

¹*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of bridges and transport tunnels,
Russia, aleknin.51@gmail.com*

Key words: soil base, nonlinear model, parameters, method, numerical modeling, efficiency

Грунтовое основание, не являясь конструкцией сооружения, служит его несущим, как правило, природным элементом, деформация которого оказывает существенное влияние на деформационные и прочностные параметры сооружения, поэтому грунтовое основание обязательно должно присутствовать в структуре компьютерного моделирования сооружения. В настоящее время полностью приемлемого решения этого вопроса нет ни у нас в стране, ни за рубежом: практически отсутствует объективная оценка возникающих при моделировании ошибок, в том числе из-за использования в моделировании неадекватных механике грунтовой среды численных моделей. Как известно, включение грунтового основания в компьютерную модель сооружения требует решения двух серьезных проблем. Первая проблема связана с обеспечением надежной сходимости вычислительных процессов численного моделирования на контакте разнотипных по деформированию сред: физически линейного бетона фундамента и физически нелинейного нескального грунта (в случае скального грунта такая проблема или не возникает или решается тривиально). Вторая проблема возникает в случае, если грунтовое основание сложено нескальными грунтами, надежное определение истинных значений механических параметров которых возможно только из полевых (in-situ) испытаний статической нагрузкой. Поскольку для нескальных грунтов (глинистых и песчаных) характерен физически нелинейный тип деформирования обработка данных этих испытаний (решение обратных задач) сводится к численному решению специальными методами неустойчивых, так называемых, некорректных задач. Существо метода, впервые примененного академиком Тихоновым [1] для решения некоторых геофизических задач, заключается в минимизации отклонений, численно смоделированных с использованием какой-либо эффективной и верифицированной физико-математической модели грунтовой среды, например модели Боткина [2] деформаций грунта на разных ступенях нагрузки, от фактических деформаций, полученных в испытаниях грунта [3]:

$$\min \rho_{\alpha z k} \left[\sum_{i=1}^n (S_{mi} - S_{fi})^2 \right]$$

Здесь S_{mi} и S_{fi} – численно смоделированные и фактические осадки,
 $zk = \{A, B, C, A, \alpha\}$ – набор определяемых параметров,
 i – порядковый номер ступени давления,
 n – количество ступеней.

При минимизации в случае необходимости могут применяться определенные регуляризационные условия $\rho_{\alpha zk}$, отражающие физические особенности проблемы. Применение разработанного метода при численном моделировании оснований и фундаментов многоэтажных зданий в городе Екатеринбурге (см. рисунок 1) позволяет получать экономический эффект в 50...70 млн рублей в пересчете на одну секцию здания за счет разработки оптимального по конструкции и минимального по стоимости фундамента с обеспечением максимальной его надежности, за счет применения в моделировании адекватной грунту физико-математической модели с природными значениями деформационных характеристик. В результате при контрольных геодезических измерениях фактические осадки сооружений отличаются от расчетных величину, возникающую только от неизбежной пока замены в расчетах реальной грунтовой среды идеальной сплошной субстанцией.



Рисунок 1 – Высотные одинаковые жилые дома в Екатеринбурге: слева на плитном фундаменте (расчет по нелинейной теории); справа на свайно-плитном фундаменте (стоимость свайно-плитного фундамента на 40 млн рублей больше)

Список использованных источников

1. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. – 285 с.
2. Боткин А. И. Исследование напряжённого состояния в сыпучих и связных грунтах // Известия НИИ гидротехники. Том XXIV. М.-Л., 1939. С. 153–172.
3. Алехин А. Н. Обоснование метода определения параметров нелинейной модели грунта по данным его полевых испытаний // Академический вестник УралНИИпроект РААСН – Екатеринбург: УралНИИпроект, 2015. – №1. – С. 57 – 62.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ

Арленинов П.Д.¹, Крылов С.Б.², Калмакова П.С.³

¹ НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», к.т.н., заместитель заведующего лабораторией №8 «Механики железобетона», Россия; ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет», доцент кафедры «Железобетонных и каменных конструкций», Россия
arleninoff@gmail.com

² НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», д.т.н., заведующий лабораторией №8 «Механики железобетона», член-корр. РААСН, *niizhb_lab8@mail.ru*

³ НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», инженер лаборатории №8 «Механики железобетона», *niizhb_lab8@mail.ru*

Ключевые слова: ползучесть бетона, релаксация бетона, длительные испытания, деформация

MATHEMATICAL MODELING OF STRESS RELAXATION PROCESS IN CONCRETE

Arleninov P.D.¹, Krylov S.B.², Kalmakova P.S.³

¹ NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC "Research Center "Construction", Ph.D., Deputy Head of Laboratory No. 8 "Mechanics of Reinforced Concrete", Russia; Moscow State University of Civil Engineering, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Russia
arleninoff@gmail.com

² NIIZHB named after A.A. Gvozdeva JSC "Research Center "Construction", Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory No. 8 "Mechanics of Reinforced Concrete", *niizhb_lab8@mail.ru*

³ NIIZHB named after A.A. Gvozdeva JSC "Research Center "Construction", engineer of laboratory No. 8 "Reinforced Concrete Mechanics", *niizhb_lab8@mail.ru*

Key words: concrete creep, concrete relaxation, long-term testing, deformation

В докладе рассматривается подход по математическому определению падения напряжения в бетонных образцах при заданной постоянной деформации образца – релаксации напряжений в бетоне.

Работа, в рамках которой были проведены данные исследования, является экспериментально-теоретической. В дополнение к математическому моделированию были проведены параллельные длительные испытания на образцах из бетона одного класса в четырех различных режимах: определение ползучести бетона при сжатии (бетонные образцы-призмы в пружинных установках) по ГОСТ 24544; определение релаксации бетона при сжатии (бетонные образцы призмы в специальных установках – подготовлены путем разбора пружинных установок для испытаний на ползучесть с удалением в них пружин для фиксации требуемых начальных деформаций), схема испытания приведена на рис. 1; определение ползучести бетона при изгибе (бетонные образцы-балки в установках стеллажного типа, работающие на изгиб и нагруженные гравитационной нагрузкой) по ГОСТ 24544; определение релаксации бетона при изгибе (бетонные образцы-балки, с приложенной начальной деформации в середине пролета – рис.1).

Определение падения напряжений выполнялось с помощью электронных динамометров, встроенных между образцом и точкой приложения нагрузки. Математическое исследование проводилось с использованием программы MathCad.

По результатам исследования предложено новое понятие – «мера релаксации R_m ». Эта величина по смыслу подобна мере ползучести и характеризует степень снижения напряжений во времени из-за релаксации при загрузке единичной относительной деформацией. Введение меры релаксации позволяет упростить уравнение релаксации и существенно упрощает его решение. Ниже приведены выражения для меры релаксации, выражение для напряжений при загрузке единичной относительной деформацией и предлагаемое уравнение релаксации. По результатам расчета по предложенным вычислительным алгоритмам, для определения меры релаксации при сравнении с опытными данными, получена удовлетворительная сходимость результатов (рис. 2). Сделаны качественные выводы о применимости методики СП 63.13330 по снижению модуля упругости бетона при ползучести и при релаксации.

$$R_m(t, t_0) = R_{m\infty}^{28} \cdot \frac{1}{\Omega(t_0)} \cdot \Phi(t - t_0); s(t, \tau) = E(t) - R_m(t, \tau); \sigma(t, t_0) = \varepsilon(t_0)E(t) + \int_{t_0}^t \frac{d\varepsilon(\tau)}{d\tau} s(t, t_0) d\tau$$

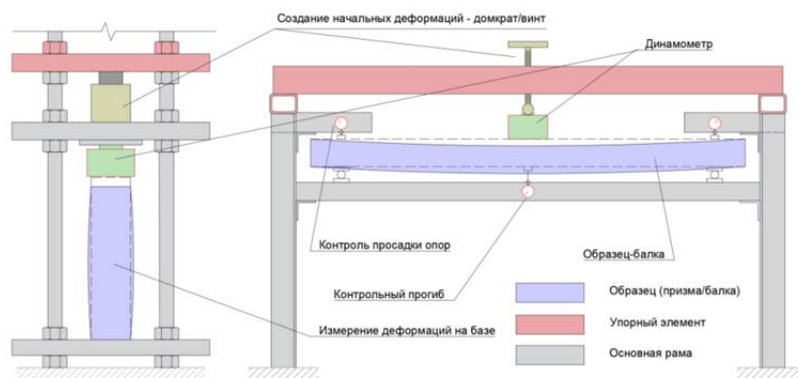


Рисунок 1 – Схема испытаний по определению релаксации бетонных образцов

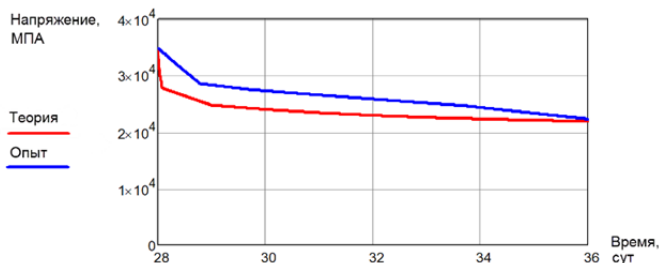


Рисунок 2 – Сравнение теоретического и экспериментального падения напряжения в образце

Список использованных источников

1. Арленинов П.Д., Крылов С.Б. Современное состояние нелинейных расчетов железобетонных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. №3. С.50-53.
2. Загрядский, И.И. Алгоритм численного определения деформаций бетона с учетом ползучести на основе его известных напряжений. Уточнение свойств мер релаксации и мер ползучести молодого бетона // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2014. – Т. 273. – С. 96-107.
3. Крылов С.Б., Гончаров Е.Е. Решение задачи релаксации бетона в дифференциальной форме // Строительство и реконструкция. - 2015. - №3(59). - С. 26-31.
4. Laurent Charpin, Julien Sanahuja. Creep and relaxation Poisson's ratio: Back to the foundations of linear viscoelasticity. Application to concrete // International Journal of Solids and Structures. - 2017. - №10.1016. - С. 110-111.
5. H. Beushausen, M.G. Alexander Failure mechanisms and tensile relaxation of bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage // Cement and Concrete research. - 2006. - №36. - С. 1908-1914.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ПОВЕРХНОСТЕЙ РАВНЫХ РАСХОДОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКЕ

Ахметов В.К.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)», д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, vadim.akhmetov@gmail.com

Ключевые слова: высотные сооружения, численные методы расчета, закрученные течения, смешение газов

APPLICATION OF THE NUMERICAL METHOD OF EQUAL RATE SURFACES IN STRUCTURAL AERODYNAMICS

Akhmetov V.K.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics, Russia, vadim.akhmetov@gmail.com

Key words: high-rise structures, numerical calculation methods, swirling flows, gas mixing

Рассматривается задача смешения турбулентных потоков в осесимметричном канале с произвольной формой боковой поверхности. Данная проблема актуальна в связи с разработкой экологически чистой технологии сжигания природного топлива в современных ТЭС. Комбинированные высотные сооружения (КВС), предназначенные для этой цели, объединяют дымовую трубу и мокрую градирню. Принцип работы такого устройства состоит в следующем. Дымовой газ, предварительно очищенный в установке сероудаления, подается в нижней части вытяжной башни в поток воздуха, разогретого в теплообменнике. При движении по вытяжной трубе поток дыма смешивается с теплым воздухом и за счет естественной тяги удаляется в атмосферу. Типичные значения параметров КВС составляют: диаметр основания 90 м, высота 100 м, расход дымовых газов во внутреннем потоке 300 м³/с при температуре газов 120°C, расход воздуха для внешнего потока 5000 м³/с при температуре газов 70°C.

Схема рассматриваемого течения изображена на рис. 1. Закрученный поток дымового газа поступает в центральную часть ($0 \leq r \leq R_1$) входного сечения ($z=0$) вытяжной трубы. Внешний незакрученный поток теплого воздуха подается коаксиально ($R_1 \leq r \leq R_0 = R(0)$).

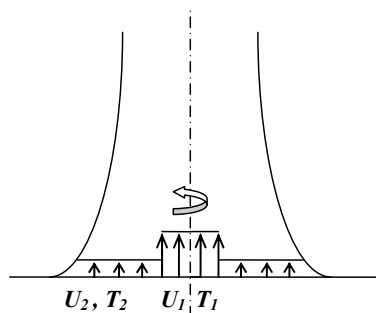


Рисунок 1 – Схема течения

Постановка задачи основана на использовании параболизированных уравнений Навье–Стокса и алгебраической модели турбулентности [1]. Решение проводится методом поверхностей равных расходов [2]. Для этого в цилиндрической системе координат r, φ, z определяются гладкие линии

$$r = \delta_n(z), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N,$$

каждая из которых представляет линию тока и удовлетворяет уравнению

$$U \frac{\partial \delta_n}{\partial z} = V \quad \text{при} \quad r = \delta_n(z).$$

Сетка линий $\delta_n(z)$ заранее неизвестна и строится вместе с решением ($\delta_0 = 0$ – ось симметрии, а $\delta_N = R(z)$ – стенка канала). Рассматривая в качестве неизвестных функции

$$f_{n+1/2} = 0,5(\delta_{n+1}^2 - \delta_n^2), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

и интегрируя каждое уравнение из системы законов сохранения массы смеси, импульса, энергии и массы примесей в приближении пограничного слоя по r от $r = \delta_n$ до $r = \delta_{n+1}$, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений на каждой линии $r = \delta_{n+1/2}(z)$:

$$\begin{aligned} U\dot{U} &= \frac{1}{\rho f} R_u - (1 - \frac{1}{\gamma}) \pi_T \frac{1}{\rho} \dot{p} - \pi_g, \\ UT\dot{T} &= \frac{1}{\rho f} R_T - (1 - \frac{1}{\gamma}) U \frac{1}{\rho} \dot{p} + \frac{1}{\rho} \frac{\pi_w^2}{\pi_T} G_T, \\ U\dot{E} &= \frac{1}{\rho f} R_E, \quad U\dot{W} = \frac{1}{\rho f} R_w + \frac{1}{\rho} G_w, \quad \frac{\dot{f}}{f} = -\frac{\dot{p}}{p} + \frac{\dot{T}}{T} - \frac{\dot{U}}{U}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь U, V, W – осевая, радиальная и азимутальная составляющая скорости соответственно, T – температура, E – концентрация примеси, ρ – плотность, p – давление, γ – показатель адиабаты, точка означает дифференцирование по z . Система уравнений (1) записана в безразмерном виде. Для этого U, T, ρ, E, p, W отнесены соответственно к максимальным значениям $U_1, T_1, \rho_1, E_1, p_1, W_1$ внутренней струи на входе $z=0$ в канал, а f – к R_0^2 . Три безразмерных параметра системы (1) $\pi_g = R_0 g / U_1^2$, $\pi_w = W_1 / U_1$, $\pi_T = c_p T_1 / U_1^2$ представляют собой число Фруда, параметр закрутки и аналог числа Маха M : $\pi_T = 1 / (M^2(\gamma - 1))$, в которых g – ускорение силы тяжести, c_p – удельная теплоемкость. Граничные условия на оси течения для неизвестных $A = \{U, W, T, E\}$ системы (1) следуют из условий симметрии. Система уравнений (1) замыкается заданием алгебраической модели турбулентности Прандтля.

Пример численного решения представлен на рис. 2. Линии тока достаточно быстро сходятся к центру по мере увеличения расстояния z . Эту информацию можно использовать для профилирования стенок вытяжной трубы с целью сокращения габаритов возводимого сооружения, уменьшения расходов на материалы и повышения устойчивости конструкции.

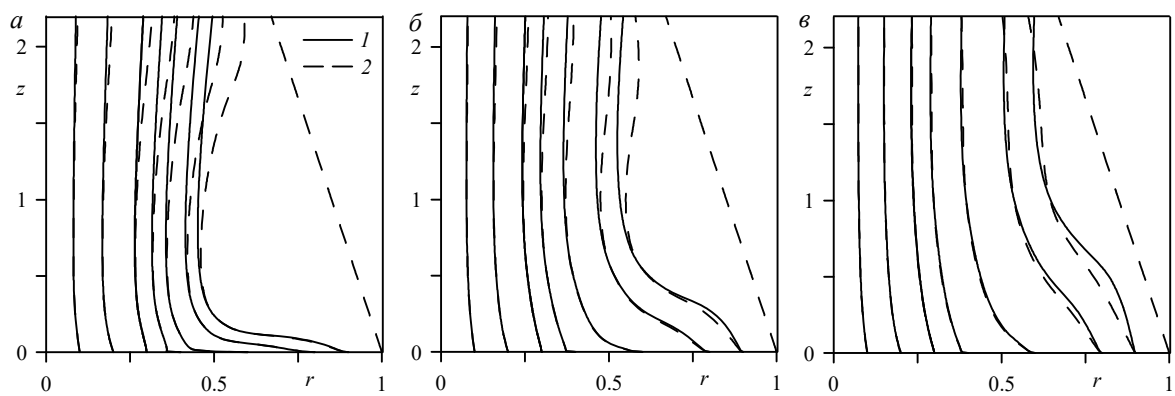


Рисунок 2 – Линии тока при $T_2=0,8$; $r_1=0,33$; $U_2=0,1; 0,2; 0,3$ (а, б, в), 1 – $R(z)=1$; 2 – $R(z)=1-0,15z$

Список использованных источников

1. Ахметов В.К., Шкадов В.Я. Численное моделирование вязких вихревых течений для технических приложений. Монография. М.: Издательство АСВ, 2009. 176 с.
2. Ахметов В.К., Шкадов В.Я., Конон П.Н. Аэродинамика строительных сооружений для удаления дымовых газов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 5(81). С. 81-92.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТАЛИ СО СВЕРХВЫСОКИМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ, ЗАВИСЯЩИМ ОТ АМПЛИТУДЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Бадьина Е.С.¹, Жаворонок С.И.², Локтева Н.А.³

¹ ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», Россия, shepitko-es@mail.ru

² ФГБУН Институт прикладной механики РАН, к.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела механики адаптивных композиционных материалов и систем, Россия, zhavoronok@iam.ras.ru

³ ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), к.т.н., доцент кафедры «Сопротивления материалов, динамики и прочности машин», Россия, nlok1@yandex.ru

Ключевые слова: стали со сверхвысоким демпфированием, амплитудно-зависимое демпфирование, нелокальная механика, колебания конструкций, численные методы, математическое моделирование

MATHEMATICAL MODELLING OF THE VIBRATIONS OF STRUCTURAL ELEMENTS MADE OF STEEL WITH ULTRA-HIGH DAMPING PROPERTIES DEPENDIN G ON THE STRESS AMPLITUDE

Badina E.S.¹, Zhavoronok S.I.², Lokteva N.A.³

¹ Russian University of Transport (MIIT), associate professor of the Department «Computer Aided Design», Russia, shepitko-es@mail.ru

² Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences, leading researcher of the Department of Adaptive Composite Materials and Systems, Russia, zhavoronok@iam.ras.ru

³ Moscow Aviation institute, associate professor of the Department «Mechanics of Materials, Dynamics and Machines Strength», Russia, nlok1@yandex.ru

Key words: ultra-high damping steels, amplitude-dependending damping, nonlocal mechanics, structural vibrations, numerical methods, mathematical modeling

Целью настоящего исследования является разработка новых конструктивных решений для демпфирующих систем различного назначения, выполненных из стали 01Ю5Т, обладающей сверхвысокими демпфирующими свойствами. Для эффективного решения этой задачи необходимо построить непротиворечивую математическую модель, позволяющую описать процесс колебаний конструктивных элементов, выполненных из демпфирующей стали. При этом необходимо учесть особенности внутреннего трения, возникающего в стали 01Ю5Т. Испытания показали, что внутреннее трение в рассматриваемом материале не зависит от частоты колебаний конструкции, но в значительной степени зависит от амплитуды действующих напряжений, поэтому частотно-зависимые модели внутреннего демпфирования, такие как модель Кельвина-Фойгта, или Максвелла не могут быть использованы для решения этой задачи. Максимальный уровень демпфирования сталь 01Ю5Т демонстрирует при уровне напряжений, равном 12 МПа, в это случае за цикл колебаний конструкция рассеивает 37% подведённой упругой энергии.

Сталь 01Ю5Т может быть использована в качестве аналога дорогостоящим металлическим сплавам с высокими демпфирующими свойствами, таким как никелид титана или демпфирующие стали, производимые за рубежом. К примеру, из демпфирующей стали могут быть выполнены сейсмоизолирующие опоры зданий и сооруже-

ний для сейсмоопасных районов, аутригерных систем высотных зданий, виброизолирующих элементов оптических столов.

На текущем этапе исследования в первом приближении построена нелокальная во времени модель колебаний рамной конструкции высотой 1 м и пролётом 1.5 м, опоры которой выполнены из стали 01Ю5Т. Стойки имеют сечение 5x5 см, масса ригеля составляет 10 кг. Конструкция рассматривалась как система с одной степенью свободы, причём стойки конструкции считались обладающими только жесткостными свойствами, а ригель – только инерционными. В качестве внешнего воздействия рассматривались малые случайные колебания основания, смоделированные в виде случайного стационарного процесса. Уравнение движения рассматриваемой системы имеет вид:

$$\ddot{y}(t) + 2n\dot{y}(t) + \omega_0^2 \int_0^t R(t - t_1)y(t)dt_1 = -\ddot{\Delta}(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ – горизонтальное перемещение верхних узлов рамы (точкой обозначена производная по времени), $\ddot{\Delta}$ – ускорение основания, $n = \xi\omega_0$ – внешнее демпфирование, ω_0 – собственная частота колебаний конструкции. Предполагается, что упругие силы в системе в рассматриваемый момент времени t зависят не только от мгновенного значения перемещений в этот момент времени $y(t)$, но и от значений перемещений в предыдущие моменты времени t_1 . Причем влияние временных точек друг на друга тем меньше, чем больше промежуток между ними [1]. $R(t - t_1)$ – ядро нелокального оператора. Эта функция описывает убывание влияния перемещений в предшествующие моменты времени t_1 на упругие силы в текущий момент t , при этом

$$\int_{-\infty}^t R(t - t_1)dt_1 = 1. \quad (2)$$

В качестве ядра оператора упругих свойств используется функция ошибок, которая при выполнении условия (2) принимает вид [1]: $R(t - t_1) = 2\pi^{-\frac{1}{2}}\eta e^{-\eta^2(t-t_1)^2}$, где η – параметр, характеризующий масштаб нелокальности упругих свойств материала во времени. От него зависит уровень внутреннего демпфирования в конструкции.

Уравнение (1) решалось методом Рунге-Кутты IV порядка [2]. Для подбора значений масштабных параметров использовались декременты колебаний, соответствующие различным амплитудам напряжений. Декременты δ были вычислены по коэффициентам поглощения ψ энергии, определённым экспериментально. Зависимость коэффициентов поглощения от уровня напряжений была аппроксимирована по формуле Е.С. Сорокина:

$$\psi(\sigma) = \psi_0 \left(\frac{\sigma}{\alpha + \sigma} + \lambda \frac{\sigma}{1 + \beta\sigma^2} \right) \quad (3)$$

Параметры $\psi_0, \alpha, \beta, \lambda$ аппроксимации (3) определялись с помощью программного комплекса MATLAB. На каждом шаге колебательного процесса определялись максимальные напряжения, возникающие в конструкции, и по ним методом наименьших квадратов вычислялось значение масштабного параметра η , соответственно, уровень диссипации энергии колебаний.

Сравнение результатов, полученных для сталей 01Ю5Т и Ст3 (коэффициент поглощения $\psi=0.025$) представлено на рис. 1. Прогиб u и время t представлены в безразмерном виде.

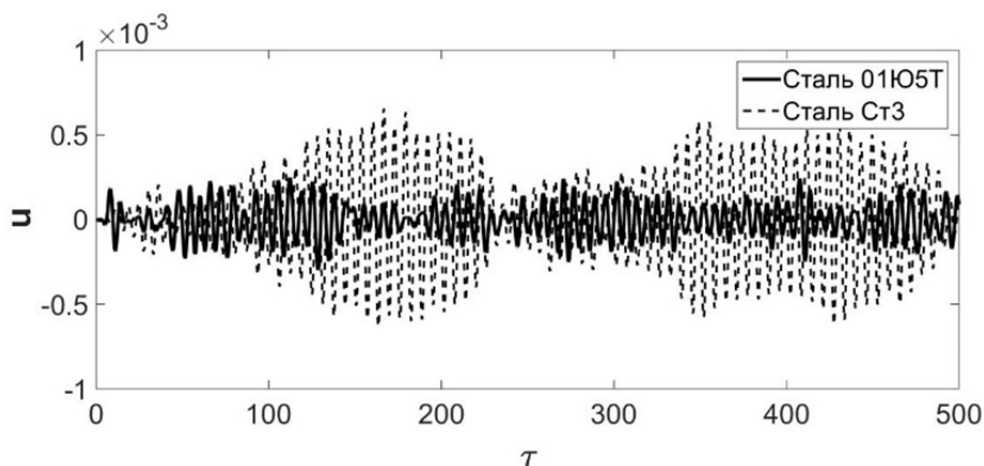


Рисунок 1 – Сравнение колебательных процессов верхних точек рамы, полученных для сталей 01Ю5Т и Ст3

Таким образом, нелокальная во времени модель колебаний конструкции обладает достаточной гибкостью для моделирования амплитудно-зависимого внутреннего трения в элементах из стали со сверхвысоким демпфированием. Сравнение результатов, полученных для сталей 01Ю5Т и Ст3, показало, что применение стали 01Ю5Т позволяет значительно уменьшить амплитудные значения перемещений узлов конструкции. На настоящий момент нелокальная модель демпфирования колебаний построена в первом приближении, и очевидна необходимость в дальнейшей работе над её устойчивостью, надёжностью и достоверностью. Кроме того, дальнейшее развитие модели позволит применять её при динамическом расчёте сложных стержневых систем.

Список использованных источников

1. *Lei Y., Friswell, M. I., Adhikari S.* A Galerkin method for distributed systems with non-local damping. *Int. Journal of Solids and Structures.* 2006, V. 43, pp. 3381 - 3400.
2. *Калиткин Н.Н.* Численные методы: учеб пособие. 2-е изд. исправленное. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 592 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВОДНОГО ПОТОКА

Бурцева О.А.¹

¹ ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», к.т.н., доцент кафедры «Общественные инженерные дисциплины», Россия, kuzinaolga@yandex.ru

Ключевые слова: математическая модель, гидродинамический анализ, двухмерный в плане водный поток, гидравлика открытого канала, аналитическое решение, простая волна.

ANALYTICAL DETERMINATION OF HIGH-SPEED WATER FLOW PARAMETERS

Burtseva O.A.¹

¹ «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)», Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General engineering disciplines, Russia, kuzinaolga@yandex.ru

Key words: mathematical model, hydrodynamics analysis, two-dimensional water flow, open-channel hydraulics, analytical solution, simple wave.

Введение. Теория и методы решения задач плановой гидравлики наиболее полно изложены в монографиях Г.И. Сухомела, И.И. Леви, Б.Т. Емцева [1], И.А. Шеренкова [2], В.Н. Коханено [3]. Математической основой данной теории являются квазилинейные дифференциальные уравнения в частных производных. В подавляющем большинстве случаев, вследствие того, что характер движения сложен, получение аналитического решения затруднено. Наиболее известным приближенным методом решения является метод характеристик, разработанный С.А. Чаплыгиным и заимствованный из газовой динамики [4]. Одним из самых известных методов расчёта параметров бурного потока является метод И.А. Шеренкова с использованием универсального графика [2], построенного на основе метода характеристик. Однако для практического использования график обладал недостаточной адекватностью. Расхождения между расчетными и экспериментальными значениями достигали 50%. Дальнейшее развитие метод характеристик получил в работах В.Н. Коханенко и его учеников.

Методы решения. Уравнения движения двухмерного в плане водного потока в физической области течения потока (ОХУ) подробно описаны в работе [3, 5]. Система уравнений, описывающая течение потока без учета сил сопротивления потоку, следующая:

$$\begin{aligned} u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0; \quad u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} = 0; \\ \frac{\partial u_x h}{\partial x} + \frac{\partial u_y h}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial u_x}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial x} = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

В системе (1) обозначены: u_x , u_y – составляющие средней на вертикали скорости потока, h – глубина, отсчитанная по нормали к дну (для уклонов дна < 0.3).

От u_x , u_y можно перейти к V , θ , где V – модуль скорости, θ – угол, характеризующий наклон вектора скорости к продольной оси симметрии потока.

Граничные условия:

1) на выходе потока из прямоугольной безнапорной трубы:

$$x = 0; \quad -\frac{b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2}; \quad h = h_0; \quad V = V_0; \quad \theta = 0,$$

b – ширина водопропускной трубы; h_0 , V_0 – глубина потока и величина его скорости на выходе из трубы в отводящее русло;

2) вдоль граничной линии тока

$$y = f(x); \quad y'_x = tg\alpha; \quad \alpha = \theta,$$

α – волновой угол;

3) при $x \rightarrow \infty$; $h \rightarrow 0$; $V \rightarrow V_{max}$; $\theta \rightarrow \theta_{max}$ [3], где

$$\theta_{max} = C_1 + \sqrt{3} - 1 \cdot \frac{\pi}{2}; \quad C_1 = \text{arctg} \sqrt{\frac{3\tau_0 - 1}{1 - \tau_0}} - \sqrt{3} \cdot \text{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{3\tau_0 - 1}{1 - \tau_0}} \right); \quad \tau_0 = \frac{F_0}{F_0 + 2}; \quad F_0 = \frac{V_0^2}{gh_0}. \quad (2)$$

Систему (1) можно, пользуясь методом С.А. Чаплыгина [4], преобразовать к переменным τ и θ , т.е. получить уравнения в плоскости годографа скорости $\Gamma(\tau, \theta)$:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{h_0}{2H_0} \cdot \frac{3\tau - 1}{\tau(1 - \tau)^2} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \theta}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = 2 \frac{h_0}{H_0} \cdot \frac{\tau}{1 - \tau} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \tau}, \quad (3)$$

где $\varphi = \varphi(\tau, \theta)$ – потенциальная функция; $\psi = \psi(\tau, \theta)$ – функция тока; $H_0 = \frac{V_0^2}{2g} + h_0$

– постоянная в интеграле Д. Бернулли.

Между планом течения потока и плоскостью годографа скорости существует комплексная дифференциальная связь:

$$dx + iy = \frac{1}{\tau^{1/2} \sqrt{2gH_0}} \left[d\varphi + i \frac{h_0}{H_0} \frac{d\psi}{1 - \tau} \right] \cdot e^{i\theta}, \quad (4)$$

где $i = \sqrt{-1}$.

Поэтому, решив задачу в плоскости годографа скорости, можно, используя (4), определить решение по всему спектру параметров в плане течения потока. Система уравнений (3) является уже линейной системой, допускающей получение аналитических решений. Из этих решений авторы в работах [3, 5] выбирали решение в виде:

$$\psi = A \cdot \frac{\sin \theta}{\tau^{1/2}}; \quad \varphi = A \cdot \frac{h_0}{H_0} \cdot \frac{\cos \theta}{\tau^{1/2} (1 - \tau)}, \quad (5)$$

где A – некоторая константа.

Однако решение (5) хорошо удовлетворяет граничным условиям на бесконечности, т.е. при $\tau \rightarrow 1$ и не удовлетворяет граничным условиям на выходе потока из трубы, т.е. при $\theta = 0$.

Для выполнения условий (2) подходят два вида течений общего вида: радиальное растекание потока и течение вида (5). Кроме того, условием растекания потока со свободной поверхностью выгнутой от дна в сторону атмосферы вдоль русла является симметрия потока. Это условие следует из экспериментальных исследований растекания потока. Этому условию соответствует течение вида (5) и не соответствует радиальное растекание потока. Поэтому решено остановиться на сопряжении равномерного потока и течения общего вида областью «простая волна».

Выводы. 1. Детальная разработка программ предложенного метода опубликована в работах [6-8]. По результатам численного расчета получена адекватность модели потока натурному исследованию < 5% (см. рис. 2), что является вполне допустимым.

2. Данная работа является развитием теории двухмерных в плане потенциальных потоков и методов по сопряжению равномерных потоков и течений общего вида. Аналитический метод решения задачи свободного растекания потенциальных потоков с использованием плоскости годографа скорости действителен, однозначен и не имеет особенностей в моделях известных ранее без учёта сопрягающего течения «простая волна».

Список использованных источников

1. *Шеренков, И.А.* О плановой задаче растекания струи бурного потока несжимаемой жидкости // Изв. АН СССР. ОТН. 1958. № 1. С. 72-78.
2. Справочник по гидравлике. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища школа, 1984. 343 с.
3. *Коханенко, В.Н., Волосухин, Я.В.* и др. Моделирование бурных двухмерных в плане водных потоков. Ростов на Дону: Издательство Южного федерального университета. 2013. 180 с.
4. *Александрова, М.С.* Метод аналогий между гидравликой двухмерных в плане водных потоков и газовой динамикой. Строительство и архитектура. 2020. V.8. 2(27). Pp. 49-52. DOI: 10.29039/2308-0191-2020-8-2-49-52.
5. *Burtseva O.A., Kohanenko V.N., Evtushenko S.I., Alexandrova M.S.* The model of free spreading a flow rapid behind a rectangular pipe. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. 18(2). Pp. 74-84. DOI: 10.22337/25879618-2022-18-2-74-84.
6. *Папченко, Н.Г.* Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014611308, 2014.
7. *Бурцева, О.А.* Определение параметров свободно растекающегося потока. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022618552, 2022.
8. *Александрова, М.С.* Определение параметров потока вдоль крайней линии тока. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022666655, 2022.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Гайджуров П.П.¹

¹ ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры
«Строительная механика и теория сооружений», Россия, gpp-161@yandex.ru

Ключевые слова: конечно-элементное моделирование, напряженно-деформированное состояние, железобетонные конструкции

FINITE ELEMENT MODELING OF THE VOLUME STRESS-STRAIN STATE OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER LONG-TERM DEFORMATION

Gaydzhurov P.P.¹

¹ Don State Technical University Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Structural
Mechanics and Theory of Structures, Russia, gpp-161@yandex.ru

Keywords: finite element modeling, stress-strain state, reinforced concrete structures

К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал по ползучести бетона. Вместе с тем известные подходы к расчету бетонных и железобетонных конструкций с учетом ползучести ориентированы главным образом на решение задач с относительно простой геометрией изделия. Кроме этого отсутствуют механико-математические модели наследственного типа, ориентированные на метод конечных элементов. Концепция моделирования длительной деформации железобетонных конструкций в трехмерной постановке, базирующаяся на использовании интегрального модуля деформации бетона, не позволяет осуществлять проектирование с учетом технологической предыстории. Поэтому актуальной является проблема разработки конечно-элементного алгоритма и соответствующего программного обеспечения, позволяющего моделировать объемное напряженно-деформированное состояние большепролетных предварительно напряженных железобетонных конструкций в рамках теории наследственного старения.

В соответствии с наследственной теорией старения бетона связь между напряжениями и деформациями представим в матрично-операторной форме

$$\{\sigma\} = [E(t)](1 - \mathbf{R})\{\varepsilon\},$$

где $\{\sigma\}$, $\{\varepsilon\}$ векторы-столбцы напряжений и деформаций; $[E(t)]$ – матрица упругости материала; $\mathbf{R}\varepsilon_{ij} = \int_{\tau}^t R(t, \tau)\varepsilon_{ij}(\tau)d\tau$, $R(t, \tau)$ – ядро релаксации; t – временная координата; τ – «возраст» материала в момент приложения нагрузки.

Вид функции $R(t, \tau)$ базируется на феноменологической теории ползучести бетона. Для описания ползучести бетона применим модель упруго-ползучего тела. Суть данной теории состоит в предположении о частичной обратимости деформаций ползучести при соблюдении принципа наложения воздействий. Соответствующее выра-

жение для функции удельной ползучести в обозначениях С.В. Александровского имеет вид

$$C(t, \tau) = \psi(\tau) - \psi(t) \left(\frac{e^{\gamma\tau} - A_2}{e^{\gamma t} - A_2} \right) + \Delta(\tau) \left[1 - e^{-\alpha(t-\tau)} \right],$$

где A_2, γ, α – константы, определяемые из опытов на ползучесть при одноосной деформации; $\psi(\tau), \psi(t)$ – функции старения, аппроксимирующие опытные данные.

Структура результирующего матричного уравнения МКЭ для решения задачи наследственной теории старения принимает следующую форму:

$$[H](1 - \mathbf{R})\{W\} - \{F\} = 0, \quad (1)$$

где $[H]$ – глобальная матрица жесткости; $\{F\}, \{W\}$ – векторы-столбцы узловых перемещений и сил. Численное интегрирование уравнения (3) по временной координате выполняем с помощью формулы трапеций. Для реализации данной процедуры рассматриваемый временной интервал $[\tau, t]$ разбиваем на m равноотстоящих временных шагов Δt , так чтобы $t = m \Delta t$. Тогда, выражение (1) можно представить в форме

$$[H_m]\{W_m\} = \{F\} + [H_1]\{W_1\} + [H_j]\{W_j\} \quad |_{j=1, m-1}, \quad (2)$$

$$\text{где } [H_m] = [H](1 - \mathbf{R}(t, t))\Delta t / 2; [H_1] = [H](1 - \mathbf{R}(t, \tau))\Delta t / 2;$$

$$[H_j] = [H](1 - \mathbf{R}(t, (m - j)\Delta t))\Delta t.$$

В выражении (2) вектор-столбец $\{W_1\}$ соответствует упруго мгновенному решению задачи. Отметим, что в соответствии с шаговой процедурой на каждом временном интервале происходит корректировка глобальной матрицы жесткости и добавление в правую часть произведения $[H_j]\{W_j\}$, в котором вектор-столбец $\{W_j\}$ получен на предыдущем шаге интегрирования. Кроме этого вычислительный процесс допускает изменение текущего вектора-столбца узловых сил $\{F\}$ в соответствии с заданным законом нагружения. Вся «история» наблюдения за деформированием конечно-элементной модели хранится в памяти компьютера. Рассмотренный алгоритм реализован на платформе Intel® VisualFortranComposerXE.

Результаты моделирования в виде графиков $u_y \sim t$ приведены на рис. 1-3. На рис. 1 кривые 1 и 2 соответствуют расчетам, выполненным для преднапряжения балки усилием $T = 1,8$ т в «возрасте» $\tau = 20$ сут (линия 1) и $\tau = 60$ сут (линия 2). Упруго мгновенное значение выгиба на этом рисунке показано штриховой линией. Представленные данные отражают эффекты характерные для бетона – быстро нарастающая ползучесть в момент приложения нагрузки и увеличение жесткости со временем.

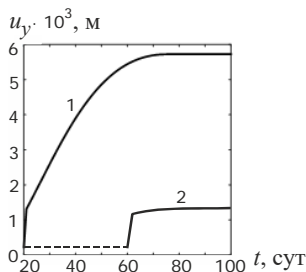


Рис. 1. Графики $u_y \sim t$:

1 – $\tau = 20$ сут; 2 – $\tau = 60$ сут;

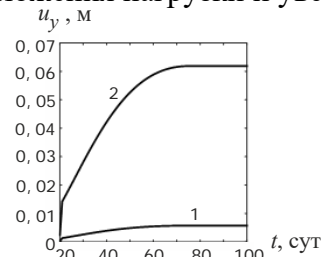


Рис. 2. Графики $u_y \sim t$ для

$\tau = 20$ сут:

1 – $T = 1,8$ т; 2 – $T = 9$ т

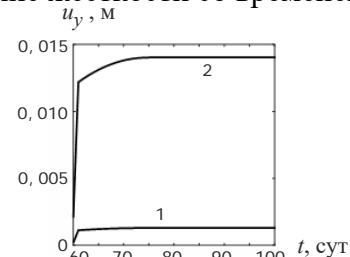


Рис. 3. Графики $u_y \sim t$ для

$\tau = 60$ сут:

1 – $T = 1,8$ т; 2 – $T = 9$ т

Графики на рис. 2 и 3 показывают зависимость величины выгиба $u_y(t)$ балки от момента нагружения τ и усилия натяжения каната: кривая 1 – $T= 1,8$ т (17,7 кН); кривая 2 – $T= 9$ т (88,3 кН). На основании полученных данных устанавливаем, что при пятикратном увеличении усилия T выгиб балки к моменту времени наблюдения $t= 100$ сут независимо от «возраста» бетона увеличивается в 11 раз.

На рис. 4 и 5 приведена визуализация распределения результирующих полей перемещений u_y и u_z в момент времени $t= 100$ сут в $1/4$ части балки при $T= 1,8$ т и $\tau=20$ сут.

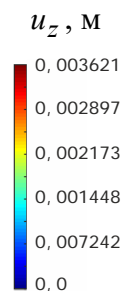
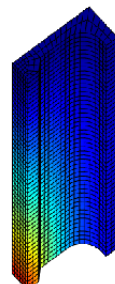
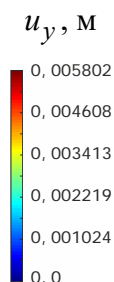
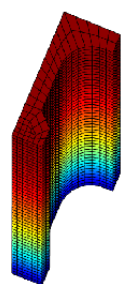


Рисунок 4 – Распределение u_y при $T= 1,8$ т

Рисунок 5 – Распределение u_z при $T= 1,8$ т

На основании рис. 5 устанавливаем, что максимальное перемещение u_z в месте виртуального расположения «активных» анкеров крепления канатов составляет 3 мм. Это значение сопоставимо с величиной выгиба равного 5 мм (рис. 4.)

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ПЛИТ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ

Кабанцев О.В.¹, Крылов С.Б.², Трофимов С.В.³

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций», Россия, ovk531@gmail.com

² АО «Научно-исследовательский центр «Строительство», д.т.н., заведующий лаборатории «Механики железобетона» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Россия, niizhb_lab8@mail.ru

³ АО «Научно-исследовательский центр «Строительство», м.н.с. лаборатории «Механики железобетона» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, аспирант кафедры «Железобетонных и каменных конструкций» ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Россия, niizhb_lab8@mail.ru

Ключевые слова: численные методы расчета, продавливание, железобетонные плиты и фундаменты

NUMERICAL ANALYSIS OF THE SPECIMEN SIZE EFFECT ON THE SLAB PUNCHING STRENGTH TESTING

O.V. Kabantsev¹, S.B. Krylov², S.V. Trofimov³

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Russia, ovk531@gmail.com

² JSC Research Center of Construction, Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Russia, niizhb_lab8@mail.ru

³ JSC Research Center of Construction, Junior Researcher of the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics NIIZHB named after A.A. Gvozdev, PhD student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures MGSU, Russia, niizhb_lab8@mail.ru

Key words: finite element method, nonlinear analysis, numerical simulation, punching shear, reinforced concrete slabs and footings

Анализ научной литературы показал, что при экспериментальных исследованиях продавливания железобетонных плит большое влияние на результаты оказывают размеры опытных образцов. Наиболее точные результаты получаются для образцов, в которых очертания плитной части соответствуют линии нулевых моментов в реальной конструкции. Таким образом, теоретическое обоснование корректного положения линии нулевых моментов и размеров экспериментальных образцов в целом, позволяет получить однозначно трактуемые результаты экспериментальных исследований.

В рамках настоящей работы был принят теоретический пролет, равный 6,0 м, толщина плиты – 0,6 м, поперечное сечение колонн 0,4 х 0,4 м. При этом, исходя из аналитических зависимостей для размеров образцов, предлагаемые разными авторами, были определены длины консольных частей для изолированных фрагментов плит: согласно Болгову А.Н. [1] и G. Birkle [2] $r_s = 0,21 \cdot 6,0 = 1,26$ м; А. Muttoni [3] $r_s = 0,22 \cdot 6,0 = 1,32$ м; ЕАД 160057-00-0301 $r_s = 1,8$ м или $r_s = 3,0$ м.

Для проверки данных зависимостей были выполнены численные расчеты упругих конструкций с использованием МКЭ. По результатам анализа выполненных численных расчетов неразрезной плоской плиты перекрытия в ПК ЛИРА-САПР 2021 и АТЕНА было установлено, что расположение линии нулевых моментов в данной расчетной ситуации не имеют выраженной зависимости от вы-

бранного метода моделирования плитных конструкций (с применением пластинчатых либо объемных конечных элементов). Полученные размеры плитных частей образцов отличаются при этом в пределах 5,93 %. Длины консолей для изолированных фрагментов плит, аналитически рассчитанные по методикам разных авторов (EAD 160057-00-0301, Болгов А.Н. [1], G. Birkle [2]), существенно отличаются от результатов численных расчётов.

Проведённые численные расчёты показали, что принятый для экспериментальных образцов средний размер $r_s = 1,32$ м, наилучшим образом соответствует реальной полномасштабной конструкции. Было отмечено, что метод с использованием линейно-упругих численных моделей с целью определения размеров опытных образцов плит является более точным относительно предлагаемых аналитических методов и может учитывать влияние таких эффектов, как неравномерность нагружения или пролёты разной длины.

С целью определения вклада длин консольных участков для изолированных фрагментов плит на максимально возможную теоретическую разрушающую нагрузку была выполнена серия нелинейных расчетов в ПК АТЕНА. При этом значение величины r_s варьировалось от 3,0 м ($5h$) до 0,9 м ($1,5h$). По результатам нелинейных численных расчетов было установлено, что разница в значениях получаемых теоретических разрушающих нагрузок может достигать 100%. Таким образом, корректное назначение размера экспериментального образца на основе расчетной величины консольного участка является важнейшим параметром, определяющим достоверность результатов экспериментальных исследований.

Список использованных источников

1. Болгов А.Н. Работа узлов сопряжения колонн из высокопрочного бетона с перекрытием в монолитных зданиях с рамно-связевой системой: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.01 / НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Москва, 2005. 151 с.
2. G. Birkle Punching of Flat Slabs: The Influence of Slab Thickness and Stud Layout (Thesis) / The University of Calgary. Калгари, 2004. 217 с.
3. A. Muttoni, J. Sagaseta, L. Tassinari Non-axis-symmetrical punching shear around internal columns of RC slabs without transverse reinforcement. Magazine of Concrete Research (May 2011): pp.1–17. DOI: 10.1680/macr.10.00098

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОРТОГОНАЛЬНО ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ОСНОВАНИЕМ, С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ВО ВРЕМЕНИ

Косицын С.Б.¹, Акулич В.Ю.²

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», РУТ (МИИТ), советник РААСН, д.т.н., профессор кафедры «Теоретическая механика», Россия, *kositsyn-s@mail.ru*

² ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», РУТ (МИИТ), к.т.н., ассистент кафедры «Мосты и тоннели», Россия, *vladimir.akulich@gmail.com*

Ключевые слова: оболочка, грунтовый массив, численные методы расчета, стадии строительства

NUMERICAL ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SYSTEM «ORTHOGONALLY INTERSECTING CYLINDRICAL SHELLS – SOIL» WITH THE STAGES OF CONSTRUCTION

Kosytsyn S.¹, Akulich V.²

¹ *Russian University of Transport (MIIT), Advisor of RAASN, Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Theoretical Mechanics, Russia, kositsyn-s@mail.ru*

² *Russian University of Transport (MIIT), Doctor of Technical Sciences, Assistant of the Department of Bridges and Tunnels, Russia, vladimir.akulich@gmail.com*

Key words: shell, soil, numerical calculation methods, construction stages

Важным направлением развития строительной механики является численное моделирование напряженно-деформированного состояния пространственных систем сложной геометрии, в том числе ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием [1]. Численное моделирование таких систем имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать, а именно: контактное взаимодействие между цилиндрической оболочкой и окружающим основанием, а также учет стадийного возведения оболочки.

Разработанная модель ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, с учетом перечисленных выше особенностей обеспечивает новый, востребованный современной практикой уровень расчетного обоснования подобных систем. Например, при строительстве метрополитена, помимо перегонных тоннелей и станций всегда есть необходимость в притоннельных сооружениях (тоннельных сбойках), которые являются вспомогательными сооружениями, необходимыми для функционирования основных.

Численный анализ выполнен в универсальном программном комплексе ANSYS Mechanical [2, 3]. Пространственная расчетная модель состоит из узла ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек (тройникового соединения) и окружающего основания. Основная цилиндрическая оболочка диаметром $D_1 = 5.50$ м и толщиной $t_1 = 0.25$ м; примыкающая оболочка диаметром $D_2 = 3.85$ м и толщиной $t_2 = 0.20$ м. Материал оболочек задан идеально упругой моделью со следующими параметрами: модуль упругости $E_{об} = 30000$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu_{об} = 0.2$, плотность $\rho_{об} = 2300$ кг/м³. Материал основания задан упруго-пластической моделью

Мора – Кулона (O. Mohr, С. А. Coulomb) со следующими параметрами: модуль деформации $E_{cp} = 30$ МПа, коэффициент поперечной деформации $\mu_{cp} = 0.3$, плотность $\rho_{cp} = 2000$ кг/м³, сцепление $C = 10$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi = 25^\circ$. Узел ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек расположен на глубине 30 м от верхней поверхности основания.

Составлены расчетные случаи с 8, 4, 2 и 1 стадиями возведения тройникового соединения (в каждом случае дополнительно одна стадия (нулевая) отводилась на определение бытового состояния основания) и без учета стадий.

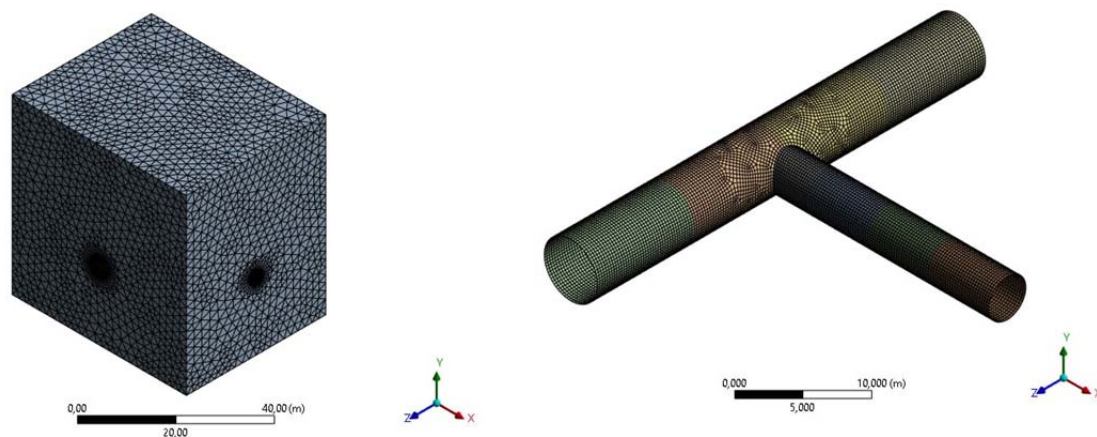


Рисунок 1 – Общий вид расчетной модели (слева) и вид тройникового соединения (справа)

Рассмотрено влияние учета последовательности возведения тройникового соединения на его напряженно-деформированное состояние. В случае с 8 стадиями возведения максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в оболочке составляют 75.2 МПа. Полученные результаты показали, что учет последовательности возведения существенно влияет на напряженно-деформированное состояние ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек и окружающего основания.

Перспективы дальнейших исследований связаны с применением нелинейных материалов оболочки и различными вариантами контактного взаимодействия оболочки и основания.

Список использованных источников

1. Белостоцкий А.М., Головин В.В., Фрадкин Б.В. Методика расчета напряженного состояния тройниковых соединений труб при комплексном нагружении // Сб. научных трудов Гидропроекта. 1985. № 100. С. 83–93.
2. Басов К. А. ANSYS: справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005. 640 с.
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. Киев: Сталь, 2002. 445 с.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБА И ФОРМЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

Крылов С.Б.¹, Калмакова П.С.²

¹АО «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им.А.А. Гвоздева, заведующий лабораторией «Механики железобетона», д.т.н., член-корреспондент РААСН, г. Москва, Россия, *niizhb_lab8@mail.com*

²АО «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им.А.А. Гвоздева, инженер лаборатории «Механики железобетона», г.Москва, Россия, *polina15kalmakowa@gmail.com*

Ключевые слова: бетон, численные методы расчета, масштаб, форма

NUMERICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF SCALE AND SHAPE ON TESTING CONCRETE SAMPLES

Krylov S.B.¹, Kalmakova P.S.²

¹JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Chief of the laboratory "Mechanics of Concrete", Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the RAASN, Moscow, Russia, *niizhb_lab8@mail.com*

²JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Engineer of the laboratory "Mechanics of jelly-concrete", Moscow, Russia, *polina15kalmakowa@gmail.com*

Key words: concrete, numerical calculation methods, scale, form

В настоящее время при испытании различных образцов на прочность на сжатие используются различные переводные коэффициенты, которые в свою очередь зависят от формы образцов и их размеров. Так в ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [1] в таблице 4 представлены переводные коэффициенты при испытании различных образцов на прочность на сжатие.

В инженерной практике могут встречаться задачи, когда используются нестандартные образцы для определения прочности материалов. Поэтому важно иметь методику, позволяющую теоретически рассчитать ожидаемый результат испытаний для образцов любой формы и размеров.

Для создания такой методики были выполнены нелинейные численные расчёты образцов разной формы и размеров с использованием программного комплекса ANSYS. Особое внимание при выполнении расчётов было уделено правильному заданию граничных условий, наиболее достоверно отражающих взаимодействие испытываемых образцов материала с пластинами пресса.

В результате проведённых расчётов было показано, что наибольшее влияние на результат оказывает трёхосное напряжённое состояние материала в области, близкой к границе контакта образца и пластины нагружающего устройства и связанный с этим краевой эффект. В целом были подтверждены величины переводных коэффициентов, приведённые в нормативной литературе.

Проведённое исследование даёт возможность получать достоверные данные о нормативной прочности материалов на основании испытаний нестандартных образцов.

Список использованных источников

1. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ РАБОТЕ МАТЕРИАЛА

Крылов С.Б.¹, Корнюшина М.П.²

¹АО «НИЦ «Строительство», д.т.н., заведующий лабораторией механики железобетона №8
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Россия, niizhb_lab8@mail.ru

²АО «НИЦ «Строительство», научный сотрудник лаборатории механики железобетона №8
НИИЖБ им.А.А. Гвоздева, Россия, niizhb_lab8@mail.ru

Ключевые слова: напряжённно-деформированного состояния конструкции, корреляции параметров, численные исследования, нелинейная работа материала

NUMERICAL STUDIES OF THE CORRELATION OF THE PARAMETERS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE STRUCTURE DURING NONLINEAR OPERATION OF THE MATERIAL

Krylov S.B.¹, Kornyushina M.P.²

¹JSC "RCC" Construction", Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Reinforced
Concrete Mechanics No. 8 of the A.A. Gvozdev NIIZHB, Russia, Russia, niizhb_lab8@mail.ru

²JSC "RCC" Construction", Researcher at the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics No. 8
of the A.A. Gvozdev NIIZHB, Russia, niizhb_lab8@mail.ru

Key words: stress-strain state of the structure, correlations of parameters, numerical studies, nonlinear operation of the material

При выполнении поверочных расчётов, при сравнении результатов расчётов и результатов мониторинга конструкций, обычно не удаётся получить точного совпадения данных. Это связано с неопределённостями в значениях истинных нагрузок, с неопределённостями свойств материалов и, часто, с неопределённостями истинных граничных условий.

Для строгой количественной оценки степени соответствия напряжённно-деформированного состояния конструкции и системы действующих нагрузок целесообразно использовать коэффициенты корреляции между измеренными (заданными) значениями нагрузок и вычисленными или измеренными параметрами напряжённно-деформированного состояния. При нормальной эксплуатации сооружения, работа материалов в отдельных элементах происходит линейно или близка к линейной. Поэтому в идеале коэффициент корреляции между нагрузками и значениями моментов, сил и перемещений в разных сечениях, близок к единице. Снижение этого коэффициента корреляции указывает на нелинейность работы конструкции, связанную с повреждениями, образованием трещин, развитием пластических деформаций.

В проведённом исследовании понятие «корреляция» было рассмотрено в точки зрения векторных пространств. Удалось расширить это понятие и ввести целый ряд обобщённых коэффициентов корреляции. Такие коэффициенты могут быть использованы для широкого круга инженерных задач. Во многих случаях они являются более удобными по сравнению с классическими парными и множественными коэффициентами корреляции.

С использованием программа ANSYS было проведено численное исследование корреляции между параметрами напряжённо-деформированного состояния нелинейно работающей стальной балки и величинами нескольких нагрузок, которые изменялись независимо друг от друга. Таким образом моделировалось поведение конструкции, в которой развиваются повреждения. Основная проблема при этом была следующая. Например, при одной действующей нагрузке или при нескольких однопараметрических нагрузках можно построить график, прогибов. По изменению наклона графика можно определить начало развития пластических деформаций в конструкции. В случае нескольких независимо меняющихся нагрузок, такой график построить невозможно, поскольку количество доступных координатных осей оказывается меньше количества независимых нагрузок (одна ось независимых переменных в 2-мерном графике или 2 независимых оси в 3-мерном графике)

Данная задача решена с помощью построения графика зависимости множественного коэффициента корреляции (между прогибом и набором нагрузок) от номера этапа нагружения. Такой приём позволил свести многомерную задачу к двумерной. Начало развития нелинейных деформаций в балке определяется по изменению характера графика корреляции. В этом наблюдается некоторая аналогия с использованием графика прогибов.

При проведении работы была исследована чувствительность разных видов коэффициентов корреляции к возникновению пластических деформаций в материале. Установлено, что классические коэффициенты парной и множественной корреляции обладают низкой чувствительностью. Поэтому для оценки состояния конструкции предпочтительно использовать обобщённые коэффициенты корреляции.

Список использованных источников

1. Груман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003, 479 с.
2. Фёзстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1983, 302 с.
3. Шолов Г.Е. Математический анализ. Специальный курс. М.: Физматгиз, 1961. 436 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ПЛИТАХ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ РАБОТЕ МАТЕРИАЛОВ

Крылов С.Б.¹, Козлов Г.М.²

¹ *Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева», д.т.н., заведующий лабораторией «Механики железобетона» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Россия, niizhb_lab8@mail.ru*

² *Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева», Россия, niizhb_lab8@mail.ru*

Ключевые слова: железобетонные монолитные перекрытия, численные методы расчета, конструирование, напряженно-деформированное состояние

NUMERICAL RESEARCH DISTRIBUTION OF EFFORTS IN FLOORS DURING NON-LINEAR OPERATION OF MATERIALS

Krylov S.B.¹, Kozlov G.M.²

¹ *Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Doctor of Technical Sciences, Chief of the Laboratory of Reinforced Concrete Mechanics NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Russia, niizhb_lab8@mail.ru*

² *Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Russia, niizhb_lab8@mail.ru*

Key words: reinforced concrete monolithic floors, numerical calculation methods, design, stress-strain state

В настоящее время при расчёте и проектировании железобетонных конструкций учитывается только один вид перераспределения усилий, происходящий по «балочной схеме». При этом в месте образования пластического шарнира величина эпюры изгибающего момента не может превышать величину, определяемую свойствами этого пластического шарнира. При дальнейшем росте нагрузки величина момента в этом шарнире остаётся постоянной и происходит перераспределение усилий с данного сечения конструкции на другие сечения. Этот вид перераспределения усилий хорошо изучен и описан в технической литературе [1]. Но при этом недостаточно исследован вопрос трещиностойкости, т.к. образование пластического шарнира в железобетоне неизбежно сопровождается возникновением трещин.

Другой известный вид перераспределения усилий описан в Руководстве по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями [2]. При этом виде перераспределения усилий рассматривается линейный пластический шарнир, протяжённостью по всему перекрытию от одного конца до другого. При этом не исследовано, как влияет на требуемое армирование наличие концентраторов напряжений, например, в виде колонн, и вообще неравномерностей в полях изгибающих моментов, а также закономерности развития области пластического шарнира в направлении поперёк пролёта. В случае высокой концентрации напряжений, предельные деформации в арматуре могут быть достигнуты в отдельных местах вплоть до обрыва, в то время как в других местах шарнир может не образоваться.

Для изучения перераспределения усилий в условиях современного строительства, в том числе новой арматуры и современного бетона, моделировалось условие, при котором возникает пластический шарнир поперек пролета.

В результате выполнения нелинейных расчётов методом конечных элементов (МКЭ) установлено, что перераспределение усилий в железобетонной конструкции может происходить в широких пределах. Сравнением с расчётами в упругой стадии показано, что в случае концентрации напряжений арматура включается в работу с полным расчётным сопротивлением на участке от места максимального изгибающего момента и до места, где момент убывает приблизительно в 10 раз

Список использованных источников

1. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. М., Стройиздат, 1975, 192с.

2. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями/ НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР, Центр н.-и. и проект.-эксперим. ин-т пром. Зданий и сооружений Госстроя СССР, Урал. Проект. и н.-и. ин-т Госстроя СССР.-М.: Стройиздат, 1979.-63с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТТАИВАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Кудрявцев С.А.¹, Вальцева Т.Ю.²

¹ ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», д.т.н., профессор кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» Россия, olgakudr56@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», к.т.н., доцент кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения» Россия, vtu25@mail.ru

Ключевые слова: численное моделирование, многолетнемерзлые грунты, деградация мерзлоты, температура, оттаивание, промерзание

NUMERICAL MODELING OF THE PROCESS OF THAWING OF PERMAFROST SOILS OF INFRASTRUCTURE RAILWAY FACILITIES OF THE FAR EAST

Kudryavtsev S.A.¹, Valtseva T.Yu.²

¹ Far Eastern State Transport University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Bridges, Tunnels and Underground Structures" Russia, olgakudr56@mail.ru

² Far Eastern State Transport University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Bridges, Tunnels and Underground Structures" Russia, vtu25@mail.ru

Key words: numerical modeling, permafrost soils, permafrost degradation, temperature, thawing, freezing

Россия справедливо считается самой холодной страной мира. Характерной ее особенностью является наличие многолетнемерзлых грунтов, занимающих более двух третей общей площади. В этих областях, называемых криолитозоной, чрезвычайно важными являются деформации оттаивания, развивающиеся при деградации основания вследствие повышения температуры воздуха и многолетнемерзлого грунта. Любое проектирование объектов в холодных регионах начинается с теплофизических расчетов.

Для грунта, находящегося в мерзлом состоянии, при повышении температуры даже в области отрицательных значений прочность ледяных включений уменьшается, что сопровождается снижением прочностных и деформационных характеристик. При нулевой температуре ледяные включения оттаивают и грунт испытывает просадки, которые могут достигать значительных величин. Сам процесс оттаивания и вызванные им просадки развиваются во времени, что заставляет помимо эволюции температурных полей рассматривать для малопроницаемых грунтов консолидацию при оттаивании.

Оценка осадок при оттаивании основания, сложенного мерзлыми грунтами, имеет целью, установление возможности допущения оттаивания в ходе эксплуатации зданий или сооружения, возводимых в криолитозоне. Если величина конечных осадок меньше предельно допустимой, то при строительстве нет необходимости прибегать к дорогостоящим мероприятиям по сохранению мерзлого состояния грунтов.

Первоочередным в рассматриваемом случае будет расчет температурных полей в основании с определением границы чаши оттаивания в пределах срока существования сооружения. При этом следует иметь ввиду, что при оттаивании, происходящем при постоянной нулевой температуре, льдоцементные связи разрушаются, что сопро-

вождается резким снижением механических характеристик основания. При быстром оттаивании, вызванном, например, действием локальных источников тепла в льдистых связных грунтах, устойчивость оттаявшей зоны основания может быть нарушена, что приводит к выдавливанию грунтов, сопровождаемому просадками. В связи с этим самой важной в таких случаях будет являться оценка прочности основания, сложенного оттаявшим грунтом. Для этого давления на оттаявший грунт должны быть ограничены значениями расчетного сопротивления, устанавливаемого как для талых грунтов с использованием их характеристик ϕ и c в оттаявшем состоянии. Экспериментальное определение этих характеристик должно производиться по схеме неконсолидированного сдвига.

Если в процессе оттаивания выдавливания грунта не происходит, а давление на оттаивающий грунт не превышает расчетного сопротивления грунта, то осадки фундаментов могут определяться на основе принципа линейной деформируемости.

При небольших давлениях (по Н.А.Цытовичу до 400 кПа) выражение для относительной просадочности ε_{th} может быть представлено линейной функцией вида

$$\varepsilon_{th} = A_{th} + \delta_{th} p,$$

где A_{th} – коэффициент оттаивания; δ_{th} – коэффициент сжимаемости оттаивающего грунта, обусловленный уплотнением его давлением p .

Первый член формулы носит название «тепловой» осадки, а второй член – «грузовой», что отвечает природе деформаций.

При исследовании промерзающих и оттаивающих грунтов в качестве основания совершенно необходимой будет разработка моделей протекающих в грунтах процессов и их математическое описание. Это позволит выполнить расчетную оценку системы «оттаивающее основание – сооружение» в течение всего срока существования объекта, что даст возможность правильно его спроектировать.

Теплофизические и деформационные задачи, в которых необходимо рассматривать неоднородные основания, включающие слои теплоизоляции переменной толщины, учитывающие односторонний нагрев или охлаждение объекта, фазовые превращения в спектре отрицательных температур и т.п. доступны для решения только с помощью численных методов. Такие методы привели к разработке высокоэффективных программ, способных выполнять расчет температурных полей и деформаций в основании.

Естественно, подобные программы являются коммерческими, что оправдывается большой сложностью и длительностью их создания. При этом наибольшую ценность имеют программы, способные, помимо температурных, решать и задачи совместного расчета системы «основание – сооружение». Это позволяет программа «Termoground» [4], которая является составной частью программного комплекса «FEM models», разработанного в компании «Геореконструкция».

Список использованных источников

1. *Borisova A.S., Kudryavtsev S.A.* The research of the freezing and thawing process of the foundations with the use of season and cold-producing devices. MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03040.
2. *Kudryavtsev S.A., Kazharsky A.V.A.V., Goncharova E.D., Kotenko Z.I., Grigoriev D.O.* Embankment on permafrost eastern polygon of Baikal-Amur mainline. Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017). Procedia Engineering. 2017. С. 774-782.
3. *Berestyanyy U.B., Kudryavtsev S.A., Goncharova E.D.* Engineering and construction of geotechnical structures with geotechnical materials in coastal Arctic zone of Russia. Proceedings of the ISOPE Ocean Mining Symposium. 2013. № 2013. С. 562.
4. *Кудрявцев С.А.* Расчет процесса промерзания и оттаивания по программе «Termoground» Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2004. № 4. С. 83.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЯХ

Кузнецов А.В.¹, Белаши Т.А.²

¹ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», старший преподаватель кафедры Строительные конструкции, здания и сооружения, Россия, akuznetsov@pgups.ru

²АО «Научно-исследовательский центр «Строительство», профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», Россия, belashta@mail.ru

Ключевые слова: напряжённо-деформированное состояние, железобетонные монолитные перекрытия, численные методы расчета, температурно-климатические воздействия

NUMERICAL STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF NODAL JOINTS IN MONOLITHIC BUILDINGS

Kuznetsov A.V.¹, Belash T.A.²

¹Federal State Budget Educational Institution for Higher Education «Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University», senior lecturer of the department of building structures, buildings and structures, Russia, akuznetsov@pgups.ru

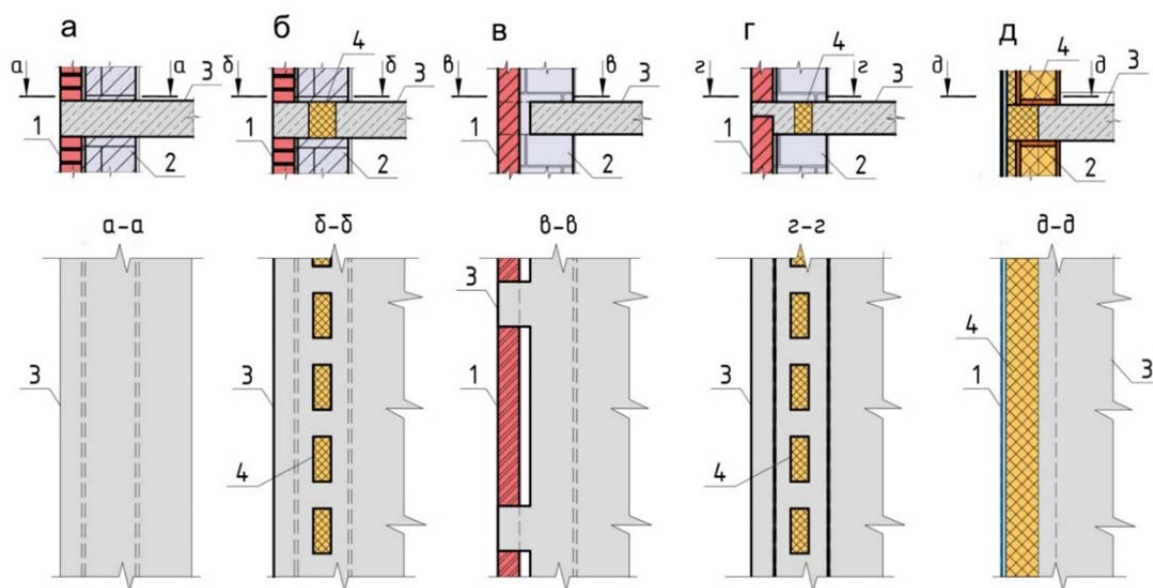
²JSC Research Center of Construction, professor of the department "Building structures, structures and materials", Russia, belashta@mail.ru

Key words: reinforced concrete monolithic floors, numerical calculation methods, temperature and climatic effects

В условиях городской агломерации сектор гражданского строительства России преимущественно представлен монолитным домостроением [1]. Исследования показали, что для зданий, выполненных по монолитной конструктивной системе характерны различные варианты устройств узлов сопряжений дисков перекрытий с наружными стеновыми конструкциями (см. рис. 1) [2]. В практике строительства наибольшее распространение получили конструктивные решения, выполненные по типу-2.

Для рассматриваемых типов узловых соединений характерно устройство перфорации в консольной части плиты, заполняемое термовкладышами. Проводимые натурные исследования таких конструктивных решений выявили низкие эксплуатационные качества, что выражается в том числе ошибками в проектной документации и на стадии возведения зданий, теплотехническими дефектами и повреждениями в виде развития трещин, деструкции материала в местах сопряжения узловых соединений дисков перекрытий с наружными стеновыми конструкциями [3]. Совокупность влияния этих факторов зачастую приводит к аварийным ситуациям, а впоследствии к значительным технико-экономическим затратам, связанных с восстановлением таких зданий.

Моделирование температурно-климатических воздействий на напряжённо-деформируемое состояние фрагмента диска перекрытия с перфорацией подтвердило опасность применения существующих типов конструктивных решений. Определено, что наиболее уязвимым местом в перфорированных плитах являются шпонки, т.к. они находятся в зоне влияния циклических температур. Установлено, что наибольшая концентрация напряжений в таких плитах возникает при шаге перфорации $a/b=500/100$.



1-наружный (лицевой) слой; 2- внутренний слой; 3- диск перекрытия; 4- теплоизоляция (термовкладыши)
 а – перекрытие без утеплителя (тип-1); б– перекрытие с перфорацией (тип-2); в– перекрытие с консольными
 выпусками (тип-3); г– перекрытия с подрезкой в виде «зуба» (тип-4); д– перекрытие с внешним
 теплоизоляционным слоем (тип-5)

Рисунок 1 – Типология узлов сопряжения дисков перекрытий со стеной

В целях повышения теплотехнических показателей, обеспечения прочности и устойчивости узлов сопряжений дисков перекрытий со стеной рассматривается система конструктивных решений, на которые получены патенты на полезные модели. Предлагается применение усовершенствованных и новых типов конструктивных решений, например [4,5], реализующие принципы пассивной и активной теплозащиты зданий. Эти предложения позволяют решить принципиальные вопросы, связанные с повышением эксплуатационных качеств гражданских зданий.

Численные исследования, проводимые в программном комплексе ANSYS подтвердили эффективность применяемых решений, защищённых патентами на полезную модель, направленных на повышение характеристик теплозащитной оболочки здания, обеспечение требуемых санитарно-гигиенических условий, обеспечение механической безопасности узловых соединений в процессе эксплуатации зданий.

Предлагаемые конструктивные решения [4,5] могут быть широко использованы в строительной практике, как на стадии проектирования новых зданий, возводимых по монолитной технологии, так и в случае их модернизации, включённых в региональные программы реновации зданий.

Разработаны практические рекомендации по их применению и обоснованы принципы использования предлагаемых конструктивных решений с целью повышения общей конфигурации теплозащитной оболочки здания. Сформулированы перспективы дальнейшего развития данной темы, учитывающие совершенствование методов технического состояния узлов сопряжений дисков перекрытия со стенами, включая балконы (лоджии), с целью предотвращения возможных случаев прогрессирующего обрушения с учётом температурно-климатических воздействий.

Список использованных источников

1. *Шембаков, В.А.* Технология сборно-монолитного домостроения СМК в массовом строительстве России и стран СНГ. Technology of Precast and Cast-in-Situ Housing Construction SMK in Mass Construction of Russia and Country-Members of Commonwealth of Independent States (CIS)//Жилищное строительство. – М.: 2013.– № 3. –с.26-29.
2. *Кузнецов А.В.* Узлы сопряжения диска перекрытия с ограждающими стеновыми конструкциями в монолитном домостроении: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения / Кузнецов Анатолий Всеволодович; [Петерб. гос. ун-т путей сообщения Импер. Александра I]. - Санкт-Петербург, 2022. - 23 с.
3. *Kuznetsov, A. V.* Temperature stresses in the perforated overlap disc / A. V. Kuznetsov, S. S. Zimin // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2022. – No. 3(101). – P. 10103. – DOI 10.4123.
4. Патент на полезную модель № 113754 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. устройство для утепления наружной стены здания : № 2011142662/03 : заявл. 21.10.2011 : опубл. 27.02.2012 / *А. В. Кузнецов, Т. А. Белаиш* ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Петербургский государственный университет путей сообщения".
5. Патент на полезную модель № 199001 U1 Российская Федерация, МПК E04B 1/78. Устройство для утепления наружной стены здания : № 2020111623: заявл. 19.03.2020 : опубл. 06.08.2020 / *А. В. Кузнецов, М. В. Калушин, А. М. Демин*; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА С РАЗНЫМИ МАССАМИ ПО РАЗНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ – НОВЫЕ КОНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Лалин В.В.^{1,2}, Нго Х.Х.³

¹ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», д.т.н., профессор Высшей школы Промышленно-гражданского и дорожного строительства, Россия, vllalin@yandex.ru

² ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов", д.т.н., профессор Департамента строительства, Россия, vllalin@yandex.ru

³ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», аспирант Высшей школы Промышленно-гражданского и дорожного строительства, Россия, hieupolytech1993@gmail.com

Ключевые слова: стержневые системы, численные методы расчета, конечные элементы, тензор масс, обобщенная точка Коссера

MATERIAL POINT WITH DIFFERENT MASSES IN DIFFERENT DIRECTIONS – NEW FINITE ELEMENTS FOR BEAM SYSTEMS DYNAMICS

Lalin V.V.^{1,2}, Ngo H.H.³

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Graduate School of Civil and Road Construction, Russia, vllalin@yandex.ru

² Peoples' Friendship University of Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor of Civil Engineering Department, Russia, vllalin@yandex.ru

³ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Postgraduate Student of the Graduate School of Civil and Road Construction, Russia, hieupolytech1993@gmail.com

Key words: beam systems, numerical calculation methods, finite elements, mass tensor, integrated Cosseratpoint

В строительной механике при построении математических моделей тонкостенных элементов строительных конструкций – стержней, пластин, оболочек – широко используется модель тела-точки (body-point): материальной точки, обладающей массой и тензором инерции [1]. В работе [2] аналогичная модель для тела конечных размеров, получившая название – точка Коссера (Cosseratpoint), строится и используется для построения численных алгоритмов решения различных задач строительной механики.

В настоящем докладе строится новая модель обобщенного тела-точки, обладающей тензором инерции и тензором масс, причем тензор масс, как и тензор инерции, является симметричным положительно-определенным тензором. Эту модель естественно назвать «обобщенной точкой Коссера». В главных осях инерции тензор масс становится диагональным, но с неравными друг другу главными массами. Это приводит к тому, что при движении по разным направлениям обобщенная точка Коссера будет иметь разные массы.

В качестве одного из возможных приложений предложенной модели в настоящем докладе строятся новые конечные элементы для задач динамики стержневых систем. Инерционные свойства этих конечных элементов сосредоточены в узлах, но каждый узел содержит не обычную материальную точку, а – обобщенную точку

Коссера. Тензор масс обобщенной точки Коссера строится так, чтобы собственные частоты нового конечного элемента совпадали с собственными частотами стандартного конечного элемента с согласованной матрицей масс. В результате удается построить конечный элемент с диагональной матрицей масс, который по динамическим характеристикам аналогичен стандартному конечному элементу с согласованной (и значит – полностью заполненной) матрицей масс.

Уравнения движения нового конечного элемента могут быть записаны в двух формах:

- 1) с помощью матриц жесткости и масс и
- 2) с помощью матрицы податливости и обратной матрицы масс. Это приводит к возможности явного построения алгоритмов решения задач динамики стержневых систем в двух формах: в виде метода перемещений (с новыми матрицами жесткости и масс) и в виде метода сил, в котором неизвестными, относительно которых формируется система уравнений, являются усилия.

Приводятся схемы соответствующих алгоритмов и примеры определения собственных частот и форм колебаний и решения задач динамики для стержневых систем.

Список использованных источников

1. *Wallerstein D.V.* A variational approach to structural analysis. New York: John Wiley @ Sons, 2002. 420 p.
2. *Rubin M.B.* Cosserat theories: shells, rods and points. Berlin: Springer Science & BusinessMedia, vol 79, 2000. 312 p.

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ
НЕКОТОРЫХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ УПРУГИХ СИСТЕМ.
ЧАСТЬ 1: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА**

Ляхович Л.С.¹, Акимов П.А.², Мецеулов Н.В.³

¹ *ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры строительной механики, Россия, lsl@tsuab.ru*

² *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, pavel.akimov@gmail.com*

³ *ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., директор Научно-образовательного центра «Компьютерное моделирование строительных конструкций и систем», Россия, ckm.tsuab@mail.ru*

Ключевые слова: частота собственных колебаний, форма собственных колебаний, обобщённая прицельная дополнительная связь, коэффициенты жесткости, теоретические основы

**ABOUT THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL SCHEMES
OF SOME ADDITIONAL CONSTRAINTS FOR ELASTIC SYSTEMS.
PART 1: THEORETICAL FOUNDATION OF THE APPROACH**

Lyakhovich L.S.¹, Akimov P.A.¹, Mescheulov N.V.³

¹ *Tomsk State University of Architecture and Building, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Structural Mechanics, Russia, lsl@tsuab.ru*

² *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Sciences, Russia, pavel.akimov@gmail.com*

³ *Tomsk State University of Architecture and Building, Candidate of Technical Sciences, Director of Research and Educational Center "Computer Modelling of Building Structures and Systems", Russia, ckm.tsuab@mail.ru*

Key words: natural oscillation frequency, natural mode shape, generalized target additional constraint, stiffness coefficients, theoretical foundations

Для ряда упругих систем с конечным числом степеней свободы масс, у которых направления движения масс параллельны и лежат в одной плоскости (в частности, стержни), разработаны методы создания дополнительных связей, введение каждой из которых прицельно увеличивает значение лишь одной собственной частоты и не изменяет ни одну из форм собственных колебаний. Метод формирования матрицы дополнительных коэффициентов жесткости, характеризующих в эту прицельную связь, может быть применен и для решения аналогичной задачи применительно к упругим системам с конечным числом степеней свободы масс, у которых направления движения масс параллельны, но не лежат в одной плоскости (в частности, пластины). Для этих систем сформулированы только требования к расчётным схемам дополнительных прицельных связей. Предлагается подход, позволяющий создавать расчётные схемы дополнительных прицельных связей и для таких систем. Рассмотрен вариант расчётной схемы связи, представленный стержневой системой с одной степенью активности. Выявлены особые свойства этих связей. При формировании расчётной схемы выполняется минимизация расхода материала на создание связи, учитываются конструктивные ограничения. Описана модификация расчётной схемы связи, когда при её формировании появляются стержни, «проходящие» сквозь исходную систему [1].

Список использованных источников

1. *Ляхович Л.С., Акимов П.А.* О формировании расчетных схем некоторых дополнительных связей для упругих систем. Часть 1. Теоретические основы подхода. Промышленное и гражданское строительство, №9, 2022, с. 4-10. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.09.04-10>.

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ
НЕКОТОРЫХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ УПРУГИХ СИСТЕМ.
ЧАСТЬ 2: НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА**

Ляхович Л.С.¹, Акимов П.А.², Мещеулов Н.В.³

¹ *ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры строительной механики, Россия, lsl@tsuab.ru*

² *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, профессор, д.т.н., профессор кафедры информатики и прикладной математики, Россия, pavel.akimov@gmail.com*

³ *ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., директор Научно-образовательного центра «Компьютерное моделирование строительных конструкций и систем», Россия, ckm.tsuab@mail.ru*

Ключевые слова: частота собственных колебаний, форма собственных колебаний, обобщённая прицельная дополнительная связь, коэффициенты жесткости, примеры расчета

**ABOUT THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL SCHEMES
OF SOME ADDITIONAL CONSTRAINTS FOR ELASTIC SYSTEMS.
PART 2: SEVERAL SAMPLES OF ANALYSIS**

Lyakhovich L.S.¹, Akimov P.A.¹, Mescheulov N.V.³

¹ *Tomsk State University of Architecture and Building, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Structural Mechanics, Russia, lsl@tsuab.ru*

² *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Full Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Sciences, Russia, pavel.akimov@gmail.com*

³ *Tomsk State University of Architecture and Building, Candidate of Technical Sciences, Director of Research and Educational Center "Computer Modelling of Building Structures and Systems", Russia, ckm.tsuab@mail.ru*

Key words: natural oscillation frequency, natural mode shape, generalized target additional constraint, stiffness coefficients, samples of analysis

В настоящей статье на примерах рассматривается формирование расчетных схем дополнительных связей, прицельно регулирующих спектр частот собственных колебаний упругих систем с конечным числом степеней свободы масс, у которых направления движения параллельны, но не лежат в одной плоскости [1, 2]. Выявлены некоторые особые свойства таких прицельных связей [3]. При формировании расчётной схемы прицельной связи выполняется минимизация расхода материала на её создание, учитываются некоторые конструктивные ограничения. Особое внимание уделено модификации прицельных связей, когда при их формировании появляется необходимость сдвига расчётной схемы.

Список использованных источников

1. *Ляхович Л.С., Акимов П.А.* О формировании расчетных схем некоторых дополнительных связей для упругих систем. Часть 1. Теоретические основы подхода. Промышленное и гражданское строительство, №9, 2022, с. 4-10. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.09.04-10>.

2. *Ляхович Л.С., Акимов П.А.* О формировании расчетных схем некоторых дополнительных связей для упругих систем. Часть 2. Примеры расчета. Промышленное и гражданское строительство, №9, 2022, с. 11-19. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.09.11-19>.

3. *Ляхович Л. С.* Особые свойства оптимальных систем и основные направления их реализации в методах расчета сооружений. Томск: Издательство ТГАСУ, 2009. 372 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ

Мануйлов Г.А.¹, Косицын С.Б.², Бегичев М.М.³

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», к.т.н., доцент, доцент кафедры
«Строительная механика», Россия, manuilov.gaick@yandex.ru

² ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», советник РААСН, д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой «Теоретическая механика», Россия, kositsyn-s@mail.ru

³ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», к.т.н., доцент, доцент кафедры
«Теоретическая механика», Россия, noxonius@mail.ru

Ключевые слова: потеря устойчивости, начальные несовершенства, цилиндрическая панель, цилиндрическая оболочка, краевой эффект.

ON THE STABILITY OF CYLINDRICAL SHELLS WITH INITIAL IMPERFECTIONS

G.A. Manuylov¹, S.B. Kositsyn², M.M. Begichev³

¹ Russian University of Transport, Doctor of Technical Sciences, Department of Structural Mechanics,
Russia, manuilov.gaick@yandex.ru

² Russian University of Transport, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Theoretical
Mechanics, Russia, kositsyn-s@mail.ru

³ Russian University of Transport, Doctor of Technical Sciences, Department of Theoretical Mechanics,
Russia, noxonius@mail.ru

Key words: loss of stability, initial imperfections, cylindrical panel, cylindrical shell, edge effect.

В работе приведены результаты исследования устойчивости цилиндрических панелей, сжатых распределенной нагрузкой с учетом влияния начальных геометрических несовершенств, задававшихся в виде вмятин различного размера, направления («внутри» или «наружу») и глубины на поверхности оболочек. Приведено сравнение полученных авторами результатов с результатами, приведенными А.С. Вольмиром в своей монографии. Кривые равновесных состояний, полученные авторами, похожи по характеру на кривые А.С. Вольмира, но только для случаев, когда вмятина задавалась «во внутрь», к линии центров кривизны. Если же вмятина задается «наружу», то развития равновесий с прогибами «наружу» не наблюдалось. Построены графики чувствительности критических нагрузок сжатия (для рассматриваемых цилиндрических панелей) к описанным выше начальным несовершенствам поверхности оболочек. Вмятины «наружу» (от линии центров кривизны) дают значительно меньшее падение критической нагрузки при одной и той же норме несовершенства (максимальной глубине).

Исследование устойчивости продольно сжатых полных круговых цилиндрических оболочек с начальными несовершенствами в виде вмятин (аналогичных описанным выше) дало схожие по характеру результаты, как для развития докритических и закритических перемещений, так и для кривых чувствительности критических нагрузок к влиянию начальных несовершенств.

Список использованных источников

1. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М.: Гостехиздат, 1956. 419 с.
2. Томпсон Дж.М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: Мир, 1985. 254 с.
3. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. М.: Физматгиз, 1955 г. 567 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАБЛИЧНЫХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ РЕДАКТОРОВ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПО КУРСУ «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА»

Нестеров И.В.¹

¹ ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования», Россия, saprforever@gmail.com

Ключевые слова: численные методы, учебный процесс, табличные редакторы, математические редакторы, вычислительная механика

SUPPORT OF THE EDUCATION PROCESS FOR THE COURSE «COMPUTATION MECHANICS» USING TABULAR AND MATHEMATICAL EDITORS

Nesterov I.V.¹

¹ Russian University of Transport (MIIT), associate professor, head of Department «Computer Aided Design», Russia, saprforever@gmail.com

Key words: numerical methods, tabular editors, mathematical editors, educational process, computational mechanics

В настоящее время в связи с интенсивным развитием вычислительной техники широкое распространение получили численные методы решения задач строительной механики. Наиболее популярным и универсальным среди этих методов является метод конечных элементов (МКЭ). Математический аппарат этого метода хорошо развит и апробирован. Удобная численная реализация МКЭ позволяет на его алгоритмической базе создавать программные комплексы для решения широкого круга задач механики деформированного твёрдого тела. На рынке программного обеспечения достаточно много программ, реализующих МКЭ для прочностного анализа инженерных сооружений. Среди них хорошо зарекомендовали себя такие универсальные системы прочностного анализа, как ЛИРА, MOHOMAX, SCAD, NASTRAN, ANSYS и др. Эти программы оснащены удобным пользовательским интерфейсом, обширной библиотекой конечных элементов и дополнительными возможностями для решения прикладных инженерных задач. К сожалению, широкая доступность и простота использования этого программного обеспечения вызывает у неопытного пользователя иллюзию полного доверия к результатам конечно-элементного расчёта, а поверхностное знание математических основ МКЭ может привести к грубым ошибкам при формировании расчётной схемы конструкции и интерпретации результатов расчёта. Поэтому в курсе «Строительная механика» для инженеров строительных специальностей предусмотрен раздел, посвящённый изучению теории и практики МКЭ. На кафедре «Системы автоматизированного проектирования» Российского университета транспорта (МИИТ) в рамках курса «Вычислительная механика» разработана методика, позволяющая студентам ознакомиться с математическими моделями МКЭ и алгоритмами его численной реализации на ЭВМ. Особенностью данного курса является то, что студенты знакомятся с МКЭ не на уровне пользователей готовых программ, а

сами становятся разработчиками несложного программного комплекса, реализующего МКЭ для решения простых задач строительной механики и теории упругости. В ходе решения учебных задач студенты полностью проходят все вычислительные этапы МКЭ, что позволит им впоследствии стать квалифицированными пользователями промышленных систем прочностного анализа и разработчиками собственного программного обеспечения в этой области. В качестве программной среды для решения задач строительной механики по МКЭ используется табличный редактор Excel, знакомый студентам из курса информатики первого года обучения, а для продвинутого курса хорошо зарекомендовал себя символьный математический редактор Maple.

Список использованных источников

1. Бате К.-Ю., Вилсон Э.Л. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М., Стройиздат, 1982.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
3. Дарков А.В., Шапошников Н.Н., Строительная механика: Учеб. для строи. спец вузов. - М.: Высш. Шк., 1986. – 607 с.
4. Ларсен Рональд У. Инженерные расчеты в Excel / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 544 с.
5. Вишневецкий В.Ю., Старченко И.Б., Ледаева В.С. Работа с Microsoft Office 2016: Excel. Методическое руководство к выполнению лабораторных работ по курсу «Информационные технологии». – Ростов–на–Дону: Изд–во ЮФУ, 2016. – 36 с.
6. Дьяконов В.П. Математическая система MAPLEV R3/R4/R5. –М.: Солон, 1998. – 400 с.

СООТНОШЕНИЯ ВЗАИМНОСТИ В ДИНАМИКЕ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМ

Потапов А.Н.¹

¹ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», член-корр. РААСН, д.т.н., профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Россия, *potapov.alni@gmail.com*

Ключевые слова: интеграл Дюамеля, диссипативная система, реакция, перемещение, скорость, ускорение

RECIPROCITY RELATIONS IN THE DYNAMICS OF DISSIPATIVE SYSTEMS

Potapov A.N.¹

¹South Ural State University, Corresponding Member RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, Russia, *potapov.alni@gmail.com*

Keywords: Duhamel integral, dissipative system, reaction, displacement, velocity, acceleration

Основные положения по вопросам взаимности в упругих системах были сформулированы в трудах Максвелла, Бетти, Рэлея [1] и других ученых. В работе [2] была дана чисто алгебраическая трактовка принципа взаимности, согласно которой взаимность рассматривалась как свойство, характерное для всякой системы n линейных уравнений с n неизвестными, обладающей симметричной структурой матрицы коэффициентов.

Теоремы взаимности находят применение в различных областях науки и техники, в частности при колебаниях грунтов, вызванных движением транспорта [3], в геофизике, сейсморазведке, динамике грунтов [4].

В работе изложен общий метод доказательства соотношений взаимности в произвольной упругой дискретной диссипативной системе (ДДС), включая непропорциональное демпфирование, основанный на использовании новых свойств интеграла Дюамеля [5] и алгебраической теоремы П.Л. Пастернака [2]. Показана симметричная структура уравнений динамической реакции для векторов перемещений, скоростей и ускорений. Расширена трактовка теорем взаимности, сформулированы и доказаны законы взаимности в динамике диссипативных систем, выходящие за рамки принципа Бетти. Установлена взаимность произведения скоростей / ускорений масс и узловых сил в двух различных состояниях системы.

Дифференциальное уравнение движения ДДС, характеристическое уравнение для однородного уравнения и решение характеристического уравнения имеют вид:

$$M\ddot{Y}(t) + C\dot{Y}(t) + KY(t) = P(t), \quad (1)$$

$$MS^2 + CS + K = 0, \quad (2)$$

$$S = M^{-1}(-C + V + U)/2 \in M_n(C), \quad (3)$$

где $M = \text{diag}(m_1, \dots, m_n)$, C, K – симметрические матрицы масс, демпфирования и

жесткости; $Y(t), P(t)$ – векторы перемещений и внешней нагрузки; $S \in M_n(\mathbb{C})$ – искомая матрица динамических характеристик ДДС; $V = -V^T, U = U^T; n$ – число степеней свободы. Переход от (1) к (2) осуществляется через фундаментальную матрицу $\Phi(t) = e^{St}$.

Для вектора нагрузок $P(t) = \xi(t)P_0$, где $\xi(t)$ – произвольная скалярная функция времени, P_0 – вектор амплитуд, уравнение реакции системы (интеграл Дюамеля) имеет вид:

$$Y(t) = 2\text{Re} \{I(t)\}P_0, I(t) = \left\{ \int_{t_0}^t \Phi(t-\tau)U^{-1}\xi(\tau) d\tau \right\}. \quad (4)$$

Интеграл в (4) обладает свойством симметрии $S^k I(t) = (S^k I(t))^T (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$.

Дифференцируя (4) и учитывая симметрию матриц $S^k I(t)$ при $k = 0, 1, 2$, получаем векторы перемещений, скоростей и ускорений

$$Y(t) = D(t)P(t), \dot{Y}(t) = V(t)P(t), \ddot{Y}(t) = A(t)P(t), \quad (5)$$

Где соотношения

$$\left. \begin{aligned} D(t) = D(t)^T = 2\text{Re} \{I(t)\} \xi(t)^{-1}, \quad V(t) = V(t)^T = 2\text{Re} \{SI(t)\} \xi(t)^{-1}, \\ A(t) = A(t)^T = 2\text{Re} \{S^2 I(t)\} \xi(t)^{-1} + M^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Выражают частные теоремы взаимности: теорему Максвелла: $D(t) = D(t)^T$, теоремы скоростей $V(t) = V(t)^T$ и ускорений $A(t) = A(t)^T$. Из (5), с учетом [2], вытекают общие теоремы взаимности: Бетти (7), о 1-й и 2-й производной возможной работы (8):

$$Y(t)^T P(t)' = Y(t)'^T P(t), \quad (7)$$

$$\dot{Y}(t)^T P(t)' = \dot{Y}(t)'^T P(t), \quad \ddot{Y}(t)^T P(t)' = \ddot{Y}(t)'^T P(t). \quad (8)$$

Штрихами обозначены группы перемещений, скоростей ит.д.в новом состоянии.

Соотношения (8) выражают законы взаимности в динамике диссипативных систем, выходящие за рамки принципа Бетти. На рис. 1 показана взаимность 2-й производной возможной работы в различных состояниях системы на примере колебаний балки с семью степенями свободы.

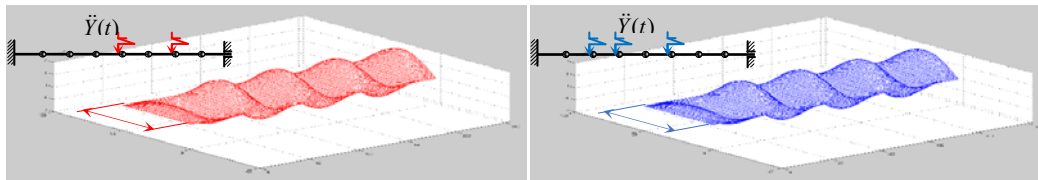


Рисунок 1 – Поверхности 2-й производной возможной работы при действии синусоидальных импульсов длиной 0.1 с

Список использованных источников

1. Стрэтт Дж. В. (Лорд Рэлей). Теория звука. М.; Л.: Гостехиздат, 1940, Т.1. 500 с.
2. Pasternak P.L. Berechnungvielfachstatischunbestimmterbiegegesteuerter Stab- und Flächentragwerke. I. Teil/Dreigliedrige Systeme: Grundlagen und Anwendungen. Zürich: Leemann, 1927. 43 p.
3. Lombaert G., Degrande G. Experimental validation of a numerical prediction model for free field traffic induced vibrations by in situ experiments / Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2001, Vol. 21(6). P. 485-497. doi.org/10.1016/S0267-7261(01)00017-3
4. Курбацкий Е.Н. Использование теоремы взаимности для оценки уровней вибраций поверхности упругого полупространства от точечного источника, расположенного внутри полупространства / Вестник Московского ин-та инженеров тр-та. 2005, Вып. 13. С. 32-37.
5. Потапов А.Н. Соотношения взаимности в диссипативных системах / Известия вузов. Строительство. Новосибирск, 2001, № 11. С. 22-28.

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РАМЫ НА ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Потапов А.Н.¹, Зямбаев Н.А.²

¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», член-корреспондент. РААСН, д.т.н., профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Россия, potapov.alni@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», старший преподаватель кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Россия, ziambaevna@susu.ru

Ключевые слова: рама, однопролетная балка, упругопластические деформации, пластическая зона, предел текучести, напряжение

ELASTIC-PLASTIC CALCULATION OF A FRAME FOR THE ACTION OF HORIZONTAL FORCES BY THE DISPLACEMENT METHOD

Potapov A.N.¹, Zyambaev N.A.²

¹South Ural State University, Corresponding Member RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, Russia, potapov.alni@gmail.com

²South Ural State University, Senior Lecturer of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, Russia, ziambaevna@susu.ru

Key words: frame, single-span beam, elastoplastic deformations, plastic zone, yield point, stress

В последнее время появилось много работ, посвященных изучению напряженно-деформированного состояния (НДС) стержневых каркасов с учетом пластических зон (ПЗ), возникающих в концевых частях ригелей и колонн. Эта проблема особенно актуальна для сейсмических районов, где здания подвергаются значительным динамическим воздействиям, приводящим к появлению пластических деформаций в несущих элементах каркаса [1–4]. Ввиду сложности моделирования такой задачи, подавляющее большинство исследований носят экспериментальный характер.

В статье предложен подход к упругопластическому расчету статически неопределимых рам с линейным упрочнением материала на основе метода перемещений (МП) при действии горизонтальных сил [5], моделирующих сейсмическое воздействие.

Реализация подхода требует решения ряда проблем теоретического характера:

- разработки модели НДС стержня в зоне упругопластических деформаций на основе введения упрощающих предпосылок;
- выполнения расчетов стандартных элементов (статически неопределимых балок) на единичные воздействия с учетом наличия ПЗ, упругопластической зоны (УПЗ), зоны усиления и построения балочных пластических функций (БПФ);
- построения расчетной схемы нелинейного анализа статически неопределимых рам МП с использованием процедуры метода последовательных нагружений [6].

Область физически-нелинейных деформаций с пограничной пунктирной кривой, отделяющей упругие деформации от пластических, разбита на две зоны – УПЗ и ПЗ (см. фрагмент стержня на рис. 1). В УПЗ с пограничной параболической кривой при-

нят закон деформирования материала по теории идеально-упругопластического тела с переменным модулем упругости E_x , величина которого изменяется по квадратичной зависимости и пропорциональна отношению упругого ядра сечения $2y$ к высоте h . В ПЗ с большим процентом волокон текучести, деформация всех волокон происходит за пределом упругости с учетом упрочнения материала с постоянным модулем E_0 .

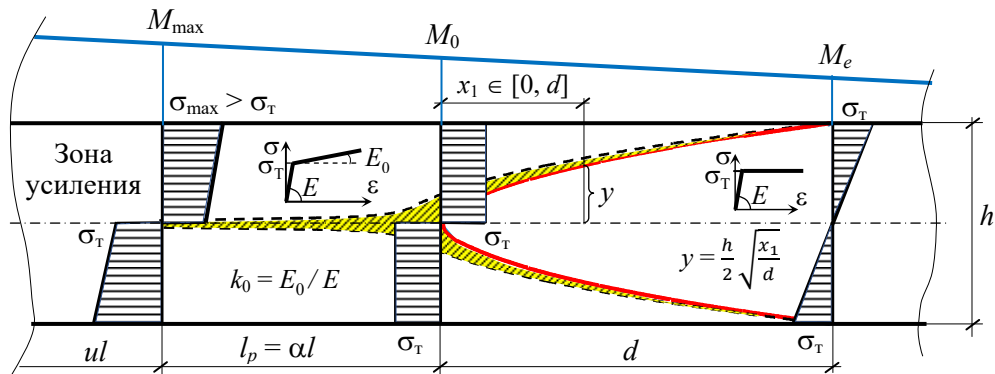


Рис. 1. Преобразование нелинейного участка деформирования стержня в две самостоятельные зоны: УПЗ длиной d и ПЗ длиной l_p

Кроме того, с целью преобразования ПЗ в зону равной несущей способности закон для момента инерции сечения в ПЗ подчиняется линейной функции, согласованной с характером эпюры моментов. Введенные зависимости для модуля упругости в УПЗ и момента инерции в ПЗ позволили в аналитическом виде выполнить расчеты стандартных элементов на единичные воздействия и получить БПФ $f_j(\alpha)$, учитывающие поправки к линейному расчету ($\alpha = l_p/l$ – относительная длина ПЗ, l – длина балки).

В расчетной схеме нелинейного анализа использована пошаговая процедура метода последовательных нагружений, позволяющая в шаговом процессе разбить сложную задачу на последовательность линейных задач [6]. На каждой ступени проводится упругий анализ для системы канонических уравнений МП, записанных в приращениях с учетом фиксированных значений БПФ. С ростом длины ПЗ l_{pi} от одной ступени к другой проводится корректировка поправочных функций. По завершению процесса нагружений для заданной длины ПЗ определяются эпюра предельных моментов M_p и предельная нагрузка F_p . Приведен пример расчета стальной двухэтажной рамы.

Список использованных источников

1. Heng P., Alhasawi A., Battini J.-M., Hjiqj M. Co-rotating rigid beam with generalized plastic hinges for the nonlinear dynamic analysis of planar framed structures subjected to impact loading // Finite elements in analysis and design. 2019. Vol. 157. Pp. 38–49. doi.org/10.1016/j.finel.2018.11.003
2. Tidemann L., Krenk S. A robust frame element with cyclic plasticity and local joint effects // Journal of engineering structures. 2018. Vol. 168. Pp. 191–204. doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.041
3. Deng K., Zheng D., Yang C., Xu T. Experimental and analytical study of fully prefabricated damage-tolerant beam to column connection for earthquake-resilient frame // ASCE Journal of structural engineering. 2019. Vol. 145. № 3. 04018264(10). doi.org/10.1061 / (ASCE)ST.1943-541X.0002270
4. Megalooikonomou K.G., Tastani S.P., Pantazopoulou S.J. Effect of yield penetration on column plastic hinge length // Journal of engineering structures. 2018. Vol. 156. Pp. 161–174. doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.11.003
5. Потапов А.Н., Штурмин С.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния стержня при упругопластическом изгибе // Эксперт: теория и практика, 2022. № 4 (19). С. 55-59.
6. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 480 с.

ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СИЛЬНО ДЕМПФИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Семенов В.А.¹

¹ООО «Техсофт», д.т.н., профессор, Россия, vas@tech-soft.ru

Ключевые слова: сейсмостойкость, демпфирование, нелинейность, линейно-спектральный анализ

RESPONSE SPECTRA METHOD AND HEAVILY DAMPED SYSTEMS

Semenov V.A.¹

¹TechsoftLtd, Professor, Russia, vas@tech-soft.ru

Key words: seismic resistance, damping, nonlinearity, response spectra method

В настоящей работе предложено обобщение линейно-спектрального метода расчета конструкций на сейсмические воздействия. Это обобщение существенно расширяет область применения линейно-спектральной методики [1] и позволяет использовать этот метод для расчета как нелинейных, так и сильно диссипативных систем. Побочным эффектом модификации стандартного линейно-спектрального метода является существенное повышение эффективности применения этого метода и для расчета линейных систем. Под нелинейными системами здесь понимаем конструкции для определения положения равновесия которых необходимо использовать нелинейный статический расчет. Под сильно демпфированными понимаем системы для которых модальные коэффициенты демпфирования превышают 20%.

Предполагаем, что исходная конструкция находится под действием статических нагрузок в положении равновесия. Считаем, что к опорным узлам конструкции приложено кинематическое (сейсмическое) воздействие или к свободным узлам конструкции приложено динамическое (ветровое) воздействие. Для определения оценок максимальных перемещений и усилий в элементах конструкции будем использовать линейно-спектральный метод (ЛСМ). Напомним, что слово «линейно» в данном методе означает только лишь то, что рассматриваются малые колебания относительно статического положения равновесия конструкции для рассматриваемой расчетной ситуации. Слово «спектральный» означает лишь то, что вместо перемещений рассматривают оценки их максимальных значений в некотором интервале изменения времени, а также оценки максимальных значений усилий в сечениях элементов конструкции. Для получения оценок максимальных значений перемещений и усилий используются основные динамические характеристики конструкции – ее спектр (т.е. частоты и формы ее свободных колебаний). Обычно при расчетах определяются и используются частоты и формы недемпфированных колебаний. Однако, в современных конструкциях, уровень демпфирования может быть весьма высоким. В таких случаях необходимо использовать частоты и формы демпфированных свободных колебаний [2].

При расчете на сейсмические воздействия в рамках стандартного линейно-спектрального метода обычно определяют квазистатические нагрузки для каждой из учитываемых форм свободных колебаний системы относительно положения равно-

веса и расчетной ориентации воздействия. Таким образом, если учитываем N форм свободных колебаний системы, то для одной ориентации воздействия получаем N дополнительных статических нагружений. При работе с пространственной расчетной схемой, как правило, необходимо рассмотреть не менее Q ориентаций воздействия. Это означает, что для статического расчета появится $N*Q$ дополнительных нагружений. Время, требуемое для статического расчета, в таком случае существенно возрастает. Возрастает также требования к оперативной памяти процессора и наличию места на диске. Учитывая же, что на практике приходится многократно корректировать расчетную схему, после каждой корректировки уточнять ее динамические свойства и заново определять квазистатические нагрузки с удалением нагрузок соответствующих расчетной схеме до корректировки, а затем снова выполнять статический расчет, то эффективность работы еще более существенно падает. Поэтому для линейно-спектрального расчета предлагается использовать подход, основанный не на определении квазистатических нагрузок, а непосредственно на определении перемещений и усилий в элементах конструкции, соответствующих частотам и формам демпфированных свободных колебаний конструкции. Эти перемещения и усилия полностью соответствуют квазистатическим нагрузкам для линейных систем. При этом этап статического расчета для квазистатических нагрузок отсутствует, и соответственно, исчезают все трудности с ним связанные. Отсутствие квазистатических нагрузок и возможность использования непосредственно усилий в элементах конструкций позволяет применять этот подход для широкого круга сильно демпфированных и нелинейных систем.

Новый вариант линейно-спектральной методики, применим только в том случае, если для определения статического положения равновесия и определения спектра конструкции используются одинаковые матрицы жесткости. Стандартный квазистатический порядок определения усилий при расчете конструкций на динамические воздействия будем называть линейно-спектральным методом нагрузок (ЛСМН). Новый порядок определения усилий при расчете конструкций на динамические воздействия линейно-спектральным методом, предложенный в настоящей работе - линейно-спектральным методом перемещений (ЛСМП) [3]. ЛСМП без всяких модификаций применим и для расчета нелинейных систем.

Представленные методики и алгоритмы реализованы в программном комплексе СТАДИКОН программной системы ИНЖ-РУ, предназначенном для массового применения при строительном проектировании. Эффективность и точность предлагаемого подхода иллюстрируется на примерах расчета реальных конструкций.

Список использованных источников

1. *Тягин А.Г.* Некоторые соображения о нормах нового поколения. Часть II: определение усилий в линейно-спектральном методе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. №5. С.15-18.
2. *Семенов В.А., Лебедев В.Л., Солдатов А.Ю.* Об учете демпфирования при расчетах пространственных сооружений на сейсмические воздействия // Справочник. Инженерный журнал. М.: Спектр. 2013. № 5. С.12-20.
3. *Семенов В.А., Лебедев В.Л.* Линейно-спектральный метод расчета на сейсмические воздействия и нелинейные системы // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2020. № 3. С.33-38.

СОВРЕМЕННЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ НЕЛИНЕЙНОГО АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В ПК СТАДИКОН

Семенов В.А.¹, Семенов П.Ю.², Трубников С. А.³

¹ООО «Техсофт», д.т.н., профессор, Россия, vas@tech-soft.ru

²ООО «Техсофт», к.т.н., Россия, pyu@tech-soft.ru

³ООО «Техсофт», ведущий программист-математик, Россия, trs@tech-soft.ru

Ключевые слова: нелинейный анализ, динамическое воздействие, несущая поверхность, прямое интегрирование

MODERN STATIC AND DYNAMIC ALGORITHMS FOR NONLINEAR ANALYSIS OF STRUCTURES SUBJECT TO DYNAMIC INFLUENCES AND THEIR IMPLEMENTATION IN PC STADYCON

Semenov V.A.¹, Семенов П.Ю.², Trubnikov S.A.³

¹TechsoftLtd, Professor, Russia, vas@tech-soft.ru

²TechsoftLtd, Candidate of Technical Sciences, Russia, pyu@tech-soft.ru

³TechsoftLtd, Lead Mathematician, Russia, vas@tech-soft.ru

Key words: nonlinear analysis, dynamic load, load bearing capacity, direct integration

В последние годы весьма широкое распространение получили при проектировании несущих конструкций разнообразных зданий и сооружений расчеты на динамические воздействия с учетом разнообразных нелинейных эффектов. Это связано, как с появлением новых норм – например, в [1] одним из основных методов расчета на устойчивость от прогрессирующего обрушения является расчет на динамическое воздействие, соответствующее локальному разрушению. Так и с дополнительными требованиями к расчетам, появляющимися в новых редакциях уже существовавших ранее норм [2]. Так в [2] предписывается выполнять расчеты с применением акселерограмм и учитывать при этом нелинейный характер зависимости между величиной внешнего воздействия и деформациями/перемещениями. В [3] отмечается, что «Расчет производится с учетом значимых эффектов физической, геометрической и конструктивной нелинейностей при разрушении/обрушении отдельных частей конструкций». Там же указывается, что выполняется «Динамический расчет конструкции с удаленным элементом в нелинейной постановке методами прямого интегрирования уравнений динамики во времени в явной или неявной постановках со стандартными параметрами демпфирования». В [2] также явным образом сформулировано условие неразрушения: точка в пространстве усилий, соответствующая усилиям в элементе, полученным в результате расчета, должна находиться внутри области несущей способности элемента. Поэтому мы разработали и реализовали в ПК СТАДИКОН методику нелинейного анализа конструкций на основе использования системы вложенных предельных поверхностей элемента. Стандартной расчетной ситуацией является нахождение конструкции в положении статического равновесия и приложения к ней в некоторый момент времени динамической нагрузки, которая вы-

зывает ее колебания относительно положения равновесия. Это означает, что нелинейный анализ для такой расчетной ситуации невозможен без использования системы, как минимум, из трех таких предельных поверхностей. Одна из этих поверхностей определяется границами области несущей способности по 2-му предельному состоянию. Вторая область соответствует несущей способности по прочности для статических нагрузок и, наконец, третья область соответствует несущей способности по прочности для динамических нагрузок. Отметим, что поверхности несущей способности сами по себе строятся на основе нелинейных диаграмм зависимостей напряжение/деформация и содержат в себе нелинейности. Помимо предельных поверхностей, для анализа используются также конструктивные нелинейности в виде односторонних опор/упругих оснований/элементов и нелинейных шарниров с разнообразными нелинейными зависимостями. Отметим, что шарниры могут быть многомерными, т.е. учитывать взаимодействие различных внутренних силовых факторов. Геометрическая нелинейность теории 2-го порядка и нелинейные деформации с конечными перемещениями/вращениями и физическая нелинейность с различными нелинейными диаграммами зависимостей напряжение/деформация для различных слоев сечений конструкции и различные модели грунтов также представлены в нелинейном анализе. Одним из наиболее существенных моментов методики является определение зависимости динамических характеристик конструкции от уровня действующих на нее нагрузок. Динамические характеристики определяются для демпфированной конструкции. Учитывается демпфирование по материалу, краевым условиям, нагрузкам, массам, гистерезисное демпфирование в связях. Определяется уровень нагрузок, соответствующий вырождению частоты свободных колебаний конструкции. В зависимости от уровня нагрузок вычисляется спектр матрицы жесткости конструкции. Корректные значения динамических характеристик и спектра матрицы жесткости необходимы в том числе и для обоснованного назначения шага по времени в процедурах прямого интегрирования уравнений движения. Строятся амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики конструкции. Для построения амплитудно-частотных характеристик используется метод разложения по собственным функциям различных задач и методы прямого интегрирования во временной и частотной областях. Для построения фазово-частотных характеристик применяется метод прямого интегрирования в частотной области.

Приводятся примеры нелинейного анализа для расчетов реальных сооружений на динамические воздействия, выполненные при помощи ПК СТАДИКОН, и иллюстрирующие высокую эффективность разработанных алгоритмов. Приведено сопоставление с результатами, полученными прямым интегрированием динамических задач.

Список использованных источников

1. Свод правил 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Издание официальное. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018. 26 с.
2. Свод правил 14.13330.2018 «СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018. 117 с.
3. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Методическое пособие М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018. 158 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ОБРАТНОЙ КВАДРАТИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Семенов В.А.¹, Трубников С.А.²

¹ООО «Техсофт», д.т.н., профессор, Россия, vas@tech-soft.ru

²ООО «Техсофт», ведущий программист-математик, Россия, trs@tech-soft.ru

Ключевые слова: частичная обратная квадратичная задача на собственные значения, расчетный спектр конструкции, измеренный спектр конструкции, мониторинг конструкций

THE USE OF SOLUTIONS OF THE INVERSE QUADRATIC PROBLEM FOR UPDATING OF FINITE ELEMENT MODEL OF BUILDINGS AND STRUCTURES FROM MEASUREMENTS OF THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

Semenov V.A.¹, Trubnikov S.A.²

¹TechsoftLtd, Professor, Russia, vas@tech-soft.ru

²TechsoftLtd, Lead Mathematician, Russia, vas@tech-soft.ru

Key words: partial inverse quadratic eigenvalue problem, design spectrum of a structure, measured spectrum of a structure, monitoring of structures

В последнее время весьма активно проводится мониторинг несущих конструкций разнообразных зданий и сооружений. Одним из наиболее распространенных является динамический (сейсмометрический) метод инструментального мониторинга. Во многих работах отмечается, что такие системы должны функционировать на основе анализа конечно-элементного моделирования изучаемых конструкций. При этом конечно-элементные модели должны уточняться по текущим данным инструментальных наблюдений. В качестве основного критерия обычно используют соответствие расчетного и измеренного спектра собственных частот и форм во всем значимом диапазоне частот. К сожалению, в качестве расчетного спектра собственных частот и форм используют частоты и формы недемпфированных свободных колебаний конструкций. Измеренный же спектр частот всегда соответствует демпфированным свободным колебаниям конструкций. Поэтому, чем больше демпфирование в реальной конструкции, чем выше интенсивность статических нагрузок на нее или чем существеннее влияние основания на ее динамические характеристики, тем бессмысленнее результаты уточнения конечно-элементных моделей с использованием недемпфированного спектра частот. Поэтому мы реализовали для построения уточненных конечно-элементных моделей два алгоритма, основанных на использовании спектра частот и форм демпфированных свободных колебаний конструкции. Построение такого спектра называют прямой квадратичной задачей на собственные значения. Этот спектр представляет основные исходные данные для алгоритмов. Прямая квадратичная задача соответствует дифференциальному уравнению второго порядка (по времени) малых колебаний относительно статического положения равновесия и соответствующим начальным условиям [1]. Измеренный спектр является еще одной группой

исходных данных. Один алгоритм использует только измеренные частоты, а второй алгоритм, кроме измеренных частот также использует и измеренные формы свободных колебаний конструкции. В результате работы алгоритмов мы получаем уточненные симметричные матрицы масс, жесткости и демпфирования, для которых прямая квадратичная задача в качестве результата дает измеренный спектр частот и форм. Таким образом, реализованные нами алгоритмы основаны на решении прямых и обратных квадратичных задач на собственные значения. Уточненные матрицы жесткости и демпфирования должны удовлетворять еще некоторым условиям. Обычно в качестве такого условия используется минимум взвешенного отклонения уточненных матриц от исходных матриц в смысле нормы Фробениуса. Эти алгоритмы учитывают ряд особенностей, которые должны быть учтены при численной реализации построения решений обратной задачи на собственные значения [2]. Например, требуется обращение матрицы масс, которая может быть плохо обусловленной. Отметим, что существующие методы решения задач на назначение собственных значений предназначены только для малых и плотных матриц. Тогда размерности модели конечных элементов второго порядка, которые обычно очень большие, должны быть уменьшены, и этот процесс может породить неустойчивость из-за отсутствия управляемости и наличия “перетекания” неназначаемых собственных значений. Также собственные значения и собственные векторы, рассчитанные по модели первого порядка отличаются от собственных значений оригинальной модели. С учетом этих соображений, для численно эффективного решения, важно, чтобы задача была решена в квадратичной постановке, используя только небольшое количество собственных чисел и векторов, которые вычислимы или измеримы, и без каких-либо априорных снижений размерности модели. Численная реализация алгоритмов, также должна предусматривать оценки качества получаемого решения обратной квадратичной задачи. Для этого следует решить прямую задачу для модифицированного пучка матриц и проанализировать получающуюся систему собственных значений и векторов. Важной особенностью данных алгоритмов является то, что для их использования не требуется вычислять полный набор собственных значений и векторов исходной системы. Поэтому они могут быть применены для анализа достаточно больших систем.

Приводятся примеры их использования для реальных сооружений, выполненные при помощи ПК СТАДИКОН программной системы ИНЖ-РУ, и иллюстрирующие высокую эффективность алгоритмов. Первый алгоритм построения уточненных матриц жесткости и демпфирования использован для обработки результатов экспериментальных исследований поведения стальных опор линий электропередачи при кинематическом воздействии на опоры. Эффективность работы второго из реализованных алгоритмов проиллюстрирована на примере уточнения матрицы жесткости и матрицы демпфирования конструкции с динамическим гасителем колебаний.

Список использованных источников

1. *Клаф. Р., Пензиен Дж.* Динамика сооружений. М.: Стройиздат, 1979. 320 с.
2. *Семенов В.А., Трубников С.А.* Обратная задача на собственные значения для демпфированных конструкций и ее приложения для гашения колебаний конструкций// Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2020. № 3. С.43-48.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД РИТЦА И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ

Семенов В.А.¹, Трубников С. А.²

¹ООО «Техсофт», д.т.н., профессор, Россия, vas@tech-soft.ru

²ООО «Техсофт», ведущий программист-математик, Россия, trs@tech-soft.ru

Ключевые слова: метод Ритца, динамический расчет, прогрессирующее обрушение, базовая функция

MODIFIED RITZ METHOD FOR DYNAMIC ANALYSIS OF PROGRESSIVE COLLAPSE

Semenov V.A.¹, Trubnikov S.A.²

¹ *TechsoftLtd, Professor, Russia, vas@tech-soft.ru*

² *TechsoftLtd, Lead Mathematician, Russia, vas@tech-soft.ru*

Key words: Ritz method, dynamic analysis, progressive collapse, basic function

В последние годы весьма широкое распространение получили при проектировании несущих конструкций разнообразных зданий и сооружений расчеты, связанные с защитой от прогрессирующего обрушения. Обычно такие расчеты выполняются в соответствии с предписаниями, приведенными в [1, 2]. При этом в соответствии с [1] «В случае внезапного удаления элемента расчет на защиту от прогрессирующего обрушения выполняют динамическим или квазистатическим методом». В [2] отмечается, что «Расчет производится с учетом значимых эффектов физической, геометрической и конструктивной нелинейностей при разрушении/обрушении отдельных частей конструкций». Там же выделяется три этапа расчета в динамической постановке. На втором и третьем этапах, при переходе от первичной расчетной схемы к вторичной расчетной схеме, и выполняется «Динамический расчет конструкции с удаленным элементом в нелинейной постановке методами прямого интегрирования уравнений динамики во времени в явной или неявной постановках со стандартными параметрами демпфирования». Принципиальным здесь является то, что такие расчеты предписывается выполнять только методами прямого интегрирования во времени. Хорошо известно, что решение нелинейных динамических задач методами прямого интегрирования требует весьма значительных ресурсов, как временных, так и емкостных. Поэтому мы построили и реализовали модификацию метода Ритца, позволяющую получать решение динамических задач для вторичной расчетной схемы [1] с точностью, сопоставимой с точностью прямых методов. При этом требуемые временные и емкостные ресурсы на порядки меньше, чем для прямого интегрирования. Напомним, что метод Ритца заключается в поиске решения исходной задачи в виде разложения в ряд по специальной системе функций, удовлетворяющей условиям полноты и краевым условиям. Наиболее часто в качестве такой системы функций используют формы свободных колебаний недемпфированной конструкции. При решении динамических задач прогрессирующего обрушения использование форм свободных колебаний не является удачным выбором системы функций Ритца [1]. Нами предлагается два варианта построения системы функций Ритца. В первом варианте в качестве пер-

вой функции Ритца (базовой функции) используется результат решения задачи статики для вторичной расчетной схемы. Эта функция нормируется по матрице масс. Последующие функции определяются также в результате последовательного решения ряда задач статики со специальными нагрузками. Количество таких задач определяется количеством функций Ритца в системе функций. Для всех функций Ритца осуществляются процедуры ортогонализации и нормировки по матрице масс. Построенные таким образом функции называем статическими функциями Ритца. Во втором варианте первая функция Ритца определяется из решения специальной линейной системы уравнений правая часть, которой зависит от динамических нагрузок на вторичную расчетную схему. Эта функция нормируется по матрице масс. Последующие функции определяются также как и в первом варианте. Построенные таким образом функции называем динамическими функциями Ритца. В случае, если для исходной вторичной расчетной схемы, также происходит локальное разрушение, строится новая система функций Ритца для новой вторичной расчетной схемы. С момента времени соответствующего локальному разрушению решение должно искажаться в виде разложения по новой системе функций Ритца. При каждом появлении нового локального разрушения должен осуществляться переход к новой вторичной расчетной схеме и должна использоваться соответствующая ей новая система функций Ритца.

Приводятся примеры использования модифицированного метода Ритца для расчетов реальных сооружений на прогрессирующее обрушение, выполненные при помощи ПК СТАДИКОН, и иллюстрирующие высокую эффективность разработанных алгоритмов. Приведено сопоставление с результатами, полученными прямым интегрированием динамических задач [3]. В качестве одного из примеров для сопоставления результатов, полученных модифицированным методом Ритца, использованы результаты нелинейного динамического расчета стального каркаса 33-х этажного высотного здания из [2]. Для решения с использованием системы из 150 функций Ритца получаем перемещения точек каркаса и усилия в элементах с гораздо меньшей погрешностью, чем для решения, полученного с использованием 150 форм свободных колебаний.

Список использованных источников

1. Свод правил 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Издание официальное. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018. 26 с.
2. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Методическое пособие М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2018. 158 с.
3. *Поверенный Ю.С., Киктев А.А., Дубров А.Д., Зеленин Д.А., Шестаков Д.Ю., Попов А.А., Поверенная А.А., Шестакова Е.В., Колесников А.В., Греб А.А.* Особенности применения высокопрочных сталей для надземных переходов нефтегазопроводов через водные преграды с учетом расчета на устойчивость к прогрессирующему обрушению// Нефтяное хозяйство. 2022. №4. С. 100 – 104.

МЕЖЭЛЕМЕНТНЫЕ СВЯЗИ ДЛЯ РАСЧЕТОВ МКЭ НА НЕСОГЛАСОВАННЫХ СЕТКАХ

Семенов П.Ю.¹

¹ООО «Техсофт», к.т.н., Россия, pyu@tech-soft.ru

Ключевые слова: стержневые, оболочечные, объемные конечные элементы, несогласованные сетки

INTERELEMENT CONNECTIONS FOR FEM CALCULATIONS ON NON-MATCHED MESHES

Semenov P.Yu.¹

¹Techsoft Ltd, Candidate of Technical Sciences, Russia, pyu@tech-soft.ru

Key words: beam, shell, volume finite elements, non-matched mesh

Конечно-элементные модели сложных конструкций в общем случае состоят из оболочек, стержней и объемных элементов. Уравнения равновесия МКЭ в местах соединения элементов разных типов необходимо строить с учетом реальных размеров области контакта. Это позволяет избежать появления особенностей в численном решении и улучшает качество получаемых результатов. В работе [1] рассмотрен случай соединения колонны (стержневой элемент) и плиты перекрытия (оболочечные элементы).

При использовании МКЭ часто естественным образом получают несогласованные сетки. Например, при независимой генерации для разных частей конструкции или при выборочном сгущении. Тогда уравнения равновесия МКЭ на несогласованных границах строятся таким образом, чтобы выполнялись условия совместности. Конечный элемент для такого рода расчетов описан в статье [2].

В сообщении представлено дальнейшее совместное развитие подходов из работ [1,2]. Для задания межэлементных связей используется метода множителей Лагранжа. Причем эти множители определяются на внутреннем уровне, поэтому дополнительных уравнений в глобальной системе уравнений не появляется. Также рассматривается подход с использованием метода штрафных функций. Реализованы независимые от сетки соединения стержней и пластин, стержней и объемных элементов, пластин и объемных элементов. На рисунке 1 приведен пример с объемными и оболочечными элементами. Контакт происходит по сторонам оболочек.

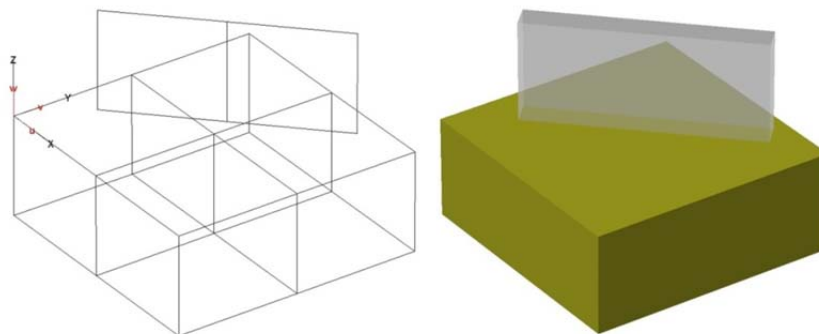


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель (слева) и 3-D вид (справа)

В предложенном подходе можно ставить дополнительные условия на границе соединяемых подобластей, поэтому он также может использоваться в контактных задачах. Приведем простейший пример с отлипанием. Прямоугольный квадратный ящик с крышкой нагружен в центре крышки сосредоточенной силой. Крышка может приподниматься над стенками. В силу симметрии задачи сетка строится на одной четверти конструкции. На рисунке 2 изображена исходная конструкция и ее конечно-элементная модель.

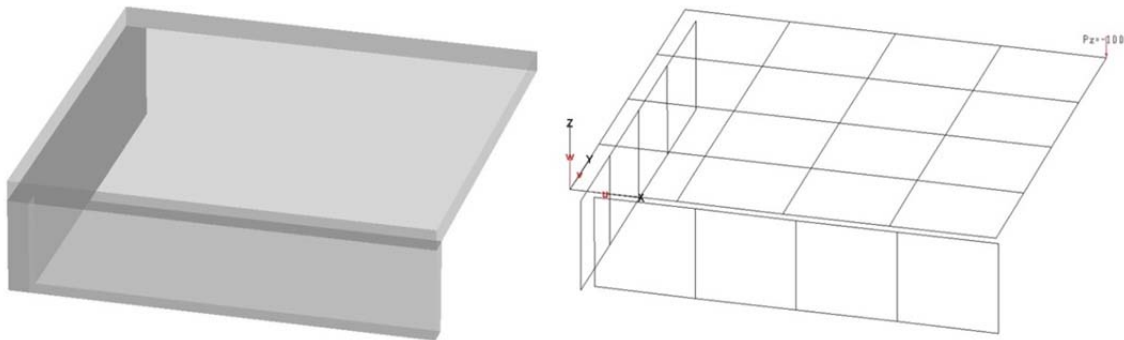


Рисунок 2 – Конструкция (слева) и конечно-элементная модель (справа)

Деформированная схема и реакции в межэлементных связях представлены на рисунке 3. На рисунке видно, что в углах крышка отделилась от стенок. Ненулевыми реакции остались в середине сторон конструкции.

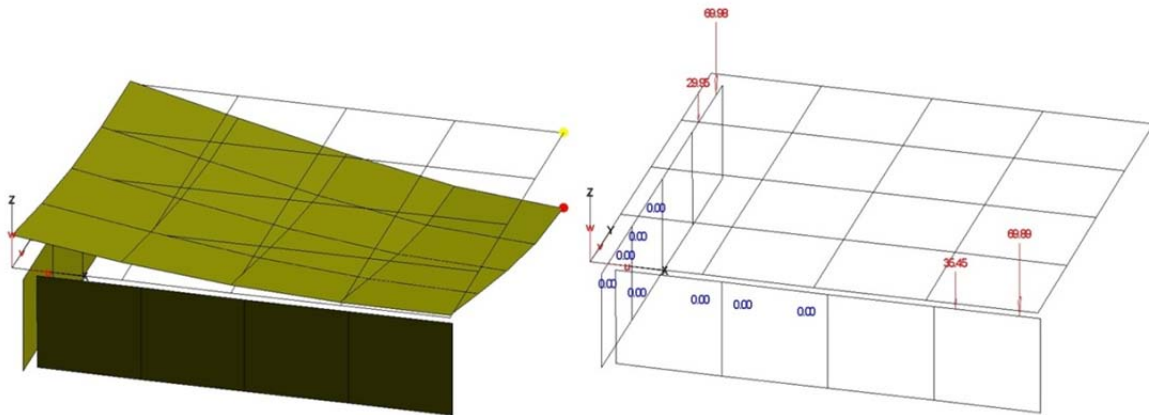


Рисунок 3 – Деформированная схема (слева) и реакции (справа)

Список использованных источников

1. Семенов В.А., Семенов П.Ю. Метод соединения различных моделей конечных элементов и его приложение к стержням и оболочкам // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов. Труды XXI Междунар. конф., Санкт-Петербург, 4–7 октября 2005 г. – СПб., 2006. – С. 416–424.

2. Семенов П.Ю. Гибридный конечный элемент для расчетов на несогласованных сетках // Проблемы прочности и пластичности, № 73, 2011 г. С. 156–166.

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СВЯЗАННОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛО- МАССОПЕРЕНОСА С ВЗАИМОЗАВИСИМЫМИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Сидоров В.Н.¹, Примкулов А.М.²

¹ ФБОУ ВО «Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет», проф. д.т.н. член-корр. РААСН, заведующий кафедрой «Информатика и прикладной математики», SidorovVN@mgsu.ru

² ФБОУ ВО «Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет», магистр, аспирант кафедры «Информатика и прикладной математики», a.primkulov@prodim.ru

Ключевые слова: тепло-массоперенос, связанная задача, численно-аналитический метод, испарение, конденсация.

SEMI-ANALYTICAL SOLUTION TO A COUPLED HEAT AND MASS TRANSFER PROBLEM WITH INTERDEPENDENT HEAT CONDUCTIVITY PROPERTIES.

Sidorov V.N.¹, Primkulov A.M.²

¹ Moscow State University of Civil Engineering, Prof. Doctor of Technical Science. correspondent member of RAACS, head of department of «Computer Science and Applied Mathematics», SidorovVN@mgsu.ru

² Moscow State University of Civil Engineering, Master of Science, post graduate student at department of «Computer Science and Applied Mathematics», a.primkulov@prodim.ru

Key words: heat transfer, mass transfer, coupled problem, semi-analytical method, evaporation, condensation.

1. Вступление. С ростом востребованности в строительстве многослойных конструкций увеличивается потребность в расчетных методиках, позволяющих определять поведение рассматриваемых конструкций в период их эксплуатации под действием различных факторов природного или техногенного характера. В данном исследовании рассмотрено теплофизическое поведение таких многослойных конструкций, воспринимающих изменяющиеся во времени температурные и влажностные воздействия.

2. Цель. Целью настоящего исследования является разработка методики расчета, позволяющей определять распределение температур в толще многослойной конструкции с известными начальными и граничными условиями, которое устанавливается в ней через заданный промежуток времени под воздействием переменных температур на границах данной конструкции. В методике учитываются теплотехнические характеристики материалов конструкции, меняющиеся во времени в результате изменений их влажности, вызванных фазовых превращений и фильтрации влаги. Для решения поставленной задачи использован численно-аналитический метод.

3. Анализ подходов к решению теплофизических задач. Пожалуй, наиболее распространенной расчетной методикой, позволяющей определить распределение температуры в толще конструкции, является методика, представленная в своде правил по проектированию тепловой защиты зданий. Целью такого расчета является определение толщин теплопроводящих слоев многослойных конструкций, которые смогут обеспечить их надежную работу. Данные расчеты не позволяют получить текущее распределение температуры с учетом истории воздействий на конструкцию.

Существуют также различные комплексы программ позволяющие решать задачи

тепло-массопереноса с использованием численных методов разработанных, как правило, на основе конечно-элементных и конечно-разностных схем, и численным интегрированием с назначаемым шагом по времени.

4. *Описание предлагаемой методики.* В предлагаемой методике выполняется следующая последовательность вычислений. 1. Для заданной многослойной конструкции решается нестационарная задача паропроникания с определением функциональных зависимостей изменения распределения парциального давления пара в толще конструкции в заданном промежутке времени с учетом меняющихся граничных условий; 2. Поскольку поставленная задача теплопереноса описывается нелинейным уравнением, для ее линеаризации используется итерационный метод Пикара. При этом, на начальном приближении, определяется зависимость изменения во времени распределения температуры в толще стены на основе линейной задачи теплопроводности. По данным зависимостям устанавливаются изменения давления насыщенного пара внутри стены, которые, в сопоставлении с ранее определенным распределением парциального давления пара, определяют зависимость изменения объема испарения и конденсации; 3. На основе устанавливаемой зависимости изменения объема испарения и конденсации формируется задача фильтрации жидкой влаги (воды), результатом решения которой является зависимость распределения влажности в толще конструкции во времени; 4. По значениям влажности материалов корректируются их теплотехнические характеристики в каждый момент времени в рассматриваемом промежутке и выполняется новый расчет теплопереноса с определением новых зависимостей распределения температуры, по которым весь расчет повторяется;

Расчеты считаются законченными, когда разница между двумя последовательно определенными распределениями температуры становится меньше заданной погрешности.

5. *Пример.* По предложенной методике решена задача тепло- массопереноса в трех-слойной стеновой конструкции, на примере которой продемонстрирован и пояснен ход последовательных итераций.

6. *Оценка преимуществ и ограничения.* Предложенная методика дала устойчивые численные результаты, полученные с учетом взаимного влияния различных параллельно протекающих процессов, в том числе факторов, накапливающихся со временем в конструкции. При этом отмечены ограничения, вызванные допущениями и упрощениями, принятыми при выводе расчетных формул. Приведен анализ данных ограничений, оценка их влияния на полученные результаты, а также возможные способы их устранения.

7. *Выводы.* Предложенная методика представляет собой универсальный инструмент, позволяющий за счет примененных расчетных методов, включать также дополнительные физические явления, и решать данные задачи с высокой точностью. Результаты расчета позволяют судить о текущем состоянии рассматриваемой конструкции.

Список использованных источников

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. // Высшая школа, М., 1967.
2. Золотов А.Б., Акимов П.А. Практические методы расчета строительных конструкций. Численно-аналитические методы. // Издательство АСВ, М., 2006.
3. Золотов А.Б., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Мозгалева М.Л. Дискретно-континуальный метод конечных элементов. Приложения в строительстве. // Издательство АСВ, М., 2010.
4. Forsberg C. H. Heat Transfer Principles and Applications. // London: Academic Press, Elsevier Inc., 2021.
5. Van P. Carey. Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena. An Introduction to the Thermophysics of Vaporization and Condensation Processes in Heat Transfer Equipment. 3rd edition. // CRC Press, 2020.
6. Куприянов В.Н., Юзмухаметов А.М., Сафин И.Ш. Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса. Известия КГАСУ №1(39). Строительные конструкции здания и сооружения. 2017
7. Reddy J.N. An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis with applications to heat transfer, fluid mechanics, and solid mechanics. 2nd edition. // Oxford University Press, Oxford, 2015.
8. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ О ЧАСТИЧНОМ ОПИРАНИИ БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ

Скачѣк П.Д.¹

¹*Белорусский национальный технический университет, ассистент кафедры «Математические методы в строительстве», Беларусь, pvlsk30@gmail.com*

Ключевые слова: конструктивная нелинейность, метод Б. Н. Жемочкина, упругое четвертьпространство, октант упругого пространства, контактная площадка

SPECIALTIES OF SOLVING NONLINEAR CONTACT PROBLEMS ON THE PARTIAL CONTENT OF BEAM ELEMENTS ON AN ELASTIC FOUNDATION

Skachok P.¹

¹*Belarusian National Technical University, assistant of the department «Mathematical Methods in Construction», pvlsk30@gmail.com*

Keywords: constructive non-linearity, method of B. N. Zhemochkin, elastic quarter space, elastic space octant, contact area

Взаимодействие различных строительных конструкций, деталей машин, фундаментов с грунтовым основанием и т.п. порождает класс задач, именуемых контактными. В фундаментостроении их именуют расчетом конструкций на упругом основании. Особый интерес к данным задачам обусловлен тем, что места контакта являются концентраторами напряжений. Для расчета конструкций контактные области являются местами передачи нагрузок, и решение вопроса о напряженно-деформированном состоянии области контакта способствует адекватной формулировке граничных условий, необходимых для расчета самой конструкции. Известно, что решение любой контактной задачи сводится к решению интегрального или интегро-дифференциального уравнения [1, 2]. Их решение зависит от ядра интегрального уравнения, которое является функцией влияния контактирующих тел. Аналитические решения удается получить лишь для ограниченного числа задач, в которых контактирующие тела являются классическими областями, ядра которых имеют специальный вид. Отдельной проблемой является получение ядер (функций влияния) для неклассических областей. Большинство контактных задач решается численными и численно-аналитическими методами [2, 3].

Мостовую балку, опираемую на фундаментные массивы, балку, лежащую на грунтовом основании с проседанием или отсутствием грунта в центральной ее части [4], балку, покоящуюся на толстых стенах, с инженерной степенью точности можно рассматривать как балку, опираемую по концам на упругие четвертьпространства и 1/8 пространства, которые являются неклассическими областями. Функции влияния данных моделей упругого основания принимаются по [5, 6].

Получить аналитическое решение данной задачи достаточно сложно. Поэтому в качестве метода решения рассматриваемой контактной задачи принят численно-аналитический метод Б. Н. Жемочкина, основанный на замене непрерывного контакта дискретным [7, 8]. Такой подход позволяет свести контактную задачу к расчету статически неопределимой системы хорошо разработанными методами строительной

механики [9]. Математическая модель решаемых контактных задач строится в предположении линейно-упругой (геометрическая и физическая линейность) работы как балки, так и упругого основания. Балка рассматривается конечной жесткости, что в процессе совместного деформирования упругих оснований и балки приводит к отрыву ее концов от опорных поверхностей. Таким образом, решаемая контактная задача относится к контактным задачам с заранее неизвестной областью контакта, что является признаком ее конструктивной нелинейности. Решение подобных задач ведется итерационными методами.

Используемый метод Б. Н. Жемочкина обладает широким спектром применимости, поскольку позволяет решать контактные задачи с любой степенью точности, учитывать конструктивную нелинейность, переменность жесткостных характеристик контактирующих тел, пригрузку оснований, наличие начальных напряжений и т.д. [10]. Поскольку данный метод приводит к решению системы линейных алгебраических уравнений, то решаемые им задачи легко алгоритмируются.

По результатам решения рассматриваемых контактных задач было обнаружено, что при геометрически симметричном опирании балки слева и справа на упругие четвертьпространства (октанты пространства) с равными опорными площадками, но различными механическими характеристиками, а также симметричном нагружении, значения опорных реакций, рассматривая их как равнодействующие контактных напряжений на левой и правой контактной площадке, и координаты точек их приложения не равны между собой (рисунок 1). К подобному результату приводит и решение контактной задачи в случае опирания балки с одной стороны на упругое четвертьпространство, а с другой – на край октанта пространства. К тому же по всей длине балки появляется постоянный крутящий момент, свидетельствующий, что балка находится в условиях поперечного изгиба с кручением.

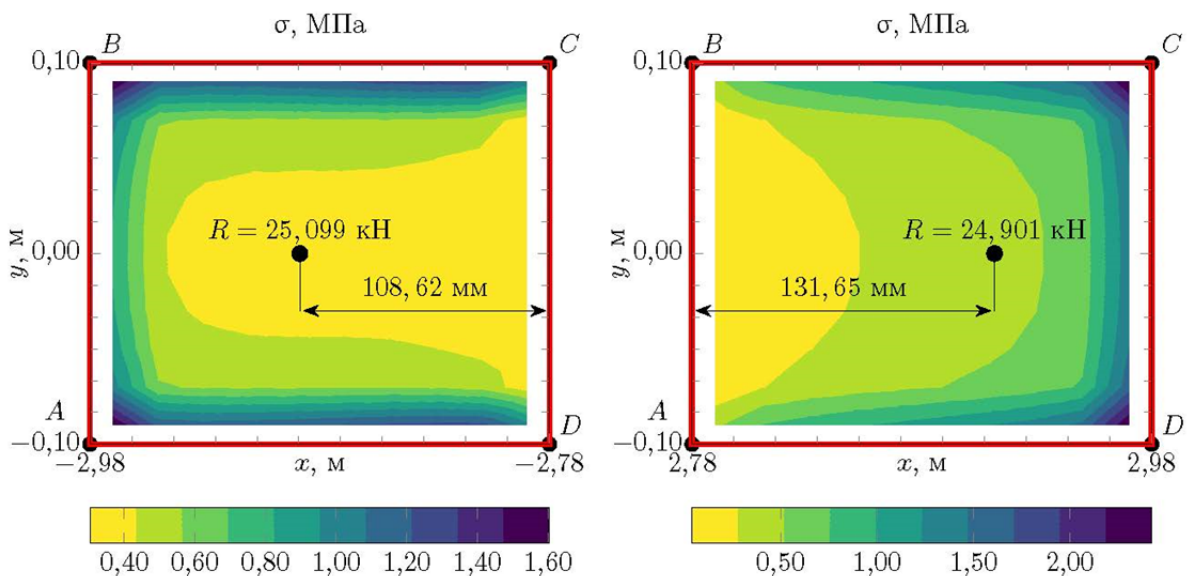


Рисунок 1 – Изолинии контактных напряжений на левой и правой контактных площадках жесткой балки при ее опирании на четвертьпространства различных механических характеристик

Список использованных источников

1. Ворovich И. И., Александров В. М., Бабешко В. А. Неклассические смешанные задачи теории упругости. М.: Наука, 1974. 456 с.

2. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. 510 с. Под ред. Р. В. Гольдштейн. Пер. с англ. В. Э. Наумова, А. А. Спектора.
3. *Пожарский Д. А.* Фундаментальные решения статики упругого клина и их. Ростов н/Д: ООО «ДГТУ-Принт», 2019. 306 с.
4. *Маруфий А. Т., Эгенбердиева А. А.* Изгиб бесконечной балки на упругом винклеровском основании с учетом сложных условий ее работы // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. №19. С. 48-56.
5. *Босаков С. В.* Действие сосредоточенной силы на упругое четвертьпространство // Теоретическая и прикладная механика: междунар. научно-техн. сб. / БПИ. Минск: Вышэйшая школа, 1988. Выпуск 15. С. 100-108.
6. *Босаков С. В., Скачёк П. Д.* Действие сосредоточенной силы на $1/8$ однородного изотропного пространства // Наука и техника. 2020. Т. 19, №5. С. 372-376.
7. *Жемочкин Б. Н., Сеницын А. П.* Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Госстройиздат, 1962. 240 с.
8. *Босаков С. В.* Статические расчеты плит на упругом основании. Минск: БНТУ, 2002. 128 с.
9. *Рабинович И. М.* Курс строительной механики стержневых систем: в 2 ч. 2-е изд., перераб. М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1954. Ч. 2: Статически неопределимые системы. 547 с.
10. *Босаков С. В.* К новым возможностям способа Б. Н. Жемочкина // Архитектура и строительство Беларуси. 1994. №1. С. 12-14.

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К РАСЧЕТУ

Трекин Н.Н.¹, Крылов В.В.², Андриян К.Р.³

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» д.т.н., профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», nik-trekin@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», аспирант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», albet-group@yandex.ru

³АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений - ЦНИИПромзданий», инженер, andryankr@mail.ru

Ключевые слова: сопряжение монолитного перекрытия с колонной, статическая и динамическая нагрузка, пирамида продавливания, касательные напряжения, прочность бетона при срезе, прочность на продавливание

THE BEARING CAPACITY OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE SLABS FOR PUNCHING UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADING. ANALYTICAL PREREQUISITES FOR THE CALCULATION.

Trekin N.N.¹, Krylov V.V.², Andrian K.R.³

¹ «NRU MGSU», Yaroslavlshosse, building 26, Moscow, nik-trekin@yandex.ru

² «NRU MGSU», Yaroslavlshosse, building 26, Moscow, albet-group@yandex.ru

³ JSC "Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures - TsNIIPromzdaniy", andryankr@mail.ru

Keywords: coupling of a monolithic floor with a column, static and dynamic load, punching pyramid, tangential stresses, concrete shear strength, punching strength.

Введение. Современные отечественные методики расчета и развитых стран по определению несущей способности монолитных железобетонных плит на продавливание не учитывают полностью все факторы конструктивных решений и условий эксплуатации. Имеющиеся расчетные положения выполнены для статической работы конструкций и отсутствуют рекомендации по учету особенностей динамического воздействия на перекрытия и характера работы узловых сопряжений.

Основная часть. Авторы данного доклада проводили экспериментально-теоретические исследования несущей способности плит на продавливание при действии статического и динамического нагружения, по результатам проведенных исследований подготовили предложения по совершенствованию методики расчета на продавливание [1-7].

Экспериментальные исследования проводились на испытательном стенде, выполненном на базе копровой установки в лаборатории испытания строительных конструкций кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета [7].

Для численного моделирования узла сопряжения плиты с колонной применялся программный комплекс ATENA.

Расчетная конечно-элементная модель экспериментальных образцов представляет собой 1/4 часть опорной зоны железобетонной плиты (Рисунок 1). Данный способ моделирования экспериментальных образцов был принят при выполнении верифика-

ционных расчетов экспериментальных образцов.

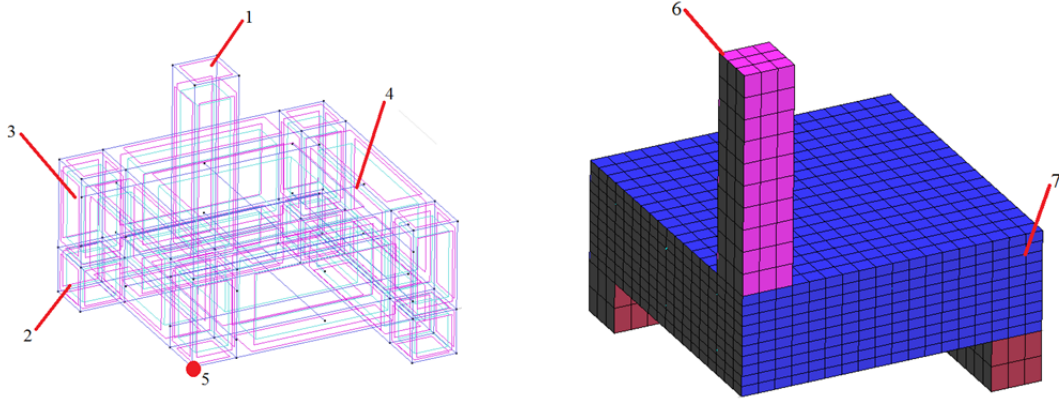


Рисунок 1 – 3D (слева) и КЭ (справа) модели для численных исследований с использованием ПК АТЕНА: 1 – колонна; 2 – опорная конструкция; 3 – плита перекрытия; 4 – арматурные стержни; 5 – точка мониторинга перемещений вдоль вертикальной оси; 6 – место приложения нагрузки; 7 – закрепление образца от смещения из плоскости симметрии

По результатам численного моделирования и сопоставления с результатами испытания, можно выделить следующие этапы напряженно деформированного состояния при статическом нагружении.

Сформулированы следующие расчетные предпосылки, на основании которых подготовлены предложения по совершенствованию существующей методики расчета на продавливание:

- разрушение сопряжения происходит от продавливания по схеме усеченной пирамиды;
- по граням пирамиды действуют перерезывающие силы и изгибающие моменты, воспринимаемые сжатым бетоном в усеченной части пирамиды и растянутой арматурой перекрытия;
- прочность продавливанию в предельной стадии обеспечивается сопротивлением срезу бетона сжатой части пирамиды;
- сопротивление срезу возрастает с учетом бокового обжатия.

Подготовлены предложения по совершенствованию методики расчета на продавливание. Сопротивление продавливанию (рисунок 2) оказывают усилия, равные проекции на вертикальную ось от касательных напряжений, распределенных по поверхности приведенной пирамиды продавливания на четырех гранях

$$N = Q_{bx1} + Q_{bx2} + Q_{by1} + Q_{by2},$$

где $Q_{bxi(yi)}$ – проекция на вертикальную ось усилия, воспринимаемое бетоном при продавливании по соответствующим граням X и Y.

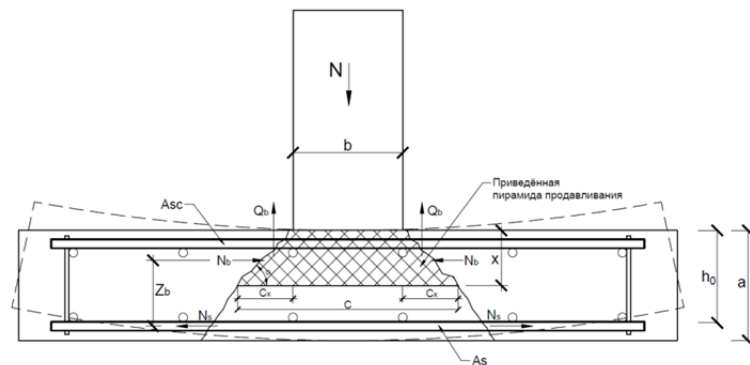


Рисунок 2 – Схема к определению несущей способности узла сопряжения колонны с перекрытием при продавливании

Усилие, воспринимаемое бетоном по поверхности пирамиды продавливания при симметричном узлом сопряжении равно:

$$Q_{bi} = k_1 \sigma_{sh} k_2 A_{redi} \sin \varphi \quad , \quad (1)$$

где σ_{sh} – максимальные касательные напряжения по поверхности пирамиды продавливания [8];

k_1 – коэффициент полноты эпюры распределения касательных напряжений;

k_2 – коэффициент, учитывающий повышение прочности на срез при наличии бокового обжатия [9];

A_{redi} и φ – площадь боковой поверхности приведенной пирамиды продавливания и угол наклона грани пирамиды к плоскости перекрытия.

Заключение

В проведенных численных исследованиях на расчетном комплексе ATENA на конечно-элементных моделях, учитывающего особенности нелинейного деформирования железобетона смоделировано напряженно-деформированное состояние образцов на разных стадиях статического и динамического нагружения. Используя результаты теоретических и экспериментальных исследований выявлены причины снижения несущей способности при динамическом нагружении вследствие снижения поверхности среза сжатой части пирамиды продавливания из-за увеличения угла наклона ее граней на 10-20%.

Подготовлены рекомендации по совершенствованию методики расчета плит при центральном продавливании статической и динамической нагрузкой, основанная на фактической схеме разрушения при наличии двойного продольного армирования в плитах перекрытия, условиях равновесия внутренних и внешних усилий с учетом увеличения прочностных свойств бетона при сложном напряженном состоянии.

Результаты расчета с учетом предложенных рекомендаций показали хорошую сходимость с результатами экспериментальных данных испытанных образцов.

Список использованной литературы

1. Крылов В.В., Саркисов Д.Ю., Эргешов Э.Т., Евстафьева Е.Б. Программа экспериментальных исследований несущей способности безбалочных плит на продавливание при динамическом нагружении. Конструкция опытных образцов // Строительные материалы и изделия, т.3, №3, 2020. С.47-53.

2. Трекин Н.Н., Крылов В.В. К вопросу о несущей способности железобетонных плит на продавливание при динамическом нагружении на объектах наземной космической инфраструктуры // Научный аспект. 2018. Т. 7. №4. С. 771.

3. Трекин Н.Н., Крылов В.В., Трофимов С.В., Евстафьева Е.Б., Саркисов Д.Ю. Экспериментально-теоретическое исследование прочности плит на продавливание // Вестник МГСУ, 2021. С. 1006-1014.

4. Трекин Н.Н., Крылов В.В., Евстафьева Е.Б., Андриян К.Р. Экспериментальное исследование прочности плит на продавливание при динамическом нагружении // Строительные материалы и изделия, Том 4, №4, 2021. С.41-48.

5. Трекин Н.Н., Саркисов Д.Ю., Крылов В.В., Евстафьева Е.Б., Андриян К.Р. Несущая способность монолитных железобетонных плит на продавливание при статическом и динамическом нагружении // Строительство и реконструкция, №5, 2022. С. 67-80.

6. Патент на изобретение № 2726031 Стенд для испытания железобетонных элементов на продавливание при кратковременной динамической нагрузке.

7. Пекин Д.А. Применение скрытых металлических капителей в безбалочных монолитных перекрытиях // Современная наука и инновации, №2, 2016. - С. 110-115.

8. Петров А.Н. Экспериментальные исследования бетона при нагружении сжатием и срезом. Бетон и железобетон, №11, 1965г. С.34-37.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДАТЛИВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЛИТ СБОРНЫХ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ

Трекин Н.Н.¹, Кодыш Э.Н.², Быбка А.В.³

¹НИУ МГСУ, д.т.н., профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», Россия, *nik-trekin@yandex.ru*

²АО «ЦНИИПромзданий», д.т.н., профессор, Россия, *kodyshem@yandex.ru*

³АО «ЦНИИПромзданий», зам. начальника отдела, Россия, *aleb@narod.ru*

Ключевые слова: многоэтажный каркас, диск перекрытия, податливость

MODELING OF JOINTS COMPLIANCE OF PRECAST DISK OF OVERLAPPING

Trekin N.N.¹, Kodysh E.N.², Bybka A.V.³

¹NRU MGSU, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced concrete and Masonry Structures, Russia, *nik-trekin@yandex.ru*

²JSC «TSNIIPromzdany», Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia, *kodyshem@yandex.ru*

³JSC «TSNIIPromzdany», Deputy Head of Department, Russia, *aleb@narod.ru*

Keywords: multistory framework, disk of overlapping, compliance.

Современное каркасное здание – это сложная, многократно статически неопределимая система. В процессе эксплуатации, элементы здания неоднократно подвергаются различным, зачастую принципиально отличающимся воздействиям, вызванным возможным изменением технологических процессов, изменением функционального назначения и проведением реконструкции.

Сборные перекрытия являются наиболее материалоемкими и ответственными элементами многоэтажных зданий. В составе здания они выполняют важные функции: во-первых, это несущие конструкции, которые воспринимают и передают вертикальные нагрузки на элементы остова здания, во-вторых, обеспечивают пространственную жесткость здания, перераспределяя между вертикальными элементами жесткости усилия от ветрового напора, неточности монтажа вертикальных несущих элементов, сейсмических воздействий, неравномерных осадок основания. Таким образом перекрытия активно реагируют на любые изменения нагрузочных факторов и других внешних воздействий, при этом накапливая неупругие деформации бетона в основном по линиям контактных поверхностей.

В настоящее время расчет многоэтажных каркасных зданий выполняется по пространственным расчетным моделям. Диски перекрытий из сборных железобетонных конструкций при этом большинством расчетчиков принимаются в виде сплошных пластин, с соответствующей разбивкой на элементы, с большой изгибной жесткостью в своей плоскости, а взаимодействие колонн с перекрытиями представляется в виде шарниров для связевых каркасов или жесткой заделки – для рамных, что в свою очередь упрощает формирование расчетной модели. Однако, многочисленные экспериментальные исследования показывают, что взаимодействие между сборными элементами отличается от принятых идеализированных схем.

Как показывает обширная практика обследования каркасных зданий из сборного железобетона, в сопряжениях сборных элементов имеются трещины различной ши-

рины раскрытия, неплотности и участки отсутствия замоноличивания. Эти и многие другие дефекты снижают первоначальную жесткость узловых сопряжений и швов. Очевидно, что суммарная жесткость сборных перекрытий в своей плоскости существенно ниже проектной.

Чаще всего податливость учитывается с помощью понижающих коэффициентов к жесткостным характеристикам элементов перекрытия. При этом назначение понижающих коэффициентов в большинстве своем основаны на практике проектирования и результатах единичных экспериментов.

Обобщая накопленный опыт можно отметить, что расчетные схемы дисков перекрытий зависят в основном от таких факторов, как тип плиты перекрытия, качество заделки швов омоноличивания и условий опирания. При этом отмечено, что концентрация деформаций происходит в основном в зонах сопряжений сборных конструкций. Наиболее полно учет этого фактора осуществляется в пластинчато-стержневой модели, которая состоит из плоскостных и стержневых элементов, соединенных деформируемыми связями [1].

Применение такой расчетной модели сборного перекрытия существенно усложняет построение пространственной схемы здания из-за большого количества мелких элементов и узлов и, соответственно, сопровождается накоплением ошибок при моделировании. Для учета податливости сборного перекрытия в расчетных моделях, где перекрытия замоделированы сплошными плитами, были выполнены численные исследования ячеек плит перекрытий и предложена методика учета податливости их соединений на основе эквивалентной жесткости [2]. Сравнительным анализом экспериментальных данных [3] и результатов таких численных исследований данная методика была уточнена с удовлетворительным совпадением численных и экспериментальных данных (см. рисунок 1).

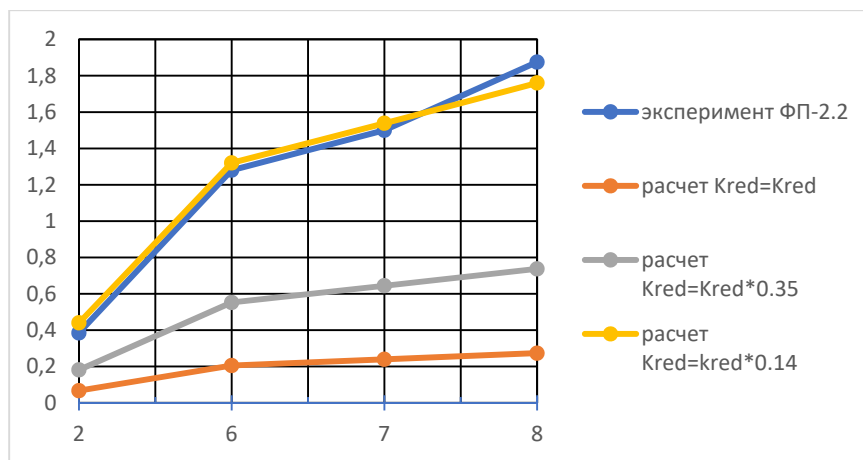


Рисунок 1 – Расчетные и экспериментальные перемещения диска перекрытия 6х 12 м из двух ячеек плит

По результатам сравнительного анализа уточнено выражение (1) для расчета эквивалентной жесткости диска перекрытия дополнительным коэффициентом K_{exp} .

$$K_{red} = \frac{\frac{a}{12E_o I \cdot K_z} (3b^2(1+\mu) + 4a^2)}{2 \left(\frac{1}{c_o} + \frac{S^2}{c_c + c_p} \right) + \frac{a}{12E_o I \cdot K_z} (3b^2(1+\mu) + 4a^2)} K_{exp}, \quad (1)$$

где a, b, S – геометрические параметры плит;

c_i – параметры податливости соответствующих «связей»;

K_z – параметр разбивки плит на конечные элементы;
 E_0 – начальный модуль деформации бетона плит;
 K_{exp} – эмпирический коэффициент, равный 0,14-0,24 для эксплуатационной стадии и 0,35 для первоначальной стадии.

Сравнительный анализ численных исследований с экспериментальными данными также показал, что податливость дисков перекрытий сразу после изготовления менее податливости после цикла нагружений, в результате которых нарушается целостность материала швов, что, в целом, соответствует эксплуатационной стадии зданий.

Учет по приведенной методике податливости дисков перекрытий в расчетных моделях применяется в практике проектирования и экспертного анализа для зданий со сборным железобетонным каркасом. Результаты таких расчетов, на примере 16-ти этажного здания размером 18x42 м с сеткой колонн 6x6 м, показывают, что учет податливости дисков ведет к повышению их деформативности на 33%, повышению общей деформативности каркаса на 7,5%, увеличению изгибающих моментов и поперечных сил в колоннах между элементами жесткости на 10% и 12% соответственно. При этом поперечные силы и моменты в элементах жесткости уменьшаются в пределах 1-3%.

Таким образом, предложенная методика позволяет учитывать податливости дисков перекрытий сборных железобетонных каркасов в моделях МКЭ. Это способствует выявлению как резерва, так и недостатка несущей способности элементов каркаса, что особенно актуально при обследовании технического состояния эксплуатируемых и разработке проектной документации реконструируемых зданий.

Список использованных источников

1. *Трекин Н.Н.* Рекомендации по расчету каркасов многоэтажных зданий с учетом податливости узловых сопряжений сборных железобетонных конструкций. ЦНИИПромзданий, Ассоциация «Железобетон», ГУП ЦПП, Москва, 2002, 85 с.
2. *Трекин Н.Н., Быбка А.В.* Учет податливости сопряжений сборных железобетонных элементов при расчете многоэтажных каркасов. Современные проблемы расчета и проектирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий: сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П.Ф.Дроздова/ под ред. проф. А.Г.Тамразяна; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет». Москва: МГСУ, 2013, с.256-263.
3. *Семченков А.С.* Пространственно-деформирующиеся сборные железобетонные диски перекрытий многоэтажных зданий. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. - М.: НИИЖБ, 1992, 405с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН В МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЯХ

Трекин Н.Н.¹, Кодыш Э.Н.², Щедрин О.С.³

¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), д.т.н., профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, Россия, nik-trekin@yandex.ru*

² *Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (АО «ЦНИИПромзданий»), д.т.н., профессор, Россия, otsk@yandex.ru*

³ *Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (АО «ЦНИИПромзданий»), аспирант, Россия, oshedrin@mail.ru*

Ключевые слова: показатель ответственности колонн, механическая безопасность, аварийная расчетная ситуация, перераспределение усилий, каркасные здания.

DETERMINATION OF THE INDICATOR OF RESPONSIBILITY OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS IN MULTI-STOREY FRAME BUILDINGS

Trekin N. N.¹, Kodysh E. N.², Shchedrin O. S.³

¹ *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Russia, nik-trekin@yandex.ru*

² *Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (JSC Tsniipromzdaniy), Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia, otsk@yandex.ru*

³ *Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (JSC Tsniipromzdaniy), PhD student, Russia, oshedrin@mail.ru*

Key words: column responsibility indicator, mechanical safety, emergency settlement situation, emergency settlement situation, frame buildings.

В настоящее время категории по ответственности в нормативной литературе приняты для всего здания или сооружения в целом [1,2]. Этот комплексный показатель определяет выбор нагрузочных факторов, качество используемых материалов, включая их долговечность и ряд других требований на всех этапах жизненного цикла здания или сооружения. Установлено, что ответственность здания определяется объемом последствий, вызванного его обрушением. В объем последствий включен материальный ущерб и социальный, связанный с возможными жертвами. Рассматривая конструктивную систему в целом, безусловно, можно отметить, что надежность и безопасность ее эксплуатации неразрывно связана с элементами этой системы, которые суммарно обеспечивают прочность, пространственную устойчивость, жесткость и проектный срок эксплуатации. Значимость каждого несущего элемента в системе здания очевидно по обеспечению общей механической безопасности оценивается по разному.

В рассматриваемой работе на примере вертикальных конструкций каркасного здания рассматриваются критерии оценки ответственности колонн в зависимости от их расположения в плане здания и по высоте 12-ти этажного каркасного здания из монолитного железобетона. По аналогии с отечественными нормативными документами [1,2] за основной критерий показателя ответственности принят объем разрушений вызванный отказом рассматриваемой конструкции [3,4]. Расчеты в упругой постановке и с учетом неупругих деформаций бетона [5] позволили установить место-

положения колонн первого этажа, приводящие к наибольшим разрушениям. Определение объемов разрушений при отказе колонн на 5 и 10 этажах подтвердили координаты установленных ответственных колонн.

Следующим критерием показателя ответственности колонн была принята степень перераспределения усилий при отказе рассматриваемой колонны на соседние вертикальные конструкции. За максимум перераспределения принималось возможность дополнительного догружения максимального количества примыкающих конструкций выше ее несущей способности. Численные исследования подтвердили в основном результаты определения показателя ответственности колонн по первому критерию. Помимо вышеуказанных критериев были проанализированы другие факторы и их влияние на ответственность колонн [6-10].

Одним из важных аспектов введения категорий ответственности несущих элементов является повышение механической безопасности при более рациональном распределении материалов и разработка конструктивных систем более устойчивых к прогрессирующему обрушению. Это связано в первую очередь к определению в несущей системе, так называемых ключевых элементов, требования к которым должны быть повышенными, как по показателям несущей способности, так в степени пространственного взаимодействия в несущей системе. Это очевидно приведет к сужению круга несущих конструкций, обладающих повышенной несущей способностью, и к более адресному обеспечению требуемых параметров работы узловых сопряжений.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 30.12.2009 №384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.
2. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
3. Трекин, Н. Н. Определение ответственности колонн в многоэтажном монолитном железобетонном каркасном здании с учетом их расположения в плане и по высоте / Н. Н. Трекин, О. С. Щедрин // Инновации в строительстве - 2020 : сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию строительного института ФГБОУ ВО «БГИТУ», Брянск, 25 декабря 2020 года. – Брянск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный инженерно-технологический университет", 2020. – С. 429-434.
4. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Щедрин О.С. Уточнение коэффициента ответственности K_0 при расчете на сейсмостойкость для отдельных конструктивных элементов (колонн) многоэтажных монолитных железобетонных каркасных зданиях (в порядке обсуждения) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 4. С. 8-18. DOI: 10.37153/2618-9283-2021-4-8-18.
5. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Основные положения.
6. Мкртычев О.В., Щедрин О.С., Лохова Е.М. Определение коэффициентов надежности по ответственности для отдельных несущих элементов на основе вероятностного анализа // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. Вып. 10. С. 1331–1346. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.10.1331-1346.
7. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. (Методические рекомендации). Рук. Авт. кол-ва Н. А. Махутов, К. Б. Пуликовский, С. К. Шойгу. - М. МГФ «Знание», 2008. 672 с.
8. Травуш, В. И. О Стратегии развития строительной отрасли Российской Федерации на 2030-2035 годы / В. И. Травуш, Д. В. Кузеванов, Ю. С. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 8. – С. 4-10. – DOI 10.33622/0869-7019.2022.08.04-10. – EDN WEOAQQ.
9. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов — необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений». 2009. № 1. С. 160–171.
10. S. Kokot, G. Solomos. Progressive collapse risk analysis: literature survey, relevant construction standards and guidelines, European Laboratory for Structural Assessment, November 2012.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ГОФРИРОВАННОЙ СТАЛИ

Черников А.В.¹, Козлов В.А.²

¹ ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", аспирант кафедры строительной механики, Россия, *chernikov-andrei@yandex.ru*

² ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", д.ф.-м.н., зав.кафедры строительной механики, Россия, *vakozlov@vgasu.vrn.ru*

Ключевые слова: гофрированные водопропускные трубы, двухпараметрическое упругое основание, несущая способность, оболочки, эксплуатационные дефекты

DEVELOPMENT OF METHODS OF MODELING AND CALCULATION OF METAL CULVERTS MADE OF CORRUGATED STEEL

Chernikov A.V.¹, Kozlov V.A.²

¹ Voronezh State Technical University, Postgraduate Student of the Department of Structural Mechanics, Russia, *chernikov-andrei@yandex.ru*

² Voronezh State Technical University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Structural Mechanics, Russia, *vakozlov@vgasu.vrn.ru*

Key words: metal corrugated pipe, two-parameter elastic foundation, bearing capacity, shells, operational defects

Конструкции из гофрированной стали являются наиболее эффективными при решении мелиоративных задач в транспортном строительстве. Они могут быть использованы в качестве водопропускных сооружений и путепроводов, а также как альтернатива малым мостам. Так, например, металлические гофрированные трубы (МГТ) имеют ряд преимуществ по отношению к трубам, выполненным из бетона и железобетона. Это легкость самой конструкции, технологичность и высокая скорость монтажа в условиях стройплощадки, возможность укладывать данные трубы без специальных фундаментов. Это позволяет значительно сократить стоимость и сроки строительства.

Однако, проблема корректного расчета металлических гофрированных конструкций (МГК) в процессе проектирования водопропускных труб всё ещё остается актуальной, даже несмотря на большую историю этого вопроса [1]. Высокая экономичность и технологичность достигается за счет эффективного использования конструкции металлической гофрированной трубы (МГТ) совместно с окружающим грунтом. При этом МГТ представляет собой гибкую тонкостенную конструктивно-ортотропную оболочку с относительно небольшой поперечной жесткостью и сопротивляемостью внешним нагрузкам. А равновесное состояние системы обеспечивает упругий отпор грунта. В этом случае, когда несущая способность сооружения зависит от прилегающего грунта, система становится весьма чувствительной к различным дефектам, как заводским, так и эксплуатационным. Учет таких дефектов в процессе моделирования поведения конструкции водопропускной трубы является важным этапом в развитии этого направления.

Использование полубезмоментной теории оболочек [2] для моделирования МГТ позволяет получить достаточно гибкую расчетную методику, которая свободна от

множества ограничений, в том числе связанных с учетом дефектов. Помимо этого, пространственная расчетная схема учитывает моментное состояние оболочки водопропускной трубы (рис. 1), и позволяет точно оценить напряженно-деформированное состояние МГТ [3]. Все выражения для внутренних усилий и перемещений получены в рядах. Решение основного уравнения полубезмоментной теории выполняется с применением вариационного метода Канторовича — Власова. Для учета влияния упругого отпора были рассмотрены и проанализированы различные модели упругого основания. Наиболее достоверные результаты были получены для односторонней двухпараметрической модели Леонтьева–Власова[4], которая учитывает нелинейный характер распространения осадок по глубине. На базе предложенной методики также реализован нелинейный алгоритм для оценки несущей способности, который дает хорошую сходимость с экспериментальными данными.

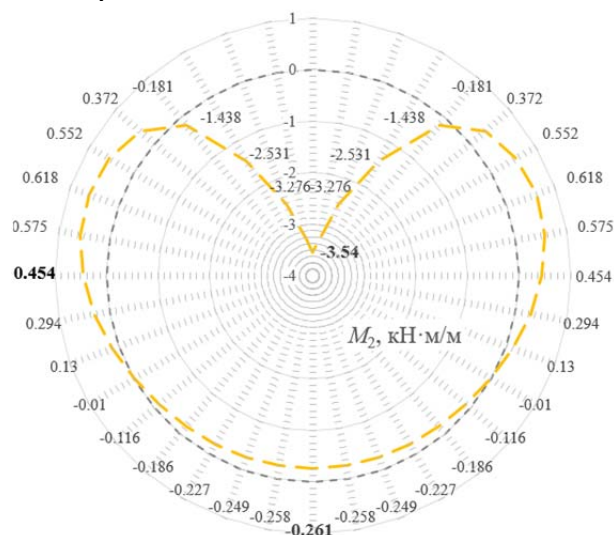


Рисунок 1 – Эпюра изгибающих моментов гофрированной водопропускной трубы

Предложенные методы и алгоритмы моделирования и расчета металлических гофрированных труб уточняют расчетную базу для данного типа конструкций. Это позволит использовать потенциал водопропускных сооружений из гофрированной стали и поможет проектировать безопасные и долговечные сооружения в различных климатических и природных условиях.

Список использованных источников

1. Жинкин А. Проблемы и перспективы типового проектирования металлических гофрированных конструкций // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 5. С. 53-54.
2. Власов В.З. Избранные труды. Т. 1. Общая теория оболочек. М.: Издательство академии наук СССР, 1962. 528 с.
3. Черников А.В., Козлов В.А. Учет одностороннего упругого основания при расчете гофрированных водопропускных труб по полубезмоментной теории оболочек // Строительная механика и конструкции. 2022. № 2. С. 87–97.
4. Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. 491 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Широков В.С.¹, Белаиш Т.А.², Гордеева Т.Е.³

¹ ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Металлические и деревянные конструкции», Россия, ShirokovViacheslav@gmail.com

² АО «НИИЦ «Строительство», д.т.н., профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», Россия, Belashta@mail.ru

³ ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», к.т.н., декан Строительно-технологического университета, Россия, nfyuj@rambler.ru

Ключевые слова: модульные здания, частота собственных колебаний, методы расчета, нагрузки, усилия

ANALYTIC METHOD OF MODULAR BUILDINGS STRESS-STRAIN BEHAVIOR CALCULATION

Shirokov V.S.¹, Belash T.A.², Gordeeva T.E.³

¹ Samara State Technical University, senior lecturer of the Department of Metal and Wood Structures, Russia, ShirokovViacheslav@gmail.com

² JSC Research Center of Construction, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Structures, Constructions and Materials, Russia, v_petrov@mail.ru

³ Samara State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Construction and Technology, Russia, av_petrov@mail.ru

Key words: modular buildings, natural vibration frequency, calculation methods, loads, internal forces

Активное внедрение модульных зданий в практику современного строительства вызывает необходимость развития методов их расчета. Основным инструментом расчета строительных конструкций являются программные комплексы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Однако при поиске рациональных конструктивных решений зданий и оценке качества принятых предпроектных решений данный метод является довольно трудоемким, т.к. требует составления большого числа расчетных схем. Поэтому создание аналитического метода расчета модульных зданий является актуальным направлением.

В данной работе рассматривается вопрос определения усилий в элементах модульных зданий с несущими колоннами и жесткими внутримодульными соединениями.

Определение усилий в элементах модульного здания от статических нагрузок (собственный вес, снеговая и полезная нагрузки) можно осуществлять с помощью известных аналитических решений, расхождение с результатами по МКЭ практически отсутствует. Более сложным является вопрос определения усилий от динамических воздействий (пульсация ветра, сейсмика). Основной характеристикой для определения данных воздействий является частота собственных колебаний зданий. Вопрос определения частот собственных колебаний рассматривался различными авторами [1-6]. В работе [6] на конкретных примерах показано, что упрощенные формулы определения первой частоты не всегда справедливы для модульных зданий.

Автором в работах [7, 8] показано, что для стальных зданий из составленных модулей с несущими колоннами и жесткими внутримодульными соединениями первая

собственная частота колебаний с высокой точностью вычисляется:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot E \cdot I_1 \cdot g}{c^2 \cdot G \cdot h^3 \cdot \left(1 + \frac{I_1 \cdot l_2}{I_2 \cdot h}\right)}} \quad (1)$$

Для определения усилий от пульсационного и сейсмического воздействий используется консольная схема сооружения с массами, собранными в уровне перекрытий. Тогда инерционные силы от пульсации ветра определяются:

$$w_i^p = m \cdot \xi_i \cdot \psi_i \cdot y_i \quad (2)$$

Сейсмическая нагрузка для i -ой формы колебаний:

$$S_{oik}^j = m_k^j \cdot A \cdot \beta_i \cdot K_\psi \cdot \eta_{ik}^j \quad (3)$$

После определения всех силовых воздействий аналитически вычисляются усилия в элементах модульных зданий. Для упрощения вычислений автором написана программа «Modular». Вычисление усилий с ее помощью занимает пару минут, поэтому она является удобным инструментом для поиска рациональных конструктивных решений модульных зданий.

Точность определения усилий аналитическим методом в сравнении с МКЭ проверена на примере модульного здания с параметрами из [9], нагрузки приняты для IV ветрового района, сейсмичность 8 баллов. На рисунке 1 показаны изменения изгибающих моментов в опорном сечении колонны модуля первого этажа.

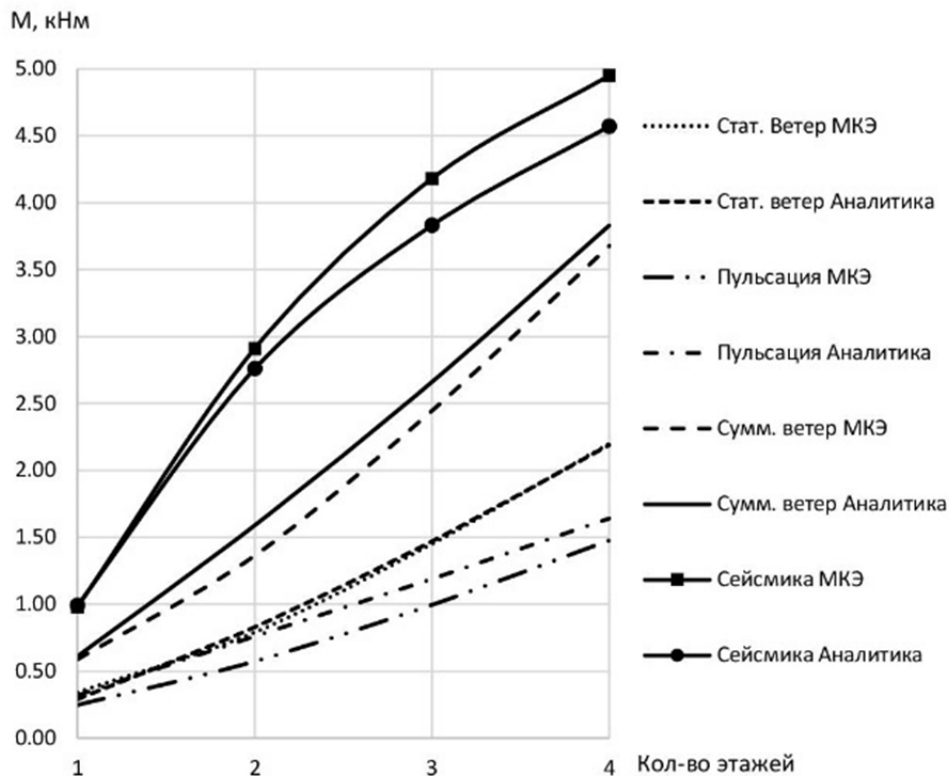


Рисунок 1 – Изменение опорных моментов в зависимости от этажности здания

Представленный аналитический метод определения усилий в элементах модуль-

ных зданий показывает хорошую сходимость результатов с МКЭ и является удобным для применения на стадии оценки проектных решений и поиска рациональных конструктивных решений модульных зданий.

Список использованных источников

1. *Annan C.D., Youssef M.A., El-Naggar M.H.* Seismic overstrength in braced frames of modular steel buildings // *Journal of Earthquake Engineering*. 2009. V. 13. Pp. 1-21. Doi: 10.1080/13632460802212576
2. *Zhao F., Yu Y., Lin S., Ding F.* Evaluation of the working mechanisms and simplified models of endplate-type inter-module connections // *Structures*. 2021. V. 32. P. 562-577. Doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.034
3. *Lacey A.W., Chen W., Hao H., Bi K.* Effect of inter-module connection stiffness on structural response of a modular steel building subjected to wind and earthquake load // *Engineering Structures*. 2020. V. 213. P. 110628. Doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110628
4. *Lacey A.W., Chen W., Hao H., Bi K.* Lateral behaviour of modular steel building with simplified models of new inter-module connections // *Engineering Structures*. 2021. V. 236. P. 112103. Doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112103
5. *Lacey A.W., Chen W., Hao H., Bi K.* Numerical study of the structural response to wind loading: modular building case study // *13th International Conference on Steel, Space and Composite Structures* 31 January - 2 February 2018, Perth, Australia. 2018. P. 1025
6. *Lacey A.W., Chen W., Hao H., Bi K.* Structural Response of Modular Buildings – An Overview // *Journal of Building Engineering*. 2018. V. 23. Pp. 45-56. Doi.org/10.1016/j.jobee.2017.12.008
7. *Shirokov V.S., Kholopov I.S., Solovjev A.V.* Determination of the frequency of natural vibrations of a modular building // *Procedia Engineering*. 2016. V. 153. P. 655-661. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.218
8. *Shirokov V.S., Gordeeva T.E., Bocharov A.Yu.* Analytic method of structural analysis of modular buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 775. P. 012148. Doi:10.1088/1757-899X/775/1/012148
9. *Gatheeshgar P., et al.* Flexural behaviour and design of modular construction optimised beams // *Structures*. 2021. V. 32. Pp.1048-1068. Doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.009

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ УПРУГОЙ ПЛАСТИНКИ, ЛЕЖАЩЕЙ НА ВЯЗКОУПРУГОМ ОСНОВАНИИ, С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ КЕЛЬВИНА-ФОЙГТА С ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ

Шутикова М.В.¹, Корнилова А.С.²

¹ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет", кафедра строительной и теоретической механики, Россия, *mvs@vgasu.vrn.ru*

²ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет", кафедра строительной и теоретической механики, Россия, *zkstasy@gmail.com*

Ключевые слова: упругая пластинка, вязкоупругое основание, модель Кельвина-Фойгта, производная дробного порядка

MODELING OF VIBRATIONS OF AN ELASTIC PLATE ON A VISCOELASTIC FOUNDATION USING THE KELVIN-VOIGT MODEL WITH FRACTIONAL DERIVATIVE

Shitikova M.V.¹, Kornilova A.S.²

¹Moscow State University of Civil Engineering, the Department of Structural and Theoretical Mechanics, Russia, *mvs@vgasu.vrn.ru*

²Moscow State University of Civil Engineering, the Department of Structural and Theoretical Mechanics, Russia, *zkstasy@gmail.com*

Key words: elastic plate, viscoelastic foundation, Kelvin-Voigt model, fractional derivative

В данном исследовании рассмотрены колебания шарнирно опертой по контуру линейно упругой пластинки на вязкоупругом основании (рис.1), демпфирующие свойства которого описываются моделью Кельвина-Фойгта с дробной производной [1].

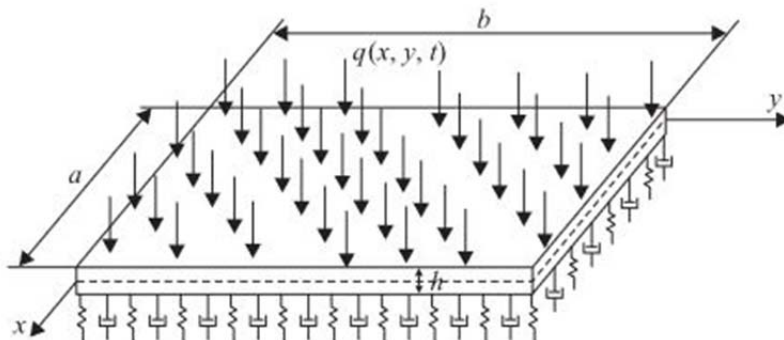


Рисунок 1 – Упругая пластинка на вязкоупругом основании

Динамическое поведение прямоугольной упругой пластинки Кирхгофа-Лява, лежащей на вязкоупругом основании, под действием внешней поперечной нагрузки $q = q(x, y, t)$ описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$D\nabla^2 w + \rho h \dot{w} = q - F, \quad (1)$$

где $w = w(x, y, t)$ – поперечное перемещение (прогиб пластинки), $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$

цилиндрическая жесткость пластины, E - модуль Юнга пластины, h - ее толщина, ∇^2 - бигармонический оператор, F - реакция вязкоупругого основания.

Будем предполагать, что демпфирующие свойства вязкоупругого основания описываются моделью Фусса-Винклера

$$F = \tilde{\lambda}w, \quad (2)$$

где $\tilde{\lambda}$ - оператор податливости вязкоупругого основания, демпфирующие свойства которого моделируются с помощью оператора Кельвина-Фойгта дробного порядка [2]

$$\tilde{\lambda} = \lambda_0(1 + \tau^\gamma D^\gamma), \quad (3)$$

λ_0 - коэффициент податливости основания, τ - время ретардации,

$$D^\gamma u = \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{u(t-t') dt'}{\Gamma(1-\gamma)t'^\gamma}, \quad 0 < \gamma \leq 1 \quad (4)$$

- дробная производная Римана-Лиувилля, $\Gamma(1-\gamma)$ - гамма-функция, γ - порядок дробной производной, который является параметром дробности подстилающей вязкоупругой среды.

Будем искать динамический прогиб пластинки с помощью разложения по собственным функциям задачи $W_{mn}(x, y)$ в виде

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn}(x, y)x_{mn}(t), \quad (5)$$

где $x_{mn}(t)$ - обобщенные перемещения, зависящие от времени.

Подставляя предполагаемые решения (5) в систему уравнений (1) и (2) с учетом соотношения (3), умножая каждое из полученных уравнений на $W_{mn}(x, y)$ и интегрируя по длине и ширине пластинки с учетом свойств ортогональности собственных функций, получим следующую систему дифференциальных уравнений относительно обобщенных перемещений x_{mn} :

$$x_{mn}'' + \Omega_{mn}^2 x_{mn} + \frac{\lambda_0}{\rho h} (1 + \tau^\gamma D^\gamma) x_{mn} = P_{mn}(t), \quad (6)$$

где

$$P_{mn}(t) = \frac{\int_0^a \int_0^b q(x, y, t) W_{mn}(x, y) dx dy}{\rho h \int_0^a \int_0^b [W_{mn}(x, y)]^2 dx dy},$$

$$\Omega_{mn}^2 = \frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)} \nabla^2 W_{mn}(x, y)$$

- квадраты собственных частот колебаний упругой пластинки.

Уравнения (6) для каждой фиксированной пары значений m и n в пространстве Лапласа сводится к следующему уравнению:

$$p^2 \bar{x}_{mn} + \omega_{mn}^2 \bar{x}_{mn} + \frac{\lambda_0}{\rho h} (p\tau)^\gamma \bar{x}_{mn} = \bar{P}_{mn}, \quad (7)$$

где p – переменная Лапласа, $\omega_{mn}^2 = \Omega_{mn}^2 + \frac{\lambda_0}{\rho h}$ – квадраты собственных частот колебаний системы «пластинка + основание».

Уравнение (7) с точностью до коэффициентов совпадает в пространстве Лапласа с уравнением вынужденных колебаний одномассовой механической системы в вязкоупругой среде, демпфирующие свойства которой описываются моделью Кельвина-Фойгта с дробной производной. Решение аналогичного уравнения для случая свободных колебаний осциллятора Кельвина-Фойгта было получено в [3]. Используя методику решения, предложенную в работе [3], к уравнению (7) и далее применяя обратное преобразование Лапласа, можно определить динамический прогиб пластинки (5).

Данные исследования выполнялись в рамках проекта РФФ № 21-19-00634.

Список использованных источников

1. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. Application of fractional calculus for dynamic problems of solid mechanics: novel trends and recent results. *Applied Mechanics Reviews*. 2010. Vol. 63. PaperID 010801.
2. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. Applications of fractional calculus to dynamic problems of linear and nonlinear hereditary mechanics of solids. *Applied Mechanics Reviews*. 1997. Vol. 50.P.15-67.
3. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V. Application of fractional derivatives to the analysis of damped vibrations of viscoelastic single mass systems. *Acta Mechanica*. 1997. Vol. 120.P. 109-125.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ БАЛКИ БЕРНУЛЛИ-ЭЙЛЕРА НА ВЯЗКОУПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ

Шитикова М.В.¹, Мондрус В.Л.², Гарбер Е.О.³

¹Московский Государственный Строительный Университет (Национальный Исследовательский Университет), Россия, *ShitikovaMV@mgsu.ru*

²Московский Государственный Строительный Университет (Национальный Исследовательский Университет), Россия, *MondrusVL@mgsu.ru*

³Московский Государственный Строительный Университет (Национальный Исследовательский Университет), Россия, *GarberEO@mgsu.ru*

Ключевые слова: численные методы, балка Бернулли-Эйлера, дробное исчисление, демпфирование, вязкоупругое основание, подвижная нагрузка

NUMERICAL ANALYSIS OF EULER-BERNOULLI BEAM ON VISCOELASTIC FOUNDATION UNDER MOVING LOAD

Shitikova M.V.¹, Mondrus V.L.², Garber E.O.³

¹Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Structural and Theoretical Mechanics, Russia, *ShitikovaMV@mgsu.ru*

²Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Structural and Theoretical Mechanics, Russia, *MondrusVL@mgsu.ru*

³Moscow State University of Civil Engineering, PhD student, Department of Structural and Theoretical Mechanics, Russia, *GarberEO@mgsu.ru*

Key words: numerical calculation methods, Euler-Bernoulli beam, fractional calculus, damping, viscoelastic foundation, moving load

В последнее время транспортные средства развиваются в сторону стремительного увеличения скорости и массы. На здания и сооружения возрастает динамическая нагрузка, а напряжения, возникающие от этой нагрузки, становятся больше, чем когда-либо.

Транспортные нагрузки являются подвижными, то есть переменными во времени и пространстве [1]. При анализе динамического поведения конструкций под действием подвижной нагрузки ключевое значение имеет выбор модели, описывающей сопротивление среды. В качестве объекта исследования была выбрана упругая балка Эйлера-Бернулли на вязкоупругом основании Винклера-Фусса, демпфирующие свойства которого описываются моделью Кельвина-Фойгта с дробной производной Грюнвальда-Летникова [2].

Внедрение в практику строительства новых материалов, технологий и конструктивных решений, усложнение конструктивных систем зданий и сооружений приводят к необходимости использования точных методов расчёта. Реальные материалы не являются чисто упругими, их свойства зависят от памяти системы, которые описываются вязко-упругими моделями на основе операторов дробного порядка, поскольку изменение порядка от нуля до единицы позволяет управлять вязкоупругими свойствами системы от чисто упругого до вязкого состояния соответственно.

Рассмотрим балку Эйлера-Бернулли под действием подвижной сосредоточенной силы (рис.1), уравнение движения которой имеет вид [1, 3]:

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + F_1 = P(t) \delta(x - x_0), \quad (1)$$

где $w(x, t)$ - динамический прогиб балки, F – площадь поперечного сечения, ρ – масса единицы объёма, $P(t)$ – внешняя подвижная нагрузка, EI – жесткость балки при изгибе, $\delta(x)$ – дельта-функция Дирака, $F_1 = \tilde{\lambda}w$ – реакция вязкоупругого основания Винклера-Фусса, $\tilde{\lambda} = \lambda_0(1 + \tau^\gamma D^\gamma)$.

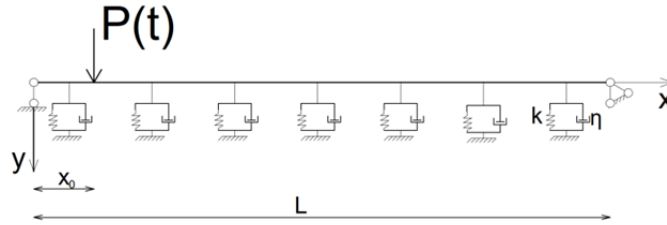


Рисунок 1 – Расчётная схема балки Эйлера-Бернулли на вязкоупругом основании Кельвина-Фойгта. Начальные и граничные условия примут вид:

$$\begin{aligned} w(x,0) &= 0, \quad \left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{t=0} = 0; \\ w(0,t) &= 0, \quad \left. \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|_{x=0} = 0; \\ w(l,t) &= 0, \quad \left. \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|_{x=l} = 0; \end{aligned} \quad (2)$$

Для анализа динамического поведения конструкций применяются различные численные методы, такие как метод конечных элементов [4], метод временных масштабов [5] и другие. В данной работе рассмотрено решение уравнение (1) с учётом граничных условий (2) методом конечных элементов с использованием дробного оператора Грюнвальда-Летникова.

Выводы. В данной работе показана зависимость амплитуд нелинейных колебаний от значений параметров дробности основания и представлены численные исследования для различных значений внешней нагрузки.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 21-19-00634.

Список использованных источников

1. Fryba L. Vibration of Solids and Structures under Moving Loads, Mechanics of Structural Systems, 1, Dordrecht, Springer, 1973, 484+xxvii pp
2. Rossikhin Yu. A., Shitikova M. V. Applications of fractional calculus to dynamic problems of linear and nonlinear hereditary mechanics of solids, Appl. Mech. Rev., 57:1 (1997), 15–67
3. Власов В. З., Леонтьев Н. Н. Балки, плиты, оболочки на упругом основании, Физ.-мат. лит., М., 1960, 492 с.
4. Angela Beltempo, Alessio Bonelli, Oreste S. Bursi, Massimiliano Zingales A numerical integration approach for fractional-order viscoelastic analysis of hereditary-aging structures, International Journal for Numerical Methods in Engineering Volume 121, Issue 6 p. 1120-1146.
5. Круссер А. И., Шитикова М. В. Численный анализ нелинейных колебаний пластины на вязкоупругом основании под действием подвижной осциллирующей нагрузки на основе моделей с дробными производными, Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки, 26:4 (2022), 694–714
6. Ждан Т. И. Действия подвижных нагрузок на балки Бернулли–Эйлера и Тимошенко, Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Матем., мех., 2019, № 5, 61–65; Moscow University Mechanics Bulletin, 74:5 (2019), 123–127.

СЕКЦИЯ 4. НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТНОМ ОБОСНОВАНИИ ПРОЕКТОВ И ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

УДК624.012

ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ.

Беглов А.Д.¹, Санжаровский Р.С.², Тер-Эммануильян Т.Н.³

¹Администрация Санкт-Петербурга, д.э.н., снс, губернатор, Россия, gubernator@gov.spb.ru,

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Казахстан, д.т.н., профессор,
milasanj@gmail.com

³ФГАОУ ВО "Российский университет транспорта", д.т.н., профессор кафедры теоретической
механики, Россия, tanya_ter@mail.ru

Ключевые слова: теория ползучести бетона, принцип наложения, мгновенные упругие деформации, пластический шарнир, длительное сопротивление железобетона, современные строительные нормы

PROBLEMS OF THE THEORY OF CALCULATION OF STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE PLASTIC PROPERTIES OF MATERIALS.

Beglov A.D.¹, Sanzharovskiy R.S.², Ter-Emmanuilyan T.N.³

¹Administration of St. Petersburg, Doctor of Economic Sciences, governor, Russia, gubernator@gov.spb.ru

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kazakhstan milasanj@gmail.com

³Russian University of Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of the Theoretical
Mechanics, Russia, tanya_ter@mail.ru

Key words: theory of concrete creep, superposition principle, instantaneous elastic deformations, plastic hinge, long-term resistance of reinforced concrete, modern building codes

Анализируемая теория применяется во многих странах, и содержит два самостоятельных направления: а) – теория устойчивости стержневых систем, в том числе плоских рам; б) – теория расчета элементов конструкций из различных материалов. Исследования показывают, что эти различные направления основаны на близких системах правил и принципов, рассматриваемых в докладе. Основная особенность этих теорий состоит в применении принципа пластического разрушения, он же пластический шарнир, наиболее просто обнаруживаемого в теории изгиба балок, что продемонстрировали G. Kazinczy и N. C. Kist [1-4].

Рассматривается сущность указанных теорий:

- исследуются аналитические условия возникновения пластического разрушения;
- рассматриваются упругая и упруговязкая составляющая направлений теории;
- оценивается упрощенный вариант теории, рассматривающий конструкцию как жестко-пластическую;
- анализируется эмпирическая составляющая теории; например, «формула суммирования опасностей», также другие составляющие.

Список использованных источников

1. Kazinczy G. Kiserletek befalazott tartokkal (Experiments with clamped girders). Betonszemle, 2, 68 (1914).
2. Girkmann K. Bemessung von Rahmentragwerken unter Zugrundelegung eines ideal – plastischen Stahles. S.B. Akad. Wiss. Wien (Abt. IIa), 140, 679 (1931)
3. Нил Б.Г. Расчет конструкций с учетом пластических свойств материалов., М. 1961 – 315 с.
4. Horne M. R. The stability of elastic – plastic structures. Progress in Solid Mechanics, №2, 1961, pp. 227-322.

НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК И ПЛИТ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ

Босаков С.В.¹, Козунова О.В.²

¹*Белорусский национальный технический университет, д.т.н., профессор кафедры «Математические методы в строительстве, Беларусь, sevibo@yahoo.com*

²*Белорусский национальный технический университет, к.т.н., доцент кафедры «Математические методы в строительстве», Беларусь, kozunova@gmail.com*

Ключевые слова: вариационно-разностный метод, балка, рама, конечные разности, функционал полной энергии

NONLINEAR CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS AND PLATES BY VARIATION-DIFFERENCE METHOD

Bosakov S.V.¹, Kozunova O.V.²

¹*Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mathematical Methods in Construction, Belarus, sevibo@yahoo.com*

²*Belarusian National Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical Methods in Construction, Belarus, kozunova@gmail.com*

Keywords: variational-difference method, beam, frame, finite differences, total energy functional

В современных нормативных документах РБ по расчету железобетонных конструкций по предельным состояниям [1] заложена нелинейная связь между деформациями и напряжениями. Ниже излагается подход, позволяющий определять усилия и перемещения в железобетонных балках и рамах на произвольную внешнюю нагрузку с учетом нелинейности. Подход основан на свойстве полной потенциальной энергии стержневой системы и действующей на нее нагрузке в состоянии статического равновесия иметь минимум [2]. Функционал полной энергии конструкции и действующей на нее нагрузки записывается в конечных разностях [3] через перемещения узлов конструкции с учетом переменной жесткости и учета деформаций изгиба и продольных деформаций, с использованием свойства жесткого узла стержневой системы [4]. Система разрешающих линейных уравнений на каждой итерации получается дифференцированием функционала по каждому из узловых перемещений. Изменение жесткости учитывается нелинейной зависимостью «жесткость-кривизна» [5,6], которая имеет стандартный вид (рис.1).

Первая итерация соответствует упругому решению для перемещений узлов конструкции. По ним находятся кривизны для каждого узла модели конструкции по методу конечных разностей обычной точности. На второй итерации по найденным перемещениям и зависимости «жесткость-кривизна» определяются значения изгибной жесткости для сечения, совпадающего с каждым узлом модели и составляется новый функционал полной энергии конструкции и действующей на нее нагрузки и производится его дифференцирование по каждому из перемещений. Снова получается система линейных алгебраических уравнений. Так организуется итерационный цикл, выходом из которого является ограничения разности между перемещениями узлов соседних итераций.

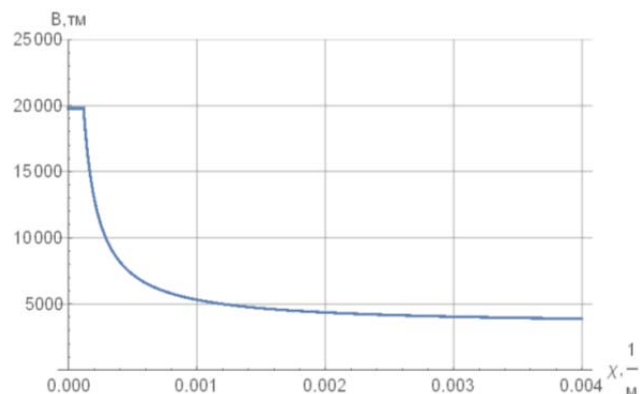


Рисунок 1 – Зависимость «жесткость - кривизна» для прямоугольного сечения

Найденные величины перемещений узлов модели позволяют найти по формулам сопротивления материалов изгибающие моменты и поперечные силы в сечениях модели конструкции. На рис. 2 приведены прогибы в железобетонной балке с левым защемлением и промежуточным шарниром под действием равномерно распределенной нагрузки по упругому и нелинейному решению.

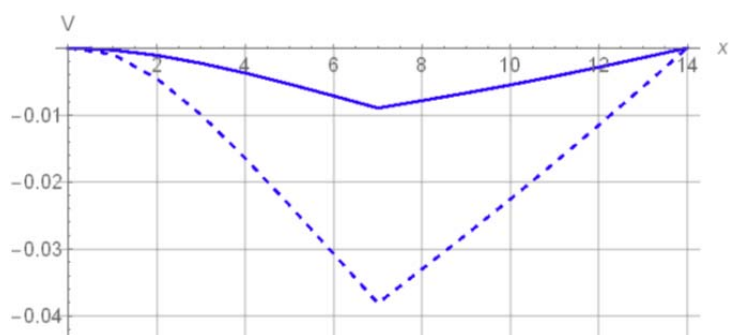


Рисунок 2 – Графики вертикальных перемещений балки (м) по упругому (сплошная линия) и нелинейному решению

В докладе приведены четыре примера расчетов статически определимых неопределимых балок и рам, которые показывают эффективность предлагаемой методики расчета железобетонных балок и рам.

Список использованных источников

1. СП 5.03.01-2020 Бетонные и железобетонные конструкции. Министерство архитектуры и строительства РБ. Мн., 2020. 236с.
2. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. М., Высшая школа, 1990. 400с.
3. Коллатц Л. Задачи на собственные значения. М., Наука, ФМ. 1968. 503с.
4. Рабинович И.М. Курс строительной механики. Часть II. Госстройиздат, М., 1954. 544с.
5. Соломин В.И., Шматков С.Б. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций. М., Стройиздат, 1986. 208с.
6. Козунова О.В. Нелинейный расчет железобетонной балки на упругом основании с помощью зависимости «жесткость-кривизна». Строительная механика и расчет сооружений, №1(300). 2022. С.37-46

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ОБОЛОЧЕК В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS

Ермакова Е.В.¹, Рынковская М.И.²

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», аспирант департамента строительства Инженерной академии РУДН, *ermakova-ev@rudn.ru*

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», к.т.н., доцент департамента строительства Инженерной академии РУДН, *rynkovskaya-mi@rudn.ru*

Ключевые слова: оптимальное проектирование, структурная оптимизация, оптимизация формы, оптимизационный модуль, математические методы

OPTIMIZATION OF THE SHAPE OF SHELLS IN THE COMSOL MULTIPHYSICS PROGRAM

Ermakova E.V.¹, Rynkovskaya M.I.²

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), PhD student, Department of Civil Engineering, Russia, *ermakova-ev@rudn.ru*

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil Engineering, Russia, *rynkovskaya-mi@rudn.ru*

Key words: optimal design, structural optimization, shape optimization, optimization module, mathematical methods

При проектировании различных типов конструкций и сооружений широко применяются методы оптимального проектирования, поскольку они позволяют не только выявить будущие характеристики объекта, но и осуществить его точную модель с использованием набора оптимизационных алгоритмов. В настоящее время архитектура всё больше усложняется, возникают инновационные пространственные формы конструкций. Структурная оптимизация является одной из задач оптимального проектирования, включающая в себя три вида исследований на основе конструктивных переменных: оптимизация размеров, формы и топологии. Чем сложнее проектируемая конструкция, тем выше эффект от применения методов её оптимального проектирования [2].

Оптимизация формы является одним из наиболее важных видов структурной оптимизации для пространственных покрытий (оболочек), при котором изменяются границы, формы и контуры исследуемого объекта при сохранении его первоначальной структуры-топологии без возникновения каких-либо отверстий в самой модели.

Появление цифрового моделирования значительно облегчило подход к оптимизации и её методам [1]. В последние годы появляются всё более мощные инструменты моделирования и анализа, которые позволяют архитекторам и инженерам генерировать и анализировать практически любую структурную форму. Существует ряд подходов к оптимизации конструкций и конструктивных решений с помощью ЭВМ, основными из них являются построение алгоритмов автоматизированного проектирования на основе теорий оптимального проектирования и использование минимизации (максимизации) целевой функции по определённому критерию [3]. Необходимые составляющие процесса оптимизации формы в расчётных программах приведены на рис. 1.

Расчётные программы могут включать в себя специальный модуль оптимизации (решатель), который основан на одном или нескольких математических методах и

содержит в себе множество настроек, что позволяет варьировать точность, качество и скорость вычислений.

Выделены наиболее используемые программные комплексы и их модули:

- Comsol Multiphysics – модуль Shape optimization.
- Ansys Mechanical – модуль Workbench – Structural optimization.
- Simulia Abaqus – модуль SIMULIA Tosca Structure Shape.



Рисунок 1 – Процесс оптимизации формы в расчётных программах

В качестве примера, проведён расчёт оболочек сложной и простой формы в программе Comsol Multiphysics в модуле Shape optimization с помощью трёхградиентных методов: MMA, GCMMA (метод подвижных асимптот), IPOPT (метод внутренней точки), SNOPT (разреженный метод нелинейной оптимизации).

Цель исследования заключается в детальном сравнении трёх методов друг с другом для выбора наиболее эффективного варианта оптимизации формы. Для каждого метода проводится анализ по следующим критериям: скорость получения результатов и наибольшее изменение геометрии модели.

Основные этапы исследования основаны на следующих разделах: изучение основного функционала решателей, моделирование и дальнейший расчёт оболочек с присвоением специальных критериев в программе, обзор полученных результатов и выбор наиболее оптимального решателя для расчёта.

Решатели IPOPT и SNOPT схожи по структуре, поэтому значения, полученные с использованием этих методов, не сильно отличаются, хотя с помощью метода IPOPT удалось добиться наиболее оптимального решения для оболочек. Наименьшие изменения в геометрии наблюдались с использованием метода MMA.

На выбор подходящего метода для оптимизации формы влияет не только сама суть задачи, но и геометрия модели [1].

Методы оптимизации предоставляют мощную систему оценки различных концептуальных идей проектирования с быстрым анализом преимуществ и недостатков подбираемых вариантов, исходя из критериев оптимальности. Необходимо отметить, что развитие технологии оптимизации в расчётных программных комплексах позволит получить наиболее правильные и эффективные решения в процессе проектирования оболочек любой формы.

Список использованных источников

1. Ermakova E., Elberdov T., Rynkovskaya M. Shape optimization of a shell in Comsol Multiphysics // Computation. 2022. № 4. 22 с.
2. Лесовик Р.В., Клюев С.В., Клюев А.В. Основы оптимизации строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. №2. С. 4–7.
3. Марчук И.Н., Уласевич В.П. Метод оптимизации сложных конструктивных решений на примере проектирования технологической площадки промздания // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) : сборник статей Международной научно-технической конференции. Брест. 2017. С. 115–121.

О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА

Котов А.А.¹

¹ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры строительства, энергетики и транспорта, Россия, kotovaa@mstu.edu.ru

Ключевые слова: модуль деформаций, ползучесть, расчетная модель бетона, численное моделирование, трещинообразование, относительная интегральная жесткость

ABOUT COMPUTER MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS BASED ON A UNIVERSAL MODEL OF DEFORMATION AND DESTRUCTION OF CONCRETE

Kotov A.A.¹

¹Murmansk State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Energy and Transport, Russia, kotovaa@mstu.edu.ru

Keywords: modulus of deformation, creep, design model of concrete, numerical modeling, cracking, relative integral stiffness

В качестве универсальной модели деформирования и разрушения бетона (УМДРБ) принята его модель, представленная в конечном варианте в работах [1, 2]. Эта модель построена с использованием некоторого количества параметров бетона, которые обычно не отражаются в нормативных документах по расчету железобетонных конструкций. Поэтому для обеспечения возможности ее применения для практических расчетов с использованием стандартных характеристик бетона нужно было связать нестандартные параметры УМДРБ с традиционными нормативными характеристиками бетона; это было выполнено в работе [3]. Далее в среде WolframMathematica была разработана программа, формирующая числовые массивы значений модуля деформаций бетона как функции уровней нагружения η и времени t для бетонов любого класса и любой влажности твердения [4]. Для удобства использования этих числовых массивов модулей деформаций для любого бетона они были аппроксимированы [5] аналитическим выражением

$$D_B^w(\eta, t) = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} \left(1 + a\varphi_{b,cr} s_t \cos(b\pi\eta) \right)$$

Здесь $\varphi_{b,cr}$ – нормативный коэффициент ползучести рассматриваемого бетона; s_t – функция развертки во времени, экспоненциально уменьшающаяся от 1 при $t = 0$ до 0 при $t \rightarrow \infty$ [5]. Параметры a и b зависят от класса бетона и влажности среды его твердения; их значения представлены в таблицах в работе [5]. Поверхность модулей деформаций для бетона В25 при средней влажности среды твердения, соответствующая приведенной аппроксимирующей формуле, представлена в работе [5].

На основе этой модели бетона был произведен конечноэлементный расчет железобетонной балки в модуле SCAD++. Тело бетона размерами 6000×320×480 мм моделировалось 8-узловыми объемными конечными элементами 50×40×40 мм; арматура продольная и поперечная (хомуты) из стержневых конечных элементов протягивалась по узлам бетонных элементов. Опорные зоны балки по краям глубиной 150

мм были податливы в вертикальном направлении (кирпичная постель высотой 3 м) и имели минимально необходимое количество горизонтальных связей. Нагрузка - равномерно распределенная по верхней грани, увеличиваемая ступенями в режиме с постоянной скоростью нагружения в течение 20 сут. до уровня примерно 85% от разрушающей. Затем выдержка под постоянной нагрузкой в течение 200 сут. и последующее догружение до разрушения с первоначальной скоростью.

В процессе нагружения балки приходилось менять расчетную схему балки путем добавления вертикальных трещин в растянутой зоне бетона, там, где имело место исчерпание несущей способности бетона на растяжение. Балка без трещин, балка с одной трещиной, балка с тремя трещинами, балка с пятью трещинами и т. д. – это все разные расчетные схемы. После начала образования очередной трещины в рамках текущей ступени нагружения приходилось выполнять несколько расчетных итераций до завершения роста трещины и достижения балкой стабильного состояния при данной ступени. Таким образом, хотя ступеней нагружения было всего 10 до длительной выдержки и 2 после нее до разрушения, расчетных итераций в процессе численного моделирования балки пришлось выполнить около 60-ти. Основным результатом этого численного моделирования состояния железобетонной балки в процессе указанного режимного нагружения является возможность представления всех параметров конструкции в любой момент времени и при любой нагрузке. На рис. 2 показаны деформированное (вертикальные перемещения) и напряженное (нормальные напряжения) состояния бетона и усилия в нижней продольной арматуре после длительной выдержки при уровне нагружения 0,85.

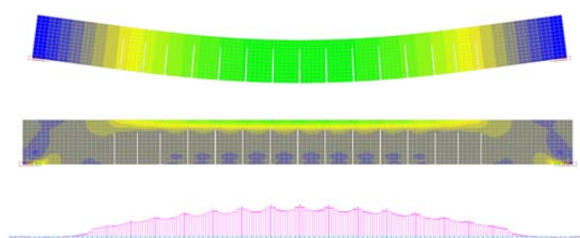


Рисунок 1 – Перемещения и напряжения в бетоне и усилия в арматуре

В качестве еще одного важного результата проведенного исследования можно отметить получение такой существенной характеристики балки с трещинами, как ее относительная интегральная жесткость, определяемая как отношение к прогибу реальной балки с трещинами прогиба виртуальной балки без трещин при одинаковых нагрузках. Здесь при уровне нагружения 0,7 прогиб в реальной балке составил 16,7 мм, а в виртуальной – 3,8 мм, так что относительная интегральная жесткость оказалась равна $3,8 / 16,7 = 0,23$.

Список использованных источников

1. Харлаб В.Д. Энергетическая теория нелинейной ползучести и длительной прочности хрупко разрушающихся материалов (III) // Исследования по теоретическим основам расчета строительных конструкций. Межвузовский тематический сборник трудов. Ленинград. 1983.С. 127–132.
2. Котов А.А. К теории ползучести и длительной прочности бетона // Вестник МГТУ. 2002. Том 5. № 2. С. 161–166.
3. Котов А.А., Власенко В.Н. О назначении параметров универсальной модели деформирования и разрушения бетона //Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 10 (100). С. 22-28.
4. Котов А.А.Модуль деформаций бетона как дискретная функция уровня нагружения и времени //Наука и образование-2021.Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Мурманск, 1 декабря 2021 г.). Мурманск. 2022.С. 328–388.
5. Котов А.А. Модуль деформаций бетона как функция уровня нагружения и времени //Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021.Сборник докладов Второй Национальной научной конференции (Москва, 8 декабря 2021 г.). Москва. 2022.С. 27–35.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС И РАЗРУШЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ В РАСЧЕТНОМ КОМПЛЕКСЕ SCAD OFFICE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ

Поздеев М.Л.¹, Лихачева С.Ю.², Смагин И.В.³,

¹ ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», аспирант кафедры теории сооружений и технической механики, Россия, maksim.leon.pz@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», к.ф.-м.н., доцент кафедры теории сооружений и технической механики, Россия, lihsvetlana@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», студент, Россия, ivsmag@vk.com

Ключевые слова: каменная кладка, деформационная теория пластичности, диаграмма деформирования, ниспадающая ветвь диаграммы деформирования, разупрочнение, метод конечных элементов, статистическая обработка

MODELING THE STRESS-STRAIN STATE AND FRACTURE OF MASONRY IN THE CALCULATION COMPLEX SCAD OFFICE USING THE DEFORMATION THEORY OF PLASTICITY

Pozdeev M.L.¹, Likhachyova S.Y.², Smagin I.V.³

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, PhD student, Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, maksim.leon.pz@yandex.ru

² Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory of Structures and Technical Mechanics, Russia, lihsvetlana@yandex.ru

³ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, student, Russia, ivsmag@vk.com

Key words: masonry, deformation theory of plasticity, deformation diagram, softening diagram, finite element method, statistical processing

Методы расчета по условным стержневым моделям, заложенные в нормативных документах по проектированию каменных конструкций [1] и обоснованные аналитическими подходами к расчету, в современных реалиях создают проблемы при их интерпретации в программах конечно-элементного анализа (например, SCAD Office) и предполагают создание для одного здания множество разрозненных расчетных схем. Для решения этой проблемы разработчики программного обеспечения вынуждены создавать инструменты автоматизации рутинных процессов для приведения сложного напряженного состояния к одноосному, заложенному в нормах. Все это усложняет процесс проектирования и препятствует развитию методов компьютерных расчетов каменных конструкций.

Современным подходом к расчету зданий и сооружений является расчет методом конечных элементов в пространственной постановке с учетом физической и геометрической нелинейности. Появление в последней версии СП15 [1] приложения Е «Расчет на вертикальную нагрузку каменных и армокаменных конструкций с использованием диаграмм деформирования» говорит об имеющемся запросе на создание методик расчета каменных конструкций с учетом физической нелинейности.

Эффекты псевдопластической работы каменной кладки позволяет учесть теория

пластичности, в которой можно выделить несколько направлений, отличающихся положенными в их основу гипотезами и допущениями о поведении среды. В работе [2] описано применение модифицированной деформационной теории пластичности, позволяющей учесть характер нагружения с использованием приведенной деформации и появление трещин за счет учета ниспадающей ветви диаграммы деформирования материала. Данная методика расчета реализована в нелинейном процессоре программного комплекса SCADOffice и использована в настоящей работе для анализа НДС конструкции каменных стен.

Приведенные в нормах логарифмическая и трехлинейная диаграммы деформирования кладки [1, 3], не имеют ветки разупрочнения материала и поэтому не могут быть использованы для расчетов по методу «рассеянных» трещин, реализованного в современных программных комплексах. Суть данного метода заключается в рассмотрении материала с трещинами, обладающего свойством псевдопластичности, как условной сплошной среды. Учет и нормирование ниспадающей части диаграммы позволяет учесть фактические эффекты перераспределения усилий внутри сечения конструктивных элементов и оценить реальное напряженное состояние в статически неопределимых системах. Сложность описания полной диаграммы работы каменной кладки обусловлена ограниченным количеством равновесных испытаний элементов каменной кладки, большой неоднородностью ее компонентов и различием деформационных характеристик камня и раствора.

В настоящей работе для определения характеристических точек диаграммы деформирования каменной кладки проведена статистическая обработка результатов экспериментальных исследований каменных столбов [4, 5]. В качестве базовой математической модели диаграммы принята диаграмма Европейской Комиссии по бетону [6]. Методом наименьших квадратов определены параметры характеристических точек U и C диаграммы (рис. 1) для различных соотношений прочности раствора и камня.

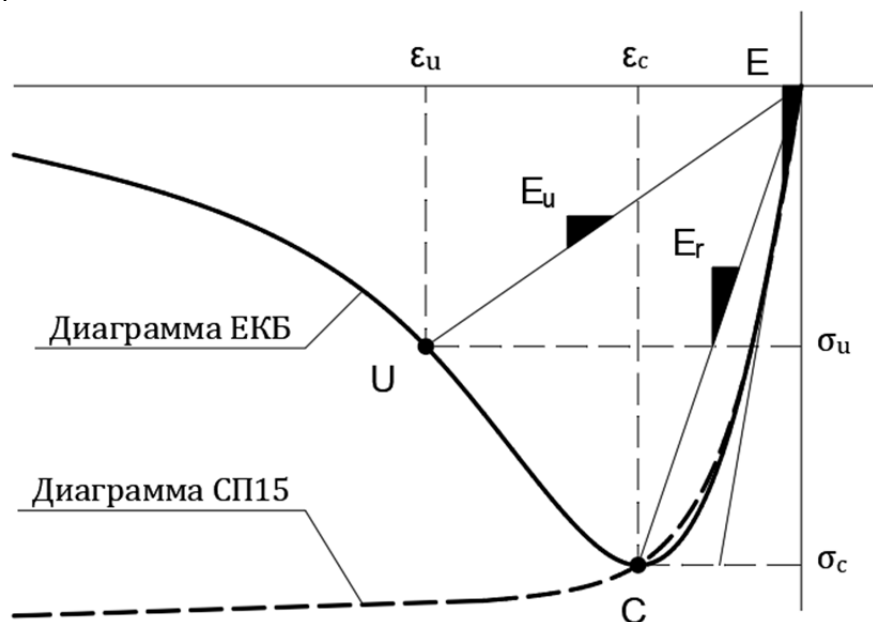


Рисунок 1 – Диаграммы деформирования при сжатии

Проведено сравнение результатов экспериментальных исследований [7, 8] неармированных каменных стен, при различном соотношении вертикальных и горизон-

тальных сил, с расчетом методом конечных элементов с использованием модифицированной деформационной теории пластичности. Полученные результаты подтвердили возможность использования программного комплекса SCAD Office для пространственного расчета многоэтажных зданий с учетом физической нелинейности каменной кладки.

Список использованных источников

1. СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81*;
2. *Фиалко С.Ю.* Применение метода конечных элементов к анализу прочности и несущей способности тонкостенных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности. М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательский дом АСВ, 2018. 192 с.;
3. *Онищук Л.И.* Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий. М.: Стройиздат, 1939. 208 с.;
4. *Hemant B. Kaushik, Durgesh C. Rai, Sudhir K. Jain, M.* Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression // Journal of Materials in Civil Engineering. India: 2007. p. 728-739. – DOI 10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728);
5. *Keun-Hyeok Yang, Yongjei Lee, Yong-Ha Hwang* A Stress-Strain Model for Brick Prism under Uniaxial Compression // Advances in Civil Engineering. Republic of Korea: Hindawi, 2019. p. 1-10. – DOI 10.1155/2019/7682575;
6. CEB-FIP Model Code 1990. Comite Euro-International du Beton. London: Thomas Telford Services Ltd, Thomas Telford House, 1993. p. 437;
7. *Артюшин Д.В.* Прочность стен из каменной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Пензенская гос. архит.-строит. акад. Пенза, 1999. 176 с.;
8. *Баранова Т.И.* Прочность и устойчивость каменных и армокаменных конструкций: моногр. / Т.И. Баранова, А.В. Туманов. – Пенза: ПГУАС, 2013. 280 с. – ISBN 978-5-9282-0907-0.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ БИЛИНЕЙНЫХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Позняк Е.В.¹, Радин В.П.², Новикова О.В.³, Киселев А.В.⁴, Иванова Ю.Ю.⁵

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), д.т.н., профессор кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин (РМДПМ), Россия, pozniakyv@mpei.ru

² НИУ «МЭИ», к.т.н., профессор кафедры РМДПМ, Россия, radinvp@mpei.ru

³ НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент кафедры РМДПМ, Россия, novikovaov@mpei.ru

⁴ НИУ «МЭИ», аспирант кафедры РМДПМ, Россия, kiselevavl@mpei.ru

⁵ НИУ «МЭИ», студент кафедры РМДПМ, Россия, ivanovayuly@mpei.ru

Ключевые слова: виброзащита, глобальная многомерная оптимизация, критерий оптимальности, нелинейные динамические системы, сейсмическое воздействие, методы поисковой оптимизации

FORMULATION OF THE PROBLEM OF OPTIMAL VIBRATION PROTECTION SYSTEMS BASED ON BILINEAR HYSTERESIS ELEMENTS AND APPROACHES TO ITS SOLUTION

Poznyak E.V.¹, Radin V.P.², Novikova O.V.³, Kiselev A.V.⁴, Ivanova Y.Y.⁵

¹ National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI), Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of the Robotics, Mechatronics, Dynamics and Strength of Machines (RMDSM), Russia, pozniakyv@mpei.ru

² MPEI, Professor of the Department of the RMDSM, Russia, radinvp@mpei.ru

³ MPEI, Associate Professor of the Department of the RMDSM, Russia, novikovaov@mpei.ru

⁴ MPEI, PhD student Department of the RMDSM, Russia, kiselevavl@mpei.ru

⁵ MPEI, student Department of the RMDSM, Russia, ivanovayuly@mpei.ru

Key words: vibration protection, global multidimensional optimization, optimality criterion, nonlinear dynamic systems, seismic impact, search optimization methods

Разработка оптимальных виброзащитных систем на основе нелинейных элементов с гистерезисом, таких как резинометаллических амортизаторов (РМА), сейсмоопор, подшипников и других элементов с трением [1, 2], приводит к задаче многомерной глобальной оптимизации с ограничениями:

$$\min_{\mathbf{H} \in D} f(\mathbf{H}) = f(\mathbf{H}_*) = f_*, \quad (1)$$

где f и f_* - целевая функция и ее оптимизированное значение, \mathbf{H} – вектор параметров виброзащитной системы, подлежащих оптимизации, \mathbf{H}_* - искомое оптимальное решение, D - множество допустимых значений вектора \mathbf{H} в виде ограничений-неравенств.

Каждый нелинейный элемент может иметь несколько оптимизируемых параметров. Так, поведение РМА при циклических нагрузках соответствует билинейной диаграмме с гистерезисом с четырьмя параметрами – предельные упругие сила и перемещение и предельные сила и перемещение в неупругом (пластическом) режиме [3, 4]. На параметры оптимизации накладываются ограничения-неравенства, связанные с требованиями алгоритма воспроизведения билинейного гистерезиса и правильной работы РМА в целом. Для задач оптимизации РМА эти ограничения линейные.

Цель оптимизации системы виброзащиты - снижение возмущений в механических конструкциях. Целевая функция принимается в виде квадратичной функции минимизации возмущений $f(\mathbf{H})$:

$$f(\mathbf{H}) = \frac{1}{2} \int_0^T \mathbf{X}^T \mathbf{Q} \mathbf{X} dt, \quad (2)$$

где $\mathbf{X} = (\mathbf{q} \quad \dot{\mathbf{q}})^T$ - вектор-столбец состояния конструкции с внедренной в нее виброзащитной системой, состоящий из обобщенных координат и скоростей \mathbf{q} и $\dot{\mathbf{q}}$, \mathbf{Q} - неотрицательно-определенная матрица весовых коэффициентов, T – длительность динамического воздействия. Размещая в блоках \mathbf{Q} матрицы жесткости и/или инерции, можно минимизировать потенциальную и/или кинетическую энергию механической системы. На вектор состояния \mathbf{X} также накладываются ограничения, связанные с условиями безопасности и комфортности. В зависимости от предназначения конструкции в качестве динамического воздействия рассматриваются сценарные сейсмические, вибрационные, технологические, тестовые (например, единичные ступенчатые) и другие нагрузки.

Сложность целевой функции (2) состоит в ее многомерности, нелинейности и недифференцируемости, определенной билинейной гистерезисной диаграммой деформирования, в наличии ограничений как на параметры элементов виброзащиты, так и на состояние конструкции. Для решения задачи (1-2) необходимо применять современные поисковые методы оптимизации. Наиболее перспективными выглядят методы, в основе которых лежит расчет целевой функции без вычисления производных, то есть методы случайного поиска (имитации отжига, «жадные» адаптивные алгоритмы и др.) и популяционные методы (генетические и другие эволюционные алгоритмы) [5].

Приведенная постановка оптимизационной задачи (1-2) иллюстрируется на примере балки на билинейных опорах с гистерезисным поведением (рисунок 1). В ПК Matlab разработана КЭ-модель балки на нелинейных опорах типа PMA, каждая опора имеет 4 оптимизируемых параметра гистерезиса. В качестве внешнего воздействия принимается вертикальное ускорение грунта. Исследуются возможности применения генетического алгоритма для определения оптимальных параметров опор.

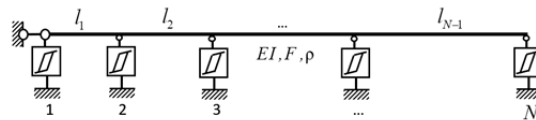


Рисунок 1 – Расчетная схема балки на опорах типа PMA

Список использованных источников

1. Мишенков, Г. В. Электрические и электронные аппараты. Прикладные задачи виброударозащиты: учебное пособие для академического бакалавриата / Г. В. Мишенков, Е. В. Позняк, В. Е. Хроматов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2018. — 151 с.
2. Радин В.П., Позняк Е.В., Новикова О.В., Чирков В.П. Разработка и исследование модели здания на резинометаллических сейсмоопорах // Вестник МЭИ. 2022. № 2. С. 105—112. Динамические характеристики и настройка виброизоляторов с билинейным гистерезисом Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – №12(753). – С. 14-23.
3. E. V. Poznyak, V. P. Radin, O. V. Novikova, V. P. Chirkov, O. A. Babin and S. F. Kuznetsov, "Dynamic Analysis of Systems with a Nonlinear Elastomeric Isolator in Simulink," 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), 2022, pp. 1-5
4. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. -М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. -2014.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Селезнев А.Д.¹, Кузнецова Н.В.²

¹ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, selezen95@yandex.ru*

² *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент, профессор
кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, nata-kus@mail.ru*

Ключевые слова: цементный композиционный материал, отходы производства ЦСП, прочность на сжатие

MATHEMATICAL MODELING IN THE DESIGN OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF BUILDING MATERIALS

Seleznev A.D.¹, Kuznetsova N.V.²

¹ *Tambov State Technical University, Postgraduate of the Department of Architecture and urban
planning, Russia, selezen95@yandex.ru*

² *Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of
the Department of Architecture and urban planning, Russia, nata-kus@mail.ru*

Key words: cement composite material, CBPB production waste, compressive strength

Производство строительных материалов открывает широкие возможности для утилизации техногенных отходов. В настоящий момент времени значительное количество новых строительных материалов основано именно на использовании отходов промышленности в таких классических материалах как, например, бетон. Существует значительное количество научно-исследовательских работ, посвященных изучению этого вопроса, так как при введении различных добавок необходимо проводить исследования зависимости физико-механических свойств полученного материала от компонентного состава смеси.

При этом существуют такие виды отходов, как отходы производства цементно-стружечных плит (ЦСП), использование которых в цементных композиционных материалах мало изучено, что затрудняет их переработку.

Возможным решением поставленного вопроса является использование отходов производства ЦСП в качестве частичной замены мелкого заполнителя в цементных композиционных материалах. Целью данного исследования являлось изучение прочностных качеств цементного композиционного материала с использованием отходов производства цементно-стружечных плит (ЦСП) различного фракционного состава.

Цементный композиционный материал с использованием отходов производства ЦСП состоит из следующих компонентов: портландцемент М500, мелкая и крупная фракции отходов производства ЦСП, кварцевый песок, вода, пластифицирующая добавка «Кратасол-ПФМ».

В соответствии с принятой целью исследования 28-дневную прочность на центральное сжатие $R_{сж}$ (функция Y_1), МПа, изготовленных цементных образцов исследовали экспериментально в зависимости от четырех факторов, характеризующих удельный вес в смеси выбранных компонентов: песка (фактор z_1), добавки отходов

ЦСП мелкой фракции (фактор z_2), добавки отходов ЦСП крупной фракции (фактор z_3) и воды (фактор z_4). Доли остальных компонентов смеси (цемент и пластификатор) были стабилизированы и не изменялись в процессе эксперимента.

При изучении свойств четырехкомпонентных смесей, зависящих только от соотношений компонентов, факторное пространство представляет собой правильный $(q - 1)$ -мерный симплекс, для которого в каждой точке выполняется соотношение:

$$z_1 + z_2 + z_3 + z_4 = 1.$$

При $q = 4$ правильным симплексом является тетраэдр, каждая вершина которого соответствует чистым компонентам. Ребро представляет собой двухкомпонентную систему, грань – трехкомпонентную. Точки внутри тетраэдра соответствуют четырехкомпонентным системам.

При планировании эксперимента предполагается, что изучаемое свойство является непрерывной функцией аргументов и может быть с достаточной точностью представлено полиномом. Эксперимент в данном исследовании реализован в соответствии с симплекс-центроидным планом Шеффе типа «состав-свойство» для четырех переменных, включающим $N = 15$ опытов [1]. Этот план предусматривает определенный порядок реализации измерений и разработку математической модели в виде неполного полинома третьей степени для переменных z_1, z_2, z_3, z_4 :

$$\hat{Y}_1 = a_1z_1 + a_2z_2 + a_3z_3 + a_4z_4 + a_{12}z_1z_2 + a_{13}z_1z_3 + a_{14}z_1z_4 + a_{23}z_2z_3 + a_{24}z_2z_4 + a_{34}z_3z_4 + a_{123}z_1z_2z_3 + a_{124}z_1z_2z_4 + a_{134}z_1z_3z_4 + a_{234}z_2z_3z_4 + a_{1234}z_1z_2z_3z_4.$$

В последующем, используя построенную по результатам измерений модель зависимости для прочности, предполагалось выполнить поиск оптимальных значений рассматриваемых факторов (удельного веса каждого из четырех компонентов), обеспечивающих выбранные параметры оптимальности.

В соответствии с планом эксперимента каждый из факторов z_1, z_2, z_3, z_4 следовало рассматривать на пяти уровнях: 0; 0,25; 0,333; 0,5; 1. Последнее условие не отвечало принятой цели исследования, поскольку не имело смысла, и было невозможно выполнить исследование в полном диапазоне изменения удельных весов выбранных компонентов (от 0 до 1). Практическое значение имели лишь такие пределы изменения факторов, которые отвечали реальным четырехкомпонентным составам смесей на базе цемента. По этой причине при реализации эксперимента было использовано локальное симплексное планирование в условиях ограничения пределов изменения всех выбранных факторов [2].

Результаты экспериментальных исследований показали, что существуют широкие возможности подбора различных сочетаний долей крупных и мелких фракций отходов ЦСП с получением прочности материала в диапазоне от 3,5 до 4,4 МПа с долей отходов производства ЦСП до 43 % от общей массы заполнителя.

Цементный композиционный материал с добавлением отходов ЦСП после проведения дополнительных исследований может использоваться в производстве стеновых блоков для возведения несущих конструкций, например, перегородок.

Список использованных источников

1. Зедгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976. – 390 с.
2. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСНОВАНИЯ ИЗ ОРТОТРОПНЫХ СЛОЕВ С УЧЕТОМ ИХ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ПСЕВДОНЕОДНОРОДНОСТИ

Трещев А.А.¹, Бесстраинов Д.О.²

¹ ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», заведующий кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции», д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН, Россия, *taa58@yandex.ru*

² ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», аспирант кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции», Россия, *mr.d-best@yandex.ru*

Ключевые слова: структурная ортотропия, слоистое основание, деформационная анизотропия, жесткий штамп, конечные элементы

MATHEMATICAL MODEL OF THE BASE OF ORTHOTROPIC LAYERS, TAKING INTO ACCOUNT THEIR DEFORMATION PSEUDOHETEROGENEITY

Treshchev A.A.¹, Besstrashnov D.O.²

¹ Tula State University, Head of the Department "Construction, Building Materials and Structures", Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the RAACN, Russia, *taa58@yandex.ru*

² Tula State University, graduate student of the Department "Construction, Building Materials and Structures", Russia, *mr.d-best@yandex.ru*

Key words: structural orthotropy, layered base, deformation anisotropy, rigid stamp, finite elements

Очевидно, что здания, имея фундамент, опираются на многослойной грунтовое основание с различными физико-механическими характеристиками слоев. В актуализированных нормах по проектированию оснований и фундаментов СП22.13330.2016 и в предыдущих версиях СНиПа это непременно учитывается. При этом расчеты основания проводятся в предположении механической изотропности или неоднородности по толщине каждого слоя. Однако эксперименты, проводимые с грунтами, зачастую демонстрируют проявление свойств структурной ортотропии в сочетании с деформационной анизотропией. Обычно при расчетах оснований этот факт не учитывается, что не всегда оправдано. Поэтому здесь предпринята попытка разработки математической модели деформирования слоистого основания с учетом структурной ортотропии свойств всех слоев и их деформационной анизотропии при его нагружении недеформируемым штампом, интерпретирующим жесткую подошву массивного фундамента. Деформационная анизотропия представлена как общеизвестный факт зависимости свойств грунтов от вида напряженного состояния [1, 2]. Для постулирования уравнений состояния ортотропной деформационно неоднородной среды слоев принята модель, сформулированная в рамках нормированного пространства напряжений, связанного с главными осями ортотропии и полученная на основе потенциала деформаций [3]:

$$e_{ii} = C_{iiii}\sigma_{ii} + C_{ijjj}\sigma_{jj} + C_{iikk}\sigma_{kk}; \quad \gamma_{ij} = C_{ijij} \tau_{ij} \text{ при } i \neq j, \quad (1)$$

$$\text{где } C_{iiii} = A_{iiii} + B_{iiii}\alpha_{ii} + 0, 5[B_{iiii}\alpha_{ii}(1 - \alpha_{ii}^2) - B_{jjjj}\alpha_{jj}^3 - B_{kkkk}\alpha_{kk}^3 - B_{ijij}\alpha_{ij}^3 - B_{jkjk}\alpha_{jk}^3 - B_{ikik}\alpha_{ik}^3] + B_{ijij}\alpha_{jj}(1 - \alpha_{ii}^2 - \alpha_{ii}\alpha_{jj}) + B_{ijij}\alpha_{kk}(1 - \alpha_{ii}^2 - \alpha_{ii}\alpha_{kk}) - B_{jjkk}\alpha_{jj}\alpha_{kk}(\alpha_{jj} + \alpha_{kk});$$

$$C_{ijj} = A_{ijj} + B_{ijj}(\alpha_{ii} + \alpha_{jj}); \quad C_{ikk} = A_{ikk} + B_{ikk}(\alpha_{ii} + \alpha_{kk});$$

$$C_{ijij} = A_{ijij} - (B_{iiii}\alpha_{ii}^3 + B_{jjjj}\alpha_{jj}^3 + B_{kkkk}\alpha_{kk}^3) - 2[B_{ijij}\alpha_{ii}\alpha_{jj}(\alpha_{ii} + \alpha_{jj}) +$$

$$+ B_{jjkk}\alpha_{jj}\alpha_{kk}(\alpha_{jj} + \alpha_{kk}) + B_{iikk}\alpha_{ii}\alpha_{kk}(\alpha_{ii} + \alpha_{kk})]; \quad C_{ijkm} = C_{kmij};$$

$$(i \rightarrow j \rightarrow k = 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3); \quad \alpha_{ij} = \sigma_{ij} / S \text{ – напряжения в нормированном про-}$$

странстве главных осей ортотропии; σ_{ij} – компоненты напряжений; $S = \sqrt{\sigma_{ij}\sigma_{ij}}$ – норма пространства; $\alpha_{ij}\alpha_{ij} = 1$ – условие нормировки пространства; A_{ijkm} , B_{ijkm} – параметры, вычисляемые по результатам обработки механических испытаний грунтов, которые определяют тензор податливостей четвертого ранга.

Традиционно основание моделируется деформируемым полупространством с дискретно определяемой лишь его дневной поверхностью без ограничений среды по трем осям. Однако при учете усложнений физических уравнений, для разработки математической модели слоистого основания, рациональным представляется использование метода конечных элементов. В данном случае необходимо использовать объемные элементы. При этом МКЭ оперирует с дискретными строго ограниченными областями, то есть модель основания должна строго определить ограничения на размеры выделенной из полупространства дискретной области. Подобные ограничения определяются несколькими последовательными расчетами разноразмерных областей по трем осям с окончательным ограничением для расчета. При этом ограничения зависят от размеров областей приложения нагрузки и определяются таким образом, что последующие увеличения размеров дискретной области никоим образом не будут сказываться на результатах расчета, то есть – когда получаемые перемещения и напряжения будут стабилизированы на всех границах. Здесь принята область, образованная семью слоями с отличающимися свойствами и ограниченная в зависимости от величины нагрузки и от размеров площадки ее приложения. Нагружение осуществлялось жестким штампом с равномерным ее распределением по его подошве.

В данном ключе была сформулирована математическая модель многослойного основания с воздействием на него жестким штампом. При этом слои основания составлены ортотропными структурами, которые чувствительны к виду напряженного состояния. Реализация этой модели ввиду нелинейности уравнений состояния выполнялась методом переменных параметров упругости итерационно. В остальном, что, несомненно, является преимуществом, расчетная процедура практически не отличается от классического МКЭ, базирующегося на объемных элементах в форме тетраэдра [4]. Конкретные расчеты с использованием разработанной модели позволяют утверждать, что учет двойной анизотропии слоев основания вскрывают заметные погрешности традиционных подходов по определению параметров его НДС. Так погрешности при расчете слоистого основания в определении горизонтальных и вертикальных перемещений достигают 81%, а напряжений – 28%.

Список использованных источников

1. Вялов, С.С. Вопросы теории деформируемости связанных грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1966. №3. С. 1–4.
2. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
3. Трещев А.А., Завьялова Ю.А., Лапина М.А. Вариант модели деформирования ортотропных композитных материалов // Эксперт: Теория и практика. 2020. №3(6). С. 62 – 68.
4. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals 7th Edition. – Butterworth-Heinemann, 2013. 756 p.

ПЛОСКАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ С КОНЕЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ В ЗОНЕ УГЛОВОГО ВЫРЕЗА ГРАНИЦЫ

Фриштер Л.Ю.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Высшая математика», Россия, FrishterLY@mgsu.ru*

Ключевые слова: обобщенные напряжения, конечные деформации, плоская деформация, полярная система координат, вынужденные деформации.

PLANAR PROBLEM OF ELASTICITY THEORY WITH FINITE DEFORMATIONS IN THE ZONE OF THE ANGULAR CUT OF THE BOUNDARY

Frishter L.YU.¹

¹ *National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, Russia, FrishterLY@mgsu.ru*

Key words: generalized stresses, finite deformations, plane deformation, polar coordinate system, forced deformations.

Сложное НДС возникает в области концентрации напряжений, которая обусловлена формой границы или "геометрическим фактором" и конечным разрывом заданных вынужденных деформаций, механических свойств, выходящим в нерегулярную точку границы области. Сложность анализа НДС в зоне углового выреза границы области обусловлена сингулярностью решения однородной краевой задачи упругости. Вычисление коэффициентов концентрации напряжений в области сингулярного решения упругой задачи теряет смысл.

Данные эксперимента показывают, что в области углового выреза границы имеются области, в которых решение определяется решением линейной краевой задачи теории упругости [1]. В этой области деформации малы и малы по сравнению с единицей. Учитываются линейные и угловые деформации, деформации поворота не учитываются, т.к. они имеют более высокий порядок малости, чем линейные деформации. В следующей зоне углового выреза границы наблюдаются некоторые нарушения линейного решения задачи упругости, по мере приближения к вершине выреза наблюдается увеличение значений и градиентов напряжений, деформаций.

Перемещения в зоне выреза и в самой вершине выреза непрерывны. За счет возрастания скорости изменения перемещений возрастают напряжения и деформации. При этом возрастают не только первые производные перемещений, но и вторые производные перемещений. Поэтому учет производных перемещений второго порядка в таких зонах позволит уточнить решение задачи теории упругости, что определяет необходимость учета конечных деформаций.

Цель работы: формулировка и анализ плоской задачи теории упругости в зоне углового выреза границы области с учетом физической линейности и геометрической нелинейности при действии вынужденных деформаций.

Задачи работы:

1. Вывод уравнений равновесия для плоского деформированного состояния в полярной системе координат в деформациях и перемещениях с учетом вынужденных деформаций.

2. Формулировка плоской задачи теории упругости для плоской области с учетом геометрической нелинейности, физически линейной при действии вынужденных деформаций – свободных температурных деформаций.

3. Анализ полученной плоской задачи теории упругости с учетом конечных деформаций физически линейной при действии свободных температурных деформаций.

Рассматривается плоская задача теории упругости для области, которая может иметь угловой вырез на границе области [2,3]. В плоской области действуют объемные силы, вынужденные деформации - свободные температурные деформации $\alpha T \delta_{ij}$. В области $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$ может быть задан скачок (конечный разрыв) вынужденных деформаций. Разрыв деформаций возникает, например, если в одной из подобластей Ω_2 области $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$ заданы температурные деформации $\alpha T \delta_{ij}$, вторая подобласть Ω_1 не нагружена. Область имеет модуль упругости E , коэффициент Пуассона ν , коэффициент линейного расширения областей Ω_1 и Ω_2 постоянный и равен α . Граничные условия области однородны.

Для однородного упругого тела в плоском деформированном состоянии [4,5], соотношения для деформаций и перемещений области Ω запишутся:

$$\begin{aligned} u_1 = u_1(r, \varphi, 0), \quad u_2 = u_2(r, \varphi, 0), \quad u_3 = u_3(r, \varphi, 0) = 0, \\ \varepsilon_{33} = 0, \quad \varepsilon_{13} = \varepsilon_{31} = 0, \quad \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32} = 0, \\ \sigma_{13}^* = \sigma_{31}^* = 0, \quad \sigma_{23}^* = \sigma_{32}^* = 0 \\ e_{13} = e_{31} = 0, \quad e_{23} = e_{32} = 0, \quad e_{33} = 0, \quad e_{33} = 0. \\ \varepsilon_{11} = e_{11} + \frac{1}{2} \left[e_{11}^2 + \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right)^2 \right], \quad \varepsilon_{22} = e_{22} + \frac{1}{2} \left[e_{22}^2 + \left(\frac{1}{2} e_{21} - \omega_3 \right)^2 \right], \quad \varepsilon_{12} = e_{21} = e_{12} + e_{11} \left(\frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 \right) + e_{22} \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{где } e_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial r}, \quad e_{22} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_2}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} u_1, \quad e_{12} = e_{21} = r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u_2}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial \varphi} = \frac{\partial u_2}{\partial r} - \frac{u_2}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial \varphi}, \\ \frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 = \frac{\partial u_2}{\partial r}, \quad \frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 = \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial \varphi} - \frac{u_2}{r}. \end{aligned} \quad (2)$$

Физические соотношения принимаются в форме Дюгамеля-Неймана:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \left(\sigma_{ij}^* - \frac{\nu}{1+\nu} s^* \delta_{ij} \right) + \alpha T \delta_{ij}, \quad (3)$$

где свободные температурные деформации $\alpha T \delta_{ij}$ действуют в одной из подобластей Ω_2 области $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$.

В соотношениях (3) напряжения и деформации понимаются как обобщенные.

Подставив в уравнения равновесия соотношения (1), (2) с учетом (3) получаются уравнения равновесия с учетом геометрической нелинейности при действии вынужденных деформаций. Анализируя порядок малости деформаций возможно записать уравнения равновесия в области углового выреза границы.

Список использованных источников

1. Метод фотоупругости / Г.Л.Хесин, Г.С. Варданян, В.Н. Савостьянов, Е.М. Швей, Л.Г. Мусатов, В.В. Павлов, В.В. Долгополов. М.: Стройиздат, т.3, 1975. 311с.
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. 1979. 560 с.
3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука. 1979. 744 с.
4. Новожилов В.В. Теория упругости. Судпромгиз. 1958. 370 с.
5. Бакушев С.В. Геометрически и физически нелинейная механика сплошной среды: Плоская задача. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 321с.

РАСЧЕТ СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ СТЕРЖНЕЙ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Шевченко А.В.¹, Баглаев Н.Н.²

¹АО «КТБ Железобетон», Россия, a.shevchenko@ktbbeton.com

²АО «КТБ Железобетон», Россия, n.baglaev@ktbbeton.com

Ключевые слова: железобетон, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, численные методы

CALCULATION OF COMPRESSED-BENDABLE ELEMENTS WITH PHYSICAL AND GEOMETRIC NONLINEARITY

Shevchenko A.V.¹, Baglaev N.N.²

¹KTБ BETON GROUP, Russia, a.shevchenko@ktbeton.

²KTБ BETON GROUP, Russia, n.baglaev@ktbbeton.com

Key words: reinforced concrete, physical nonlinearity, geometric nonlinearity, numerical methods

Требование действующих норм к расчетам в физической и геометрической нелинейности железобетонных конструкций [1], [3] очень мало овящено в методической и нормативной литературе. Возможным решением данной задачи является шагово-итерационный метод [3] с корректировкой жесткосных характеристик и учетом дополнительных моментов при продольном изгибе.

В качестве методического примера рассмотрим сжато-изгибаемый стержень с шарнирно закрепленными концами и нагруженным сосредоточенной сжимающей силой и изгибающим моментом. Разобьем стержень на отдельные участки. Жёсткости на каждом из них находим из системы уравнений:

$$D_{11} \frac{1}{\rho_x} + D_{13} \varepsilon_0 = M_x, \quad (1)$$

$$D_{31} \frac{1}{\rho_x} + D_{33} \varepsilon_0 = N, \quad (2)$$

В общем виде решение на каждом шаге можно записать в виде итераций [4]:

$$\left(\frac{1}{\rho_x} \right)_j^{(k)} = \frac{M_{x,j}}{D_{11,j}^{(k-1)}} - \left(\frac{D_{13,j}^{(k-1)}}{D_{11,j}^{(k-1)}} \right) (\varepsilon_0)_j^{(k-1)}, \quad (3)$$

$$(\varepsilon_0)_j^{(k)} = \frac{N}{D_{33,j}^{(k-1)}} - \left(\frac{D_{31,j}^{(k-1)}}{D_{33,j}^{(k-1)}} \right) \left(\frac{1}{\rho_x} \right)_j^{(k-1)}, \quad (4)$$

где (k)- номер итерации, j- шаг загрузки.

Перемещения складываются из прогибов от действия изгибающих моментов и прогибов стержня от сжимающей нагрузки. В общем виде вычисление деформаций на каждом шаге можно решить методом начальных параметров:

$$y_i = A_{y,i} \cdot y_0 + B_{y,i} \cdot \theta_0 + C_{y,i}, \quad (5)$$

$$\theta_i = A_{\theta,i} \cdot y_0 + B_{\theta,i} \cdot \theta_0 + C_{\theta,i}. \quad (6)$$

Для продольного изгиба величину перемещений выпучивания находим из зависимостей:

$$\left(\frac{f_0}{L}\right)^2 = -\frac{9}{2} \frac{\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right)}{\frac{\chi^2 L^2}{4} \left(2 - 3\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right) + \left(\cos\left(\frac{\chi L}{2}\right)\right)^3\right)}, \quad (7)$$

$$\chi^2 = \frac{N_{cr}}{D_i}, \quad (8)$$

где f_0 -прогиб в середине пролета при действии критической силы N_{cr} , L -пролет элемента.

Тогда распределение прогибов при начале координат на одном из концов стержня найдем по формуле:

$$f_i = \frac{N}{N_{cr}} \sin\left(\frac{\pi x_i}{L}\right), \quad (9)$$

где x_i - координата сечения, в котором определяются прогибы.

Расчёт сжато-изгибаемого элемента производим в следующем порядке:

- разбиваем элемент на отдельные участки,
- находим внутренние усилия от действия поперечной нагрузки,
- вычисляем дополнительный изгибающий момент от сжимающей силы Nf_i ,
- по методу начальных параметров определяем прогибы,
- по формулам (1)-(4) корректируем жесткости,
- весь процесс повторяется до сходимости (например, по максимальному моменту или жесткости), а также контроле предельных деформаций бетона и арматуры.

Разработанная методика позволяет рассчитывать несущую способность и устойчивость сжато-изгибаемых элементов в физически и геометрически нелинейной постановке. Следует отметить учет стадийности работы и начальных несовершенств в виде остаточных прогибов.

Список использованных источников

1. Методическое пособие. Расчет железобетонных конструкций без предварительно напряженной арматуры. Пособие к СП 63.13330 М.: Минстрой России, 2015.
2. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Минстрой России, 2017.
3. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Изд. «Наука», 1966. – 664 с.
4. Шевченко А.В., Давидюк А.А., Баглаев Н.Н. Метод итераций для расчета железобетонных элементов на основе нелинейной деформационной модели //Промышленное и гражданское строительство. 2022 №3. С. 13-18. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.03.13-18

СЕКЦИЯ 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И КОМПЛЕКСОВ НА СТАДИЯХ ИХ ВОЗВЕДЕНИЯ, РЕКОНСТРУКЦИИ, НАГРУЖЕНИЙ, СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ РАЗРУШЕНИЮ

УДК 624.075

ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ: ФАКТЫ, ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ, ОЦЕНКА МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПО РАСХОДУ МАТЕРИАЛОВ

Абдуллах Х.¹, Алехин В.Н.²

¹ ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет», аспирант кафедры САПР объектов строительства, Россия, husein.abdallah.1996@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой САПР объектов строительства, Россия, referetsf@yandex.ru

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, металлические конструкции, жесткость, устойчивость конструкций, ЛИРА САПР

PROGRESSIVE COLLAPSE: FACTS, POTENTIAL CAUSES, EVALUATION OF ANALYSIS METHODS BY MATERIALS CONSUMPTION

Abdullah H.¹, Alekhin V.N.²

¹ Ural Federal University, Ph.D. student at the Department of CAD Systems in Civil Engineering, Russia, husein.abdallah.1996@gmail.com

² Ural Federal University, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of CAD Systems in Civil Engineering, Russia, referetsf@yandex.ru

Key words: progressive collapse, steel structures, rigidity, stability of structures, LIRA SAPR

Progressive collapse is a phenomenon that occurs when a localized failure in a structure leads to the collapse of the entire structure. The importance of considering progressive collapse in the design and assessment of structures is emphasized, particularly in light of events such as the collapse of the World Trade Center towers on September 11, 2001. This article provides an overview of progressive collapse in structures, including its causes, mechanisms, and consequences. The article also discusses various design strategies and mitigation measures that can be employed to prevent or minimize the risk of progressive collapse according to different specifications and standards such as (ASCE 7-05, GSA Guidelines, EN 1990, SP 385, etc.). Also, the article will provide some examples of this kind of failure and the causes which led to full or partial collapse of the structures. Finally, will be carried out comparative analysis of various analysis methods based on a 3D numerical model for a 12-story steel structure, their evaluation by materials consumption and will be presented an algorithm for material consumption minimisation when the alternate load path direct design approach is used.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ. СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ

Баглаев Н.Н.¹, Шевченко А.В.²

¹АО «КТБ Железобетон», Россия, n.baglaev@ktbbeton.com

²АО «КТБ Железобетон», Россия, a.shevchenko@ktbbeton.com

Ключевые слова: сейсмоизоляция, динамические расчеты, сейсмическое воздействие, численные методы

MODELING OF SEISMIC ISOLATION SYSTEMS. COMPARISON OF APPROACHES

Baglaev N.N.¹, Shevchenko A.V.²

¹КТБ BETON GROUP, Russia, n.baglaev@ktbbeton.com

²КТБ BETON GROUP, Russia, a.shevchenko@ktbeton.com

Key words: seismic isolation, dynamic analysis, seismic impact, numerical methods

В настоящее время при проектировании зданий и сооружений с системами сейсмоизоляции применяется несколько подходов к расчету и анализу поведения здания. Наиболее частым случаем является разделение здания на подсистемы с выделением изолированной, неизолированной частей и самой системы изоляции. Альтернативная точка зрения – рассмотрение полной динамической модели с учетом демпфирования и реального распределения жесткостей.

Для моделирования влияния системы сейсмоизоляции применяется методика модификации воздействия, основанная на решении дифференциального уравнения для одномассовой системы, описываемое уравнением:

$$\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = -\ddot{X}(t),$$

В работе были рассмотрены различные подходы к расчету, как в виде конечно-элементного моделирования, так и в аналитической форме (в замкнутом виде). Представлены результаты расчетов и проведено сравнение подходов с точки зрения адекватности реальной работе и полноты учета различных факторов поведения системы.

Список использованных источников

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. М.: Минстрой России, 2022.
2. Пособие по проектированию зданий с системами сейсмоизоляции и системами динамического регулирования сейсмической реакции. – М.: Минстрой России, 2020.
3. ТКП ЕН Еврокод 8 Проектирование сейсмостойких конструкций, Минстрой Республики Беларусь, Минск, 2013

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЦЕНТРА КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «СИБИРСКИЙ КОЛЬЦЕВОЙ ИСТОЧНИК ФОТОНОВ» – ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЗДАНИЯ НАКОПИТЕЛЯ ДЛЯ РАСЧЁТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОСНОВНЫХ И ОСОБЫХ СОЧЕТАНИЯХ НАГРУЗОК

Вершинин В.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», старший преподаватель кафедры «Металлические и деревянные конструкции», Россия, vlodya_91@mail.ru

Ключевые слова: цифровой двойник, расчётные исследования, напряжённо-деформированное состояние, сочетания нагрузок

SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE SHARED RESEARCH FACILITY “SIBERIAN CIRCULAR PHOTON SOURCE” – A DIGITAL TWIN OF THE STORAGE RING BUILDING FOR NUMERICAL ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE, STRENGTH AND STABILITY OF THE LOAD-BEARING STRUCTURES UNDER BASIC AND SPECIAL LOAD COMBINATIONS

Vershinin V.V.¹

¹ *Moscow State University of Civil Engineering, Senior Lecturer of the Department of Structural Metal and Timber, Russia, vlodya_91@mail.ru*

Key words: digital twin, numerical analysis, stress-strain state, load combinations

В рамках научно-технического сопровождения проектирования и строительства центра коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов» (далее – ЦКП «СКИФ») осуществляется построение цифрового двойника (см. рисунок) здания накопителя ускорительно-накопительного комплекса ЦКП «СКИФ» с целью использования его в расчётных исследованиях напряжённо-деформированного состояния, прочности и устойчивости несущих конструкций при основных и особых сочетаниях нагрузок на различных этапах жизненного цикла объекта.

Здание накопителя ускорительно-накопительного комплекса ЦКП «СКИФ» – двухэтажное, кольцевой формы в плане с наружным диаметром 238.1 м и внутренним диаметром 118.5 м, с кровлей, имеющей односкатные участки с высотной отметкой верха +18.400 м и плоские участки с высотной отметкой верха +12.380 м. Конструктивно здание накопителя разделено на три кольца. Наружное кольцо (наружный диаметр – 238.1 м, внутренний диаметр – 222.4 м) и внутреннее кольцо (наружный диаметр – 143.6 м, внутренний диаметр – 118.5 м) – двухэтажные, с монолитным железобетонным рамно-связевым каркасом. Центральное кольцо, в котором располагается экспериментальный зал, – одноэтажное, с наружным диаметром 222.3 м и внутренним диаметром 143.7 м. Каждое кольцо располагается на своей фундаментной плите. Плиты наружного и внутреннего колец имеют толщину 0.8 м, а плита цен-

трального кольца – 1.5 м. Между собой плиты разделены деформационными швами в окружном направлении. Наружное и внутреннее кольца вместе с их фундаментными плитами также разбиты в окружном направлении на 20 секторов (угловой размер сектора – 18°), отделённых друг от друга деформационными швами в радиальном направлении. Центральное кольцо вместе со своей фундаментной плитой деформационных швов в радиальном направлении не имеет. В качестве несущих конструкций кровли центрального кольца выступают стальные стропильные фермы с длиной пролёта в осях 40.6 м, соединённые между собой пространственной системой связей. Стропильные фермы имеют криволинейные пояса и шарнирно-неподвижное опирание на вертикальные несущие конструкции наружного и внутреннего колец. Также между наружным и внутренним кольцами устроены пять переходных галерей. Несущие конструкции переходных галерей реализованы в виде пространственного блока из двух стальных ферм с параллельными поясами пролётом в осях 39.0 м, соединённых между собой в уровне нижнего пояса посредством балочной клетки, а в уровне верхнего пояса – системой горизонтальных связей. Фермы пространственного блока шарнирно-неподвижно опираются на вертикальные несущие конструкции наружного и внутреннего колец.

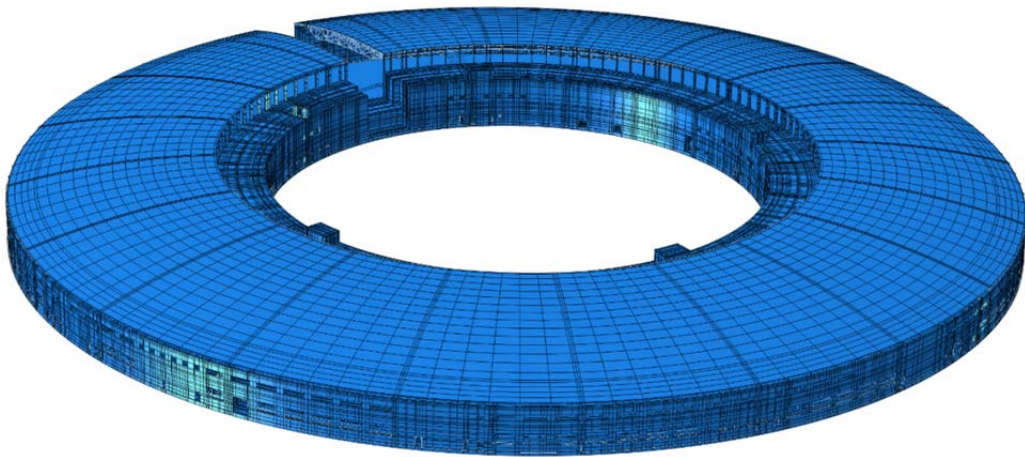


Рисунок 1 – Цифровая модель здания накопителя ЦКП «СКИФ»

Расчётные исследования напряжённо-деформированного состояния, прочности и устойчивости несущих конструкций здания накопителя при основных и особых сочетаниях нагрузок на разных этапах жизненного цикла объекта проводятся с помощью метода конечных элементов в трёхмерной геометрически нелинейной постановке. Для интегрирования уравнений движения по времени применяется явная конечно-разностная схема. Пространственная дискретизация цифровой модели объекта осуществляется с использованием как конечных элементов сплошной среды, так и стержневых и оболочечных конечных элементов. Учитываются физические нелинейные свойства материалов несущих конструкций объекта. В железобетонных конструкциях в явном виде задаётся армирование. Подробно моделируются опорные узлы стропильных ферм и переходных галерей, в том числе имеющиеся контактные взаимодействия отдельных элементов и болтовые соединения. Проводятся статические расчёты на основные сочетания нагрузок и динамические расчёты на особые сочетания нагрузок (сейсмическое воздействие интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64, прогрессирующее обрушение). Определяется напряжённо-деформированное состояние несущих конструкций объекта, оцениваются их прочность и устойчивость.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ ЗДАНИЯ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Глазков Д.С.¹, Козлов В.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», аспирант кафедры строительной механики, Россия, *glazckov.mitia@yandex.ru*

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», д.ф.-м.н., заведующий кафедрой строительной механики, Россия, *vakozlov@vgasu.vrn.ru*

Ключевые слова: сооружения сложной геометрической структуры, параметрическое моделирование, устойчивость здания к прогрессирующему обрушению, методы расчета, эффекты второго порядка

MODELING AND CALCULATION OF RESISTANCE TO PROGRESSIVE COLLAPSE OF A BUILDING OF COMPLEX GEOMETRIC SHAPE

Glazkov D.S.¹, Kozlov V.A.²

¹ *Voronezh State Technical University, PhD student, Department of Structural Mechanics, Russia, glazckov.mitia@yandex.ru*

² *Voronezh State Technical University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Structural Mechanics, Russia, vakozlov@vgasu.vrn.ru*

Key words: structures of complex geometric structure, parametric modeling, building's resistance to progressive collapse, calculation methods, second-order effects

Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению ответственных зданий, имеющих сложную геометрическую форму, является комплексной инженерной задачей, связанной, в первую очередь, с необходимостью моделирования геометрии объекта с учётом стадийности его возведения. Современная парадигма проектирования таких зданий состоит из нескольких этапов: создания физической модели в какой – либо САПР, перевод данной модели в аналитическую (промежуточный этап, необходимый для грамотного представления объекта в КЭ-комплексе), передача и доработка расчетной модели здания в таком комплексе. При этом возникает ряд проблем, таких как трудоемкость процесса моделирования объекта сложной геометрии, занимающего много времени; необходимость ручной корректировки параметров конструкций или целого здания на стадии разработки нового проекта или изменении проектного решения, например, при реконструкции здания; корректность представления конструкций объекта в виде тех или иных конечных элементов (линейных, пластинчатых (плоских), объемных), необходимость учета нескольких и даже множества сценариев локального обрушения конструкций, получение корректного напряженно-деформированного состояния конструкций на момент времени перед отказом элемента и др. [2, 3].

В качестве возможного решения обозначенных проблем в данной работе предлагается одна из схем расчета зданий сложной геометрической формы не только на устойчивость к прогрессирующему обрушению, но и на ряд других инженерных проблем с использованием связки из таких программных комплексов, как Rhinoceros 3D (и его плагин Grasshopper) – Сапфир-3D–Лира-САПР.

Основной идеей, лежащей в использовании данной связки, является параметри-

ческое моделирование – представление взаимосвязей между отдельными конструкциями, между конструкциями и нагрузкой и др. в виде визуального кода – набора кодов [1]. Процесс моделирования здания кратко можно обозначить следующим образом (рис. 1): создание модели здания с необходимыми для проектировщика взаимосвязями между элементами посредством визуального кода в Rhinoceros-3D (Grasshopper), передача модели и ее доработка с включением дополнительных факторов, например, характеристик материалов, нагрузок, грунта основания и др. в Сапфир-3D, в завершение реализация модели в КЭ-комплексе ЛИРА-САПР, в котором и происходит расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Между программами существует взаимосвязь при помощи специальных надстроек, так что процесс моделирования можно автоматизировать весьма существенно.

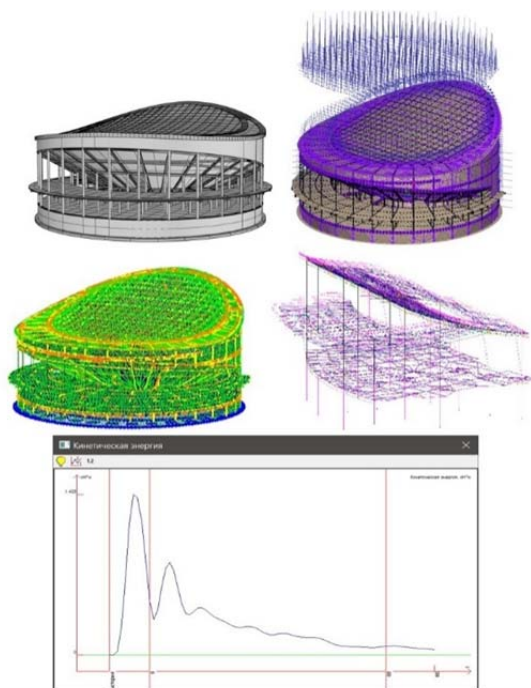


Рисунок 1 – Краткое представление последовательных этапов реализации расчета на устойчивость к прогрессирующему обрушению от создания модели до динамического анализа

Реализация данного расчета в виде логических программно-взаимосвязанных между собой этапов позволяет экономить время, проверять возникающие идеи в процессе моделирования за короткий срок, упростить внесение изменений и корректировок, рассмотреть множество сценариев локального обрушения, что немаловажно для такой многофакторной задачи как расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

Список использованных источников

1. Шумилов К.А., Гурьева Ю.А. Применение Grasshopper, Rhino, Archicad для моделирования различных форм архитектурных объектов, содержащих элементы сложной геометрии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. №3 (41). С. 92-95.
2. Долганов А.И. Об учете прогрессирующего разрушения при проектировании // Надежность. 2020. №1. С. 20-24.
3. Ведяков И.И., Еремеев П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №4. С. 16–24.

ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ТЕАТРА ОПЕРЫ И БАЛЕТА В Г. СЕВАСТОПОЛЬ И Г. КАЛИНИНГРАД

Дмитриев Д.С.¹, Белостоцкий А.М.², Павлов А.С.³, Нагибович А.И.⁴

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., ст. науч. сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, зав. отделом расчетных исследований. Россия, stadyo@stadyo.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), д.т.н., академик РААСН, научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, ген. директор. Россия, amb@stadyo.ru

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., руководитель отдела расчетных исследований и разработок Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, ведущий инженер-расчетчик. Россия, a.pvlv@yandex.ru

⁴ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., директор Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, гл. специалист. Россия, noccm@mgsu.ru

Ключевые слова: численное моделирование, комплексное научно-техническое сопровождение, расчетное обоснование проектов, уникальное строительство.

FEATURES AND PROBLEMS OF COMPREHENSIVE SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT IN DESIGNING UNIQUE OBJECTS ON THE EXAMPLE OF THE OPERA AND BALLET THEATER IN SEVASTOPOL AND KALININGRAD

Dmitriev D.S.¹, Belostotskii A.M.², Pavlov A.S.³, Nagibovich A.I.⁴

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov. R&D Center StaDyO, Head of the Computational Research Department, Russia, stadyo@stadyo.ru

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Academician of the RAACS, scientific supervisor. R&D Center StaDyO, general Director, Russia, amb@stadyo.ru

³Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, Head of Computational research and development department of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia. R&D Center StaDyO, lead structural analysis engineer. a.pvlv@yandex.ru

⁴Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, Director of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia. R&D Center StaDyO, head specialist. noccm@mgsu.ru

Key words: numerical modeling, complex scientific and technical support, calculation justification of projects, unique construction.

Комплексное научно-техническое сопровождение (НТС) проектирования является неотъемлемой частью реализации уникальных строительных объектов. И несмотря на отсутствие четко регламентированного состава НТС в действующих нормативных до-

кументах, в практике уникального строительства последние годы сформировалось понимание, какие работы должны входить в состав реального НТС, а также, какие требования необходимо предъявлять к коллективам, выполняющим эти работы.

В рамках современного НТС проектирования уникальных объектов особое внимание необходимо уделять:

1. Определению и назначению климатических нагрузок (прежде всего ветровые и снеговые).
2. заданию сейсмических воздействий для объектов, расположенных в сейсмоактивных зонах.
3. Проведение обязательных альтернативных расчетных исследований (на основное и особое сочетание нагрузок и воздействий), с последующим анализом результатов и приведением проектных и альтернативных расчетов к должному соответствию.
4. Обоснованию уникальных технически сложных конструктивных узлов конструкций.

В настоящем докладе, на примере двух уникальных объектов – театров оперы и балета в г. Севастополь и г. Калининград, подробно рассматриваются особенности и проблемы проведения комплексного научно-технического сопровождения проектирования.

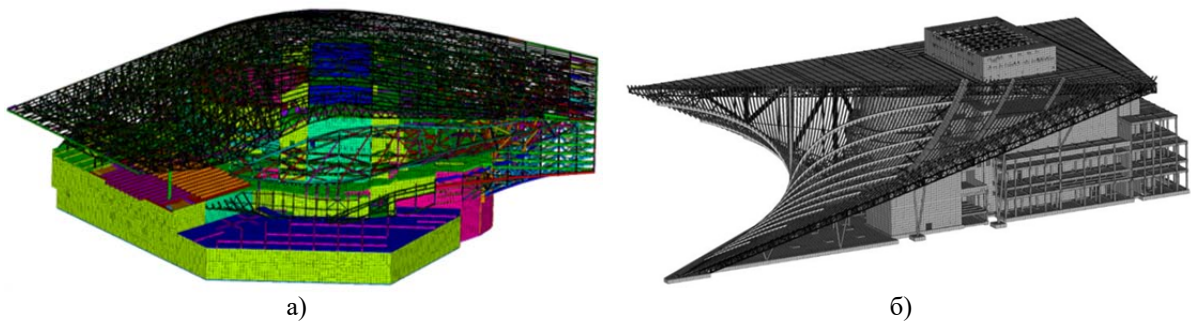


Рисунок 1 – а) КЭ модель театра оперы и балета в г. Севастополь
б) КЭ модель театра оперы и балета в г. Калининград

Список использованных источников

1. Белостоцкий А.М., Акимов П.А. Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Т. 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО. М.: Издательство АСВ, 2016. 426 с.
2. Белостоцкий А.М. Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, Т.Б. Кайтуков. – Издательство АСВ. – Москва, 2018. – 712 с.
3. Белостоцкий, А.М., Павлов А.С. Методика и результаты численного моделирования процессов деформирования и обрушения зданий и сооружений при аварийных и экстремальных воздействиях // Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов: в 2 т. – Москва: Издательство АСВ, 2016. – Т. 2. – С. 108-124

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Долматова М.С.¹, Соломатин Е.О.², Фролов М.Ю.³

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, *dolmatova.m.s7@gmail.com*

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, *gsiad_tambov@mail.ru*

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, *makas.frolov@yandex.ru*

Ключевые слова: информационное моделирование, инженерные изыскания, реконструкция автомобильных дорог

SIMULATION THE RESULTS OF GEODETIC SURVEYS OF A RECONSTRUCTED ROAD SECTION

Dolmatova M.S.¹, Solomatin E.O.², Frolov M.U.³

¹ Tambov State Technical University, graduate student of the Department of Urban construction and highways, Russia, *dolmatova.m.s7@gmail.com*

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban construction and highways, Russia, *gsiad_tambov@mail.ru*

³ Tambov State Technical University, graduate student of the Department of Urban construction and highways, Russia, *makas.frolov@yandex.ru*

Key words: information modeling, engineering surveys, reconstruction of roads

Формирование информационных моделей строящихся и реконструируемых объектов капитального строительства, в том числе автомобильных дорог, финансируемых из государственного бюджета, с недавнего времени стало неотъемлемой частью процесса проектирования [1, 2].

Информационной моделью автомобильной дороги можно назвать совокупность данных, описывающих инженерно-геодезическую, геологическую, гидрометеорологическую, экологическую, геотехническую информацию об объекте и прилегающей к нему территории, проектные решения, а также изменения атрибутивных и геометрических данных элементов линейного сооружения в течение его жизненного цикла, представленные в цифровом объектно-пространственном виде.

Первым этапом моделирования является создание инженерной цифровой модели местности (ИЦММ) или модели инженерных изысканий, основной задачей которой является формирование пространственной среды исследуемой территории в цифровом виде. Принципы создания такой модели зависят прежде всего от этапа жизненного цикла автомобильной дороги и различаются при строительстве нового и переустройстве существующего линейного объекта.

В общем виде инженерная цифровая модель автомобильной дороги состоит из отдельных цифровых моделей местности (ЦММ), включающих в себя всю необходимую изыскательскую информацию по объекту и прилегающей к нему местности: инженерно-геодезическая ЦММ, инженерно-геологическая ЦММ, инженерно-гидрометеорологическая ЦММ, инженерно-экологическая ЦММ и т.д.

Основным элементом модели инженерных изысканий является инженерно-геодезическая ЦММ, содержащая цифровую модель исследуемого линейного сооружения в объектно-пространственном виде, его геометрические, конструктивные, эксплуатационные и другие данные, а также сведения и характеристики рельефа местности, точечных, линейных, площадных и водных объектов, трубопроводов различного назначения, электрических и кабельных сетей, примыкающих автомобильных и железных дорог, зданий и сооружений, расположенных в полосе отвода объекта исследования. Объем вносимой информации в ИЦММ зависит прежде всего от вида производимых работ и требований к уровню проработки информационной модели.

Формирование цифровой модели реконструируемой автомобильной дороги, рельефа прилегающей территории и элементов обустройства объекта осуществляется при камеральной обработке результатов геодезических изысканий в специализированных программных комплексах. Принцип создания цифровой модели заключается в создании поверхностей в виде триангуляционной сети и размещении на этой поверхности ситуационных объектов. Поверхность рельефа строится по съемочным точкам, а поверхность автомобильной дороги по точкам, объединенным в структурные линии, т.е. линии, обладающие определенными семантическими свойствами (например, ось, бровка или кромка автомобильной дороги) и однозначно определяющие триангулирование участка поверхности. Построенная поверхность представляется в виде набора элементарных плоскостей (треугольников), каждый из которых строится по трем соседним точкам или вершинам структурных линий. Далее каждому набору треугольников присваивается семантическая информация о принадлежности к определенным элементам исследуемого объекта – проезжей части, обочине, откосам, рельефу и т.д. К ситуационным объектам, относящимся к обустройству автомобильных дорог, можно отнести: искусственные сооружения (водопрпускные трубы, мосты), элементы водоотвода, автобусные остановки, дорожная разметка, дорожные знаки, ограждения, светофоры и т.д. К ситуационным объектам, располагаемым в пределах полосы отвода исследуемой дороги, можно отнести перечисленные ранее – точечные, линейные и площадные объекты (столбы ЛЭП, инженерные коммуникации, сельскохозяйственные угодья), различные здания и сооружения. Местоположение ситуационных объектов задается по точкам геодезической съемки, а внесение информации о назначении и параметрах различных объектов вводится вручную или рассчитывается автоматически при создании пространственных объектов в среде ИЦММ (рисунок 1).

Таким образом создание инженерной цифровой модели местности позволяет проектировщикам получать полный объем информации по реконструируемому объекту и, как следствие, значительным образом снижать количество возможных ошибок на стадии проектирования, связанных с человеческим фактором или непроработанностью пространственной геометрии сопряжения отдельных элементов проектируемой автомобильной дороги.

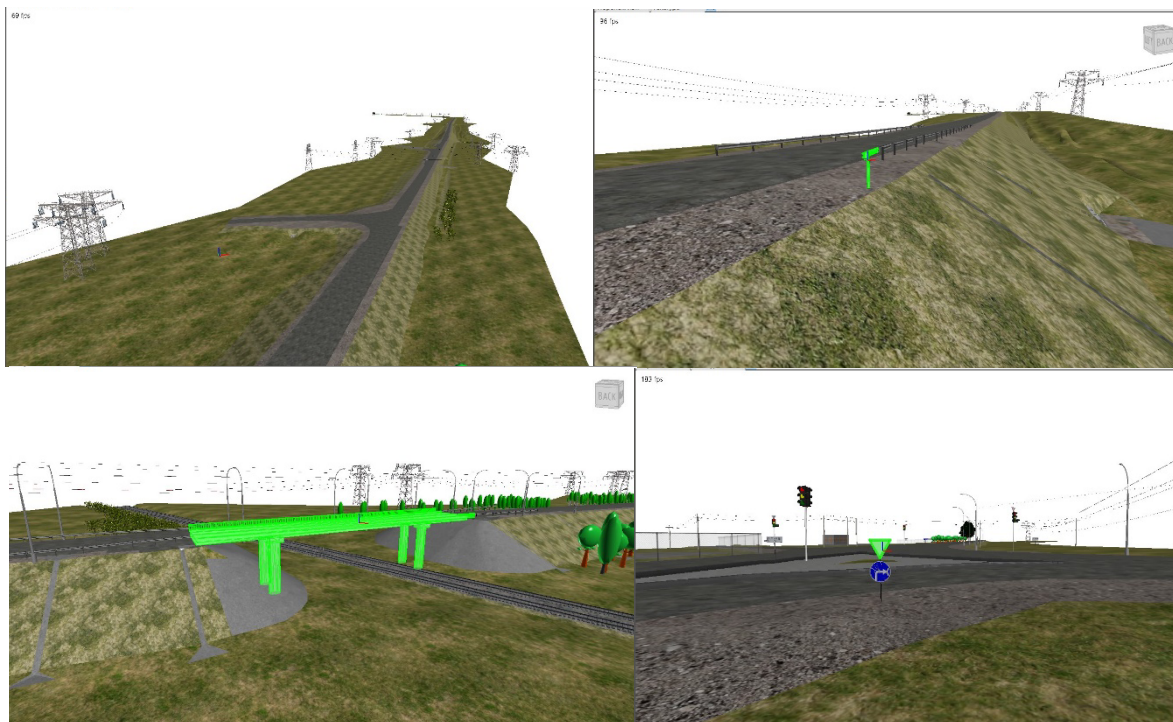


Рисунок 1 –Общий вид инженерной цифровой модели реконструируемой автомобильной дороги

Список использованных источников

1. *Беляев, Д.С.* Создание инженерной информационной модели участка автомобильной дороги / *Д.С. Беляев, Д.А. Зарапина, Е.О. Соломатин* // Современная наука: теория, методология, практика. Материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции. 2022. С. 130-134.
2. *Соломатин Е.О.* Формирование проектной информационной модели капитального ремонта автомобильной дороги / *Е.О. Соломатин, А.Ф. Третьякова*// Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт. Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е.М. Тамбов, 2022. С. 350-354.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ РАМ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ НА СЖИМАЕМОМ ОСНОВАНИИ

Казаков А.М.¹, Маркин И.А.², Евдокимцев О.В.³, Монастырев П.В.⁴

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, kavuzz@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, igormarkin09@gmail.com

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, gent_tam@mail.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., директор института архитектуры, строительства и транспорта, Россия, monastyrev68@mail.ru

Ключевые слова: расчетная модель, стальные рамы переменного сечения, напряженно-деформированное состояние

COMPUTER SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF STEEL FRAMES OF VARIABLE CROSS-SECTION ON A COMPRESSIBLE BASE

Kazakov A.M.¹, Markin I.A.², Evdokimtsev O.V.³, Monastyrev P.V.⁴

¹ Tambov State Technical University, master's student of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, kavuzz@yandex.ru

² Tambov State Technical University, master's student of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, igormarkin09@gmail.com

³ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, gent_tam@mail.ru

⁴ Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Architecture, Construction and Transport, Russia, monastyrev68@mail.ru

Key words: calculation model, steel frames of variable cross-section, stress-strain state

Массовое применение стальных рамных конструкций переменного сечения началось сравнительно недавно [1]. Исследованию влияния податливости основания на напряженно-деформированное состояние стальных одноэтажных рам посвящено достаточное количество работ [2-4], однако они не касаются стальных рам переменного сечения. В данном докладе рассмотрены результаты компьютерного моделирования НДС стальных рам переменного сечения на сжимаемом основании, выполненные в вычислительном комплексе SCADOFFICE. Основные реализованные расчетные модели и исследуемые параметры показаны на рис. 1 и в табл. 1. Исследование показало значительное влияние (до 25%) используемых расчетных моделей и параметров основания на вычисленные напряжения в сечениях рам (рис. 2).

Основной вывод представленных исследований – необходимость учета сжимаемости основания при расчете стальных рам переменного сечения. Использование расчетных моделей, учитывающих реальную податливость основания, позволит оптимизировать сечения стальных рам переменного сечения.



Рисунок 1 – Расчетные схемы однопролетной пластинчатой (а), двухпролетной пластинчатой (б) и двухпролетной стержневой пространственной рам

Таблица 1

Выполненное компьютерное моделирование

Параметр	Однопролетная рама	Двухпролетная рама
Стержневая плоская рама на несжимаемом основании	+	+
Пластинчатая плоская рама на несжимаемом основании	+	+
Стержневая пространственная рама на несжимаемом основании	-	+
Пластинчатая пространственная рама на несжимаемом основании	+	-
Нелинейный расчет	+	+
Моделирование податливости карнизного узла	+	-
Стержневая плоская рама на упругом основании	+	+
Пластинчатая плоская рама с фундаментом на упругом основании	+	+
Пластинчатая плоская рама с фундаментом на упругом основании с односторонними связями	+	+
Пластинчатая плоская рама с фундаментом и основанием из объемных элементов	+	-
Оптимизация сечений элементов рамы	+	+

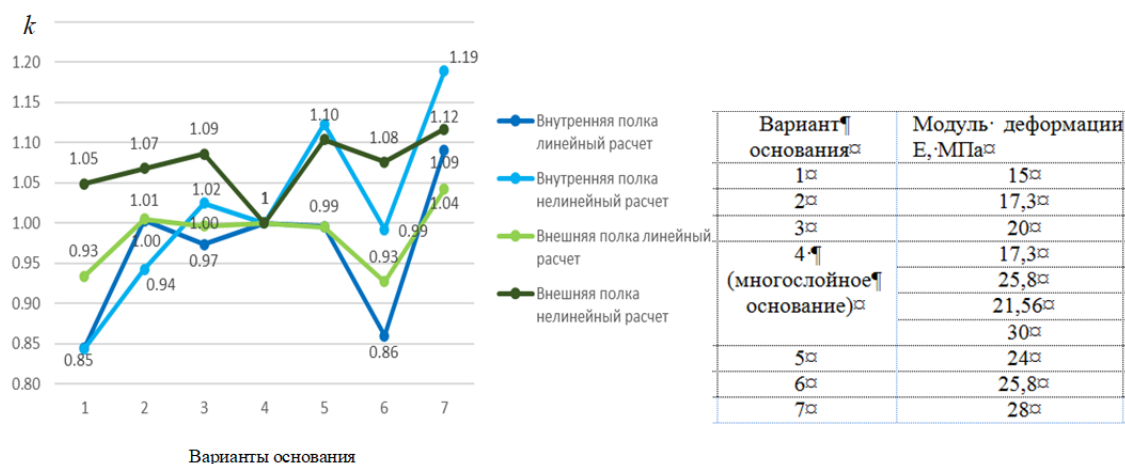


Рисунок 2–Влияние параметров сжимаемого основания на напряженное состояние крайней стойки двухпролетной рамы в уровне базы колонны ($k = \sigma_i/\sigma_1$)

Список использованных источников

1. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения: Монография, М.: Издательство АСВ, 2018. -1072 с.
2. Беленя Е.И., Клепиков Л.В. Исследование совместной работы оснований, фундаментов и поперечных рам стальных каркасов промышленных зданий //Научное сообщение. - М., 1957. - Вып.28-58 с.
3. Леденев В.В., Евдокимцев О.В., Кузнецов И.Н. Напряженно-деформированное состояние одноэтажных однопролетных стальных рам на сжимаемом основании// Вестник Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. Воронеж-Липецк: РААСН, ЛГТУ, 2008. - С.209-216.
4. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Бадертдинов И.Р., Радайкин О.В. Исследование совместной работы стальной стойки и сборного железобетонного фундамента экспериментальным методом и с применением математического МКЭ-моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 6 (71). С. 37-44.

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ АДЕКВАТНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ПОДКОНСТРУКЦИЙ В ВК ЛИРА ДЛЯ ПЕРЕНОСА ТРЕЩИН

Колчунов Вл. И.¹

¹*Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, vlik52@mail.ru*

Ключевые слова: адекватные модели, перенос трещин, эффект несплошности, двухэлементная консоль, конечный двухконсольный элемент

REINFORCED CONCRETE ADEQUATE DESIGN MODELS OF SUBSTRUCTURES IN CC LIRA FOR THE TRANSFER OF CRACKS

Kolchunov Vl. I.¹

¹*Research Institute of Building Physics RAASN, Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor, vlik52@mail.ru*

Keywords: adequate models, transfer of cracks, the discontinuity effect, two-element console, конечныйthe final two - terminal element

1. До сегодняшнего дня в мире уже имелось большое число известных вычислительных комплексов, в которых используют конечно-элементные модели железобетона, а также привлекается метод расчетного сопротивления модели (МРСМ) для плоских и пространственных рабочих сечений. В проектировании плосконапряженные конечные элементы (панельные здания, пилоны и т.п.) или выполняется с помощью объемных конечных элементов с учетом их сложного сопротивления пространственных трещин (ядра зданий, гидротехнических сооружений, арочная железобетонная плотина, атомные станция и т. п.). При этом в растянутой области бетона для расстояние между трещинами и ширины раскрытия имеет дискретные уровни для построения классификация базовых и смежных пространственных трещин в пространственных железобетонных конструкциях, – развиваются к зонам концентрации геометрической, силового, деформационного нагружения или межсредовой области, где полной картине различных типов трещин. Для построения несколько уровней нагружений и, опираясь метода нахождения экстремума функции многих переменных параметров железобетона, с использованием множителей Лагранжа.

2. В них вписываются аппроксимирующие пространственные конечные элементы, которые «расшиваются», моделируя пространственную трещину, раскрытие и сдвиги, которой задается в виде деформационного воздействия с учетом эффекта железобетона нарушения сплошности. При решении обратной задачи определяет ширину раскрытия и сдвиги трещины, как расхождение берегов. В статье рассмотрен выделяются пары конечных элементов, прилегающих к такой трещине с противоположных сторон, – специальная расчетная двухэлементная консольная модель. Эти пары рассматриваются в двух состояниях: до их «расшивки» и после их расшивки с учетом деформационного воздействия и эффекта нарушения сплошности бетона.

3. Булева алгебра всех множеств в какого-то множества с определенные операции. Например, - В.И. Мурашев передал растяжение бетона в рабочую арматуру или

Кривизна переносит жесткость, или теория механика, - теорема Вариньона, где момент равнодействующей относительно любой точки равен геометрической сумме моментов составляющих сил относительно этой точки, а момент равнодействующей силы относительно любой оси равен алгебраической сумме моментов составляющих сил относительно этой оси.

4. Теперь другая (теорема автора), где сумма перемещений раскрытия и угловых (сдвиги) трещины для проецирования относительно любой оси для плеч равен геометрической сумме всех множеств составляющих перемещений относительно этой оси, а углов равнодействующей перемещений относительно любой оси равен алгебраической сумме углов составляющих сил относительно этой оси. При этом *следствие*: углов (φ_i), где аналог дельта изгибающий момент, без плеч. Теперь внутреннее перемещение, - $\sum \vec{u} \cdot e_*$, $\varphi_{1j}, \varphi_{2j}, \Delta\varphi_j$ - для j -ых трещин.

5. Метод расчетной сопротивления модели (МРСМ) из расчетных моделей сопротивления: РМС1 - РМС5. До сегодняшнего дня в мире уже имелось большое число известных вычислительных комплексов, в которых используют конечно-элементные модели. Тем не менее, остается необходимость поиска адекватного характера развития и раскрытия трещин. Физическая суть эффекта заключается в дополнительном деформационном воздействии нарушения сплошности реакции арматуры и бетона в форме эллипсоида для альтернативной кинематической трещины с использованием универсального двухконсольного элемента из механики разрушения. При этом в растянутой области бетона для определения расстояния между трещинами и ширины раскрытия в этих местных зонах, прилегающих к трещине важно учитывать сцепление и напряжения сжатого бетона.

6. В статье рассмотрены пары конечных элементов, прилегающих к трещине с противоположных сторон, – специальная расчетная двухэлементная консольная модель (ДКМ). Эти пары рассматриваются в двух состояниях: до их «расшивки» и после их расшивки с учетом деформационного воздействия и эффекта нарушения сплошности бетона. Для отыскания уровня расстояния между трещинами и ширины их раскрытия в железобетонной конструкции, позволяющее определить дополнительные искомые параметры, используют инструменты или модули программы «ЛИРА».

7. На основе анализа и обобщения экспериментально-теоретических исследований разработаны методика и алгоритм, позволяющие моделировать дискретные трещины и жесткость железобетонных конструкций при сложном сопротивлении. В интеллекте «ЛИРА» выполнено моделирование раскрытия трещин и получен эффект железобетона в виде несплошности бетона, реакции арматуры на основе механики разрушения и дополнения к модулям 1 – 7. Также применены инструменты: двухконсольный элемент (ДКЭ) на основе пространственной трещины; из уравнения пучка билинейной поверхности; отыскание проекций смежных пространственных трещин: на экстремуме функций многих переменных для железобетона и максимальной ширины трещин с использованием множителей Лагранжа; аналитическую модель сцепления арматуры с бетонами и их податливости; предложенную классификацию базовых пространственных трещин; «расшивку» для инструмента программа «ЛИРА»; специальную расчетную двухэлементную консольную модель (ДКМ); «закрытие трещины» после «расшивки» – инструмент для конечного элемента 255КЭ программы «ЛИРА».

8. Предложенную методику определения ширины раскрытия, жесткости, расстояния между трещинами для прямого способа построения формул ширины трещины или обратного способа минимальных трещин-щелей, перемещений их берегов при раскрытии и закрытии. Можно также при моделировании неявной (мнимой) трещины заменять жесткости на эквивалентную жесткость для уменьшения толщины конечных элементов, что *провоцирует* образование и развитие трещин по критерию дискретных трещин, не прибегая к расшивке конечных элементов. Процедура вначале выполняется конструктор работает вручных наклонных трещин в каждой грани конструкции из толщины перпендикулярных контуров из трех конечных элементов, а дальше нагружения автоматически включаются в интеллекте ВК «ЛИРА» в «коридоры» по направлениям растяжений (критериев) их конечных элементов через уже ступенчатую пространственную поверхность.

Для отыскания уровневого расстояния между трещинами и ширины их раскрытия (закрытия) из железобетонной конструкции, позволяющее определить искомые параметры, инструменты или модули программы «ЛИРА». Такой всесторонний сравнительный анализ значений раскрытия ширины и жесткость безусловно будет способствовать углубленному изучению этих величин.

АЛГОРИТМ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОДКОНСТРУКЦИЙ В ИНТЕЛЛЕКТЕ ВК ЛИРА

Колчунов Вл. И.¹, Гречишников С.В.², Шаньков В.Н.³

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, vlik52@mail.ru

²Юго-Западный государственный университет, аспирант кафедры «Уникальные здания и сооружения», grech3_5ser@mail.ru

³Брянский государственный инженерно-технологический университет, аспирант кафедры «Строительные конструкции», slav.slava@yandex.ru

Ключевые слова: эффект несплошности, железобетон, двухэлементная консоль, расшивка, модули-инструменты.

THE ALGORITHM OF RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN THE INTELLIGENCE OF CC LIRA.

Kolchunov Vl. I.¹, Grechishnikov S.V.², Shankov V.N.³

¹Research Institute of Building Physics RAASN, Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor, vlik52@mail.ru

²Southwestern State University, aspirate of the department "Unique buildings and structures, grecha3_5ser@mail.ru

³Bryansk State Engineering and Technological University, aspirate of the department "Building structures", slav.slava@yandex.ru

Keywords: the discontinuity effect, reinforced concrete, two-element console, disconnection, modules-tools.

1. Сегодня есть необходимость исследований физических процессов и важных эффектов, где имеются иные критерии с учетом эффекта нарушения несплошности бетона и реакции арматуры из механики разрушения из двухконсольных элементов. При решении обратной задачи определения ширины раскрытия трещин, деформационное воздействие не задается, а с помощью «расшивки». Выделяются пары конечных элементов из толщины, рассматриваются в двух состояниях: до их «расшивки» и после их «расшивки», а также нагружения автоматически включаются в *интеллект* «ЛИРА» по направлениям растяжений, что *провоцирует* образование и *развитие трещин* по критерию дискретных трещин.

2. На основе анализа и обобщения экспериментально-теоретических исследований разработаны *методика и алгоритм*, позволяющие моделировать дискретные трещины плосконапряженных и пространственных железобетонных составных конструкций при сложном сопротивлении:

а) разработан *эффект железобетона* (открыл профессор Владимир Колчунов), физическая суть которого заключается в дополнительном деформационном воздействии реакции арматуры и бетона в форме эллипсоида трещины;

б) из *трещины двухконсольного элемента (ДКЭ)* в железобетоне на основе механики разрушения связано с нарушением сплошности бетона;

в) на *экстремуме функции многих переменных для железобетона* и максимальной ширине трещин отыскиваются проекции и расстояния смежных трещин позволяет многоуровневый процесс развития с привлечением неравенств и деформационного

критерия их образования и метода нахождения с использованием множителей Лагранжа;

г) аналитическая модель сцепления арматуры с бетонами и их *податливости*;

д) «расшивки» конечных элементов вдоль шва между слоями бетонов;

е) для нелинейного расчета всей железобетонной конструкции на заданные силовые и деформационные воздействия выделяются *пары конечных элементов*, прилегающие к такой трещине и привлекается специальная расчетная *двухэлементная консольная модель* (ДКМ) сопротивления железобетона, а также выполняется последовательный итерационный анализ напряженно-деформированного состояния пространственных консольных элементов;

ж) «закрытие трещины» после «расшивки» – конечный элемент. 255 КЭ программа «ЛИРА» и реализованный с помощью «расшивки» и деформационного воздействия, в котором также учитывается и *эффект нарушения сплошности бетона* для несовместности деформаций бетона и арматуры, - арматурные стержни моделируются дополнительными 201 КЭ, а возможное закрытие трещины – бетонными 255 КЭ;

з) предложена *методикой ширины раскрытия трещины* вдоль шва между слоями бетонов; жесткости и определением расстояния между трещинами плосконапряженных и пространственных железобетонных составных конструкций с привлечением программного комплекса ПК "Ли́ра-СА́ПР" рассмотрен в двух вариантах. Существует *прямой* способ построения *формул для раскрытия ширины* железобетона (деформационного воздействия $\Delta = a_{crc}$). По второму варианту жесткость определяется с использованием специального приема моделирования явных *трещин* и перемещений ее берегов для раскрытия и закрытия из интеллекта ВК «ЛИРА»;

и) моделирования трещин вдоль траектории неявной (мнимой) трещины и жесткости $B(\lambda)$ выделяются прилегающие *пары конечных элементов*, для уменьшения их толщины (тогда работа W_1 и W_2 , - двухэлементной консольной модели до «расшивки» КЭ и после «расшивки» раскрытия трещин с учетом эффекта нарушения сплошности). В результате вдоль мнимой трещины толщина конечных элементов уменьшается, что и *провоцирует* образование и развитие трещин по критерию дискретных трещин, не прибегая к расшивке конечных элементов. Итерационный процесс заканчивается после достижения заданной погрешности;

к) в начале конструктор создает наклонные трещины вручную в каждой грани конструкции, а дальше нагружения автоматически включаются в *интеллекте «ЛИРА»* в «коридоры» по направлениям растяжений (критериев) их конечных элементов через уже ступенчатую *пространственную поверхность*.

3. Методика моделирования дискретных трещин для интеллекта. ВК «ЛИРА» *автоматически* включаются в коридоры по направлениям растяжений (критериев) их конечных элементов через уже ступенчатую *пространственную поверхность*. Затем в них вписываются аппроксимирующие пространственные конечные элементы, которые «расшивают» пространственную трещину. Для *прямого* способа раскрытие задается в виде деформационного воздействия и формул для *ширины раскрытия* трещины с учетом эффекта нарушения сплошности железобетона. При решении *обратной* задачи определения ширины раскрытия трещин, деформационное воздействие не задается, а моделируется лишь наличие «щели» (минимально возможной ширины), где в соответствующем нагружении и определяется ширина раскрытия трещины, как расхождение берегов.

4. Рассмотрены пары конечных элементов, прилегающих к трещине с противоположных сторон, – специальная расчетная двухэлементная консольная модель

(ДКМ). Эти пары рассматриваются в двух состояниях: до их «расшивки» и после их расшивки с учетом деформационного воздействия и эффекта нарушения сплошности бетона. Для отыскания уровня расстояния между трещинами и ширины их раскрытия в железобетонной конструкции, позволяющее определить дополнительные искомые параметры, используют инструменты или модули программы «ЛИРА».

В итоге, применены инструменты: *двухконсольный элемент (ДКЭ)* на основе пространственной трещины; уравнения пучка *билинейной поверхности*; отыскание проекций смежных пространственных трещин; *экстремум функций многих переменных для железобетона* и максимальной ширины трещин с использованием множителей Лагранжа; аналитическая модель *сцепления арматуры с бетонами и их податливость*; предложенная классификация базовых пространственных трещин; «расшивку» инструментом программа «ЛИРА»; специальная расчетная *двухэлементная консольная модель (ДКМ)*; «закрытие трещины» после «расшивки» – инструмент для конечного элемента 255КЭ программы «ЛИРА». Предложена *методика* определения ширины раскрытия, жесткости, расстояния между трещинами для *прямого* способа построения *формулы ширины трещины* или *обратного* способа минимальных *трещин-целей*, перемещений их берегов при раскрытии и закрытии. Можно также при моделировании неявной (мнимой) трещины заменять жесткости на *эквивалентную жесткость* для уменьшения толщины конечных элементов, что *провоцирует* образование и *развитие трещин* по критерию дискретных трещин, не прибегая к расшивке конечных элементов. Сначала конструктор вручную задает наиболее вероятные трещины в каждой грани конструкции из толщины перпендикулярных контуров из трех конечных элементов, а дальше на нагружения автоматически включаются в *интеллекте ВК «ЛИРА»* в «коридоры» по направлениям растяжений (критериев) их конечных элементов через уже ступенчатую *пространственную поверхность*. Отыскание уровня расстояния между трещинами и ширины их раскрытия (закрытия) в железобетонной конструкции, позволяющее определить искомые параметры, инструменты или модули программы «ЛИРА». Такой всесторонний сравнительный анализ значений раскрытия ширины и жесткости безусловно будет способствовать углубленному изучению этих величин.

ПРИМЕНЕНИЕ САПР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С РАСЧЕТОМ КАРКАСА МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ

Лапина С.А.¹, Киселева О.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, lapinatw@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент
кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, kiseleva_oa@rambler.ru

Ключевые слова: монолитное железобетонное здание, системы автоматизированного проектирования

THE USE OF CAD FOR SOLVING PROBLEMS RELATED TO THE CALCULATION OF THE FRAME OF A MONOLITHIC BUILDING

Lapina S.A.¹, Kiseleva O.A.²

¹ Tambov State Technical University, Russia, lapinatw@yandex.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the
Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, kiseleva_oa@rambler.ru

Key words: monolithic reinforced concrete building, computer-aided design systems

Учитывая значительную роль монолитного домостроения в застройке, а также относительно небольшую их повторяемость, основным принципом проектирования следует считать разработку индивидуальных проектов [1].

Усилия в конструкциях бескаркасных монолитных зданий следует определять, используя расчетные схемы и предпосылки, наиболее полно отвечающие условиям действительной работы конструкций.

При выборе расчетной схемы следует учитывать, что каждая из них имеет ограниченную область применения, определяемую положенными в ее основу допущениями, которые вводятся для максимального упрощения расчета. Чем меньше допущений принято в том или ином методе, тем шире область его применения, но вместе с тем более трудоемок расчет.

Расчетная схема здания включает данные о нагрузках и физическую модель. Физическая модель представляет собой трехмерную систему из колонн, стен, плит, балок, их сопряжений, и данные о физико-механических свойствах материалов [2].

Расчетная модель монолитного железобетонного здания включает в себя: 1) расчет на основное сочетание нагрузок (оценка обеспечения требований критериев I и II группы предельных состояний); 2) расчет на особое сочетание нагрузок (оценка устойчивости конструкций от прогрессирующего обрушения и несущей способности конструкций при сейсмических воздействиях, иные особые воздействия) [3].

Расчет по предельным состояниям первой и второй групп производят по напряжениям, усилиям, деформациям и перемещениям, вычисленным от внешних воздействий в конструкциях и образуемых ими системах зданий с учетом физической нелинейности (неупругих деформаций бетона и арматуры), возможного образования трещин.

Процесс выполнения расчетов каркасов монолитных зданий условно можно разделить на два этапа. На первом этапе выполняется расчет конструктивной системы в целом и оценивается эксплуатационная пригодность конструктивной системы в це-

лом. Далее выполняется конструирование отдельных несущих элементов.

На втором этапе выполняются расчеты по прочности, трещиностойкости и деформациям несущих элементов конструктивной системы и узлов их сопряжений. Расчеты выполняются на действие усилий, полученных на первом этапе. По результатам указанных расчетов производится конструирование элементов и узлов их сопряжений с учетом требований действующих норм.

В случае если полученные в результате расчет параметры конструктивной системы превышают предельно допустимые значения, регламентированные нормативными документами, требуется корректировка принятых проектных решений.

Для повышения пространственной жесткости (обеспечения устойчивости формы, уменьшения горизонтального перемещения верха и перекосов) применяют следующие мероприятия: увеличение количества диафрагм жесткости; увеличение размеров поперечных сечений вертикальных конструкций в необходимом направлении; уменьшение шага вертикальных несущих конструкций (пролетов плит перекрытий).

Решение задач, связанных с расчетом каркаса монолитного здания, возможно посредством программного комплекса Autodesk Robot Structural 2019. С его помощью определяются технико-экономические показатели зданий и производится расчет несущих конструкций по материалу, результаты которого могут быть представлены в графической и табличной формах.

Расчет схемы каркаса здания в программном комплексе Autodesk Robot Structural 2019 включает: сбор нагрузок; статический расчет; модальный анализ; расчет по анализу потери устойчивости формы несущего каркаса; расчет по материалу несущих конструкций.

В соответствии с подготовленными планами здания, была выстроена пространственная модель здания, заданы сечения вертикальных несущих конструкций, толщины плит перекрытия.

После проведенного статического расчета приступаем к нахождению оптимальной толщины диафрагмы жесткости и стен для оптимизации расхода бетона и арматуры. Толщину определяем, сравнивая максимальные горизонтальные перемещения с допускаемыми. По полученным результатам перемещений здания по осям X, Y проводим сравнительный анализ, определяя оптимальную толщину.

Проведенная работа показывает экономическую эффективность САПР, которая обосновывается сокращением трудоёмкости проектирования и планирования, сокращением сроков проектирования, сокращением себестоимости проектирования и изготовления, уменьшением затрат на эксплуатацию, а также сокращением затрат на натурное моделирование и испытания.

Список использованных источников

1. Ганджунцев М.И., Кондратенко В.Е. Методика поверочного расчета монолитных балочных перекрытий с использованием разностных уравнений МПА // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. №6. С. 43-47.
2. Герасимов А.В. Анализ и перспективы развития монолитного малоэтажного строительства / А.В. Герасимов, Е.С. Глаголев, М.Ю. Дребезгова, Н.В. Чернышева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. №9. С. 28-35. ГОСТ Р 57310-2016. Моделирование информационное в строительстве. - М.: Стандартинформ, 2018. - 32 с.
3. Архитектура / Т. Г. Маклакова, С. М. Нанасова, В. Г. Шарапенко, А. Е. Балакина // Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва. 2004.— С. 68).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОБЪЕКТЕ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Макаров А.М.¹, Соломатин Е.О.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, gsiad_tambov@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, gsiad_tambov@mail.ru

Ключевые слова: информационное моделирование, объект культурного наследия, реконструкция здания, капитальный ремонт здания.

SIMULATION OF EMERGENCY MEASURES AT A CULTURAL HERITAGE FACILITY

Makarov A.M.¹, Solomatin E.O.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban construction and highways, Russia, gsiad_tambov@mail.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban construction and highways, Russia, gsiad_tambov@mail.ru

Key words: object of cultural heritage, building reconstruction, overhaul of the building

Во многих провинциальных городах России сохранилась в большом объеме историческая застройка. В первую очередь это относится к центральной части города. Наличие исторических зданий в городской среде определяет ее своеобразие и архитектурно-планировочные особенности. Однако большая часть объектов культурного наследия находятся в заброшенном или аварийном состоянии [1].

В связи с этим остро встает вопрос о фиксации объектов культурного наследия. В наше время технология информационного моделирования зданий находит всё большее применение, в том числе и при работе с объектами культурного наследия. Информационное моделирование недвижимых объектов культурного наследия можно упрощенно охарактеризовать как новый подход к вопросу фиксации памятников.

Одним из примеров такой фиксации является работа авторов по разработке противоаварийных мероприятий на объекте культурного наследия регионального значения «Градостроительный ансамбль», расположенное по адресу: Тамбовская область, г. Моршанск, ул. Советская, д. 7. Для выполнения данной работы выполнены архитектурные обмеры, а также исследования технического состояния здания в целом и отдельных сохранившихся конструктивных элементов. По результатам обмеров составлены чертежи фасадов, планов здания, чертежи отдельных элементов и архитектурных деталей.

Рассматриваемое здание расположено в историческом центре города Моршанска. Квартал ограничен улицами: с юго-запада – ул. Евдокимова (бывш. ул. Первая Базарная), с северо-запада – пл. Октябрьская (бывш. пл. Вознесенская), с северо-востока – ул. Советская (бывш. ул. Вторая Базарная), с юго-востока – ул. Лотикова (бывш. ул. Софийская).

Первоначально здание использовалось как купеческий дом. Во второй половине XIX века второй этаж был перестроен, и до 1918 года оно эксплуатировалось в каче-

стве купеческого собрания. После национализации в здании открылся профсоюзный клуб для рабочих суконной фабрики. Для увеличения клубных площадей, здание было объединено с соседней двухэтажной постройкой.

С середины 90-х годов 20-го века и по настоящее время здание не эксплуатируется.

В 2008 году выполнены работы по разборке кровли, крыши и перекрытиям. В этот же период выполнены работы по усилению фундаментов и устройству монолитных железобетонных перекрытий по металлическим балкам.

Исходя из имеющихся повреждений элементов наружных стен и архитектурных элементов объекта культурного наследия с целью обеспечения физической сохранности памятника требуется комплекс мероприятий, предохраняющих памятник от дальнейшего разрушения и обеспечивающих укрепление и защиту конструктивных частей и декоративных элементов без изменений исторически сложившегося облика памятника[2].



Рисунок 1 – Общий вид и характерное состояние главного фасада 1-7 (фото 2022).

Таким образом авторами была разработана инженерная цифровая модель объекта культурного наследия позволяющая зафиксировать памятник.



Рисунок 2 – Общий вид информационной модели исследуемого здания.

Список использованных источников

1. Серегин С.И. Оценка возможности сохранения жилых зданий г. Тамбова, имеющих статус недвижимых объектов культурного наследия / С.И. Серегин, А.А. Крюкова, В.И. Леденев // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. Актуальные проблемы городского строительства. Пенза: ПГУАС. 2020. С. 79-85.

2. Матвеева И.В. Учет конструктивных решений и технического состояния кирпичных зданий исторической застройки Тамбова при ремонтах цокольной части наружных стен / И.В. Матвеева, А.А. Маргасова, Г.В. Карташова // В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. 2017. С. 403-407.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УТОЧНЕННЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПРИ АНАЛИЗЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Мущанов В.Ф.¹, Оржеховский А.Н.², Цепляев М.Н.³, Мущанов А.В.⁴

¹ ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», д.т.н., проректор, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», Россия, mvf@donnasa.ru

² ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», Россия, a.n.orzhehovskiy@donnasa.ru

³ ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», Россия, m.n.cepliaev@donnasa.ru

⁴ ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», к.т.н., и.о. заведующего кафедрой «Проектирование зданий и строительная физика», Россия, a.v.mushchanov@donnasa.ru

Ключевые слова: металлические пространственные конструкции, численные методы расчета, проектирование, лавинообразное разрушение, надежность

FEATURES OF THE FORMATION OF REFINED DESIGN SCHEMES IN THE ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE, ASSESSMENT OF STABILITY AND RELIABILITY OF ELEMENTS OF SPATIAL METAL STRUCTURES

Mushchanov V.F.¹, Orzhehovskiy A.N.², Tsepliaev M.N.³, Mushchanov A.V.⁴

¹ Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector, Head of the Department "Theoretical and Applied Mechanics", Russia, mvf@donnasa.ru

² Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, Russia, a.n.orzhehovskiy@donnasa.ru

³ Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, Russia, m.n.cepliaev@donnasa.ru

⁴ Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the Department "Building Design and Construction Physics", Russia, a.v.mushchanov@donnasa.ru

Key words: metal spatial structures, numerical calculation methods, design, progressive collapse, reliability

Одним из основных направлений научных исследований в области обеспечения требуемого уровня надежности несущих конструкций проектируемых зданий и сооружений является совершенствование их расчетных моделей, используемых при определении вероятности отказа [1, 2] и дальнейшей оптимизации конструктивной формы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Ключевые моменты совершенствования методик расчета и проектирования конструкций повышенного уровня ответственности

Учитывая комплексный характер решаемой проблемы, следует отметить, что начальным этапом в исследованиях такого рода, как правило, является уточнение расчетных схем конструкций. В рамках проводимого исследования таким уточнени-

ем для стержневых пространственных металлических конструкций являлось моделирование узловых соединений, а для листовых – моделирование элементов технологических конструкций ВЦР при уточненных ветровых воздействиях (рисунок 2).

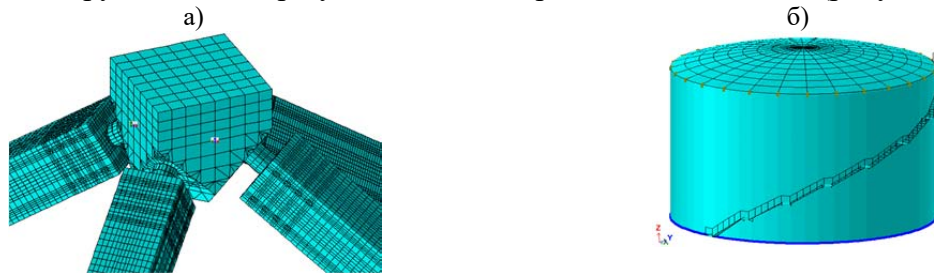


Рисунок 2 – Уточненные расчетные схемы: а - стержневых элементов структурного покрытия, б – элементов лестницы вертикального цилиндрического резервуара

С использованием уточненных расчетных схем авторами развивается методика, позволяющая определять ключевой стержневой элемент или группу наиболее ответственных стержневых элементов конструкции, совокупный отказ которых может инициировать начало лавинообразного разрушения в рамках анализируемой расчетной ситуации. На рисунке 3 в виде гистограммы приведена совокупность отказа элементов консольно-рамного покрытия над трибунами стадиона в случае последовательного увеличения действующей на покрытие равномерно-распределенной нагрузки.

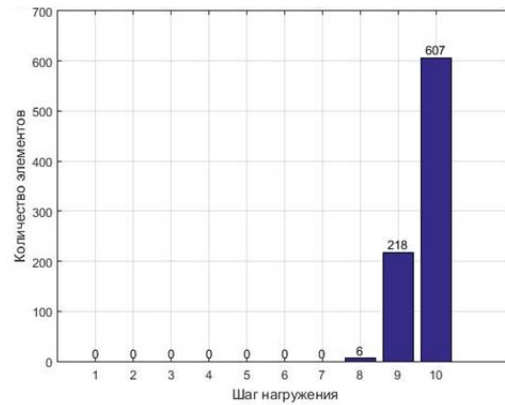


Рисунок 3 – Развитие лавинообразного обрушения в конструкции рамно-консольного покрытия

Определение значения показателя надежности анализируемой системы выполняется с использованием метода Монте-Карло. При этом, значение вероятности отказа системы в целом будет лежать в диапазоне между вероятностью отказа одного, наиболее ответственного элемента и вероятностью отказа группы элементов, инициирующих начало лавинообразного разрушения. В таблице 2 приведены некоторые результаты применения разработанных процедур по корректировке начального проектного решения структурного покрытия в части предотвращения лавинообразного разрушения и обеспечения нормативного уровня надежности.

Таблица 1

Сравнение уровней надежности структуры

Итерация	Сечение элемента	Конструктивный элемент	Количество элементов, вышедших из строя до стабилизации системы	β min	β max	Масса конструкции (т)
1	63.5x3	Верхний пояс	0	-1.54	-1.36	6.14
	38x4	раскосы	200			
2	63.5x3	Верхний пояс	40	0.51	1.14	7.21
3	63.5x3	раскосы	0	2.67	2.67	7.52
	76x3.5	нижний пояс	2			

Список использованных источников

1. Ram, M., & Davim, J. P. Acknowledgments. *Advances in System Reliability Engineering* (2019)
2. Adam, J. M., Parisi, F., Sagaseta, J., & Lu, X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*, 173, 122–149. (2018).

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕГАСАЙЕНС СООРУЖЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА. ТЯЖЕЛОИОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР NICA И КОЛЬЦЕВОЙ ИСТОЧНИК ФОТОНОВ СКИФ

Нагибович А.И.¹, Белостоцкий А.М.², Дмитриев Д.С.³

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., директор Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, гл. специалист. Россия, noccm@mgsu.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), д.т.н., академик РААСН, научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, ген. директор. Россия, amb@stadyo.ru

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., ст. науч. сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, зав. отделом расчетных исследований. Россия, stadyo@stadyo.ru

Ключевые слова: численное моделирование, мегасайенс сооружения, тяжелоионный коллайдер NICA, Сибирский кольцевой источник фотонов СКИФ

FEATURES OF NUMERICAL SIMULATION OF MEGASCIENCE-STRUCTURES AT VARIOUS STAGES OF THE LIFE CYCLE. NUCLOTRON-BASED ION COLLIDER FACILITY«NICA» AND SIBERIAN RING PHOTON SOURCE «SKIF»

Nagibovich A.I.¹, Belostotskii A.M.², Dmitriev D.S.³

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, Director of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia. R&D Center StaDyO, head specialist. noccm@mgsu.ru

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Academician of the RAACS, scientific supervisor. R&D Center StaDyO, general Director, Russia, amb@stadyo.ru

³Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov. R&D Center StaDyO, Head of the Computational Research Department, Russia, stadyo@stadyo.ru

Key words: numerical simulation, megascience-structures, nuclotron-based ion collider facility «NICA», Siberian ring photon source «SKIF»

Тяжёлоионный коллайдер NICA на площадке ЛФВЭ ОИЯИ в г. Дубне и Сибирский кольцевой источник фотонов (СКИФ) г. Кольцово (Новосибирская обл.) являются уникальными мегасайенс проектами, включающим целый ряд высокотехнологичных элементов (оборудование, здания и сооружения). При реализации таких комплексов сооружений следует учитывать научную уникальность и особенности дальнейшего функционирования объекта, а именно:

– существенную зависимость предполагаемых и возможных научных достижений и открытий от изменений в состоянии сооружения, величины которых не столь существенны с точки зрения общестроительных норм;

– существенную конструктивную и функциональную связь нового объекта с

давно функционирующими зданиями и сооружениями, единство массива грунта основания всего комплекса зданий;

– весьма вероятное обратное влияние вновь возводимого комплекса сооружений на температурное и напряженно-деформированное состояние (НДС), геодезию, сезонные и иные деформации, динамические характеристики (определяющие отклик на вибрационные и иные воздействия), геомеханическое и гидрогеологическое состояние массива грунта основания комплекса.

Учет всех перечисленных выше особенностей возможен в параметризованных трехмерных конечноэлементных моделях систем «свайно-грунтовое основание – основные сооружения и здания комплекса», которые в итоге могут лечь в основу адаптивных систем мониторинга состояния и прогнозирования надежности этих комплексов.

Выполненные (и выполняемые) коллективом специалистов АО НИЦ СтаДиО и НОЦ КМ НИУ МГСУ исследовательские работы направлены на повышение надежности, безопасности указанных комплексов сооружений и их соответствия критериям, обеспечивающим устойчивое проведение экспериментов, на протяжении всего жизненного цикла:

1. Поверочные расчеты комплекса сооружений. Принимая во внимание достаточно жесткие ограничения по предельно допустимым осадкам конструктивных элементов (не более 10 мм относительной осадки, и другие критерии), возможное значительное изменение массы (или, в целом, массово-габаритных характеристик) оборудования ключевых элементов комплекса, по сравнению с характеристиками, учтенными при проектировании, является основанием для проведения поверочных расчетов – от, минимально, например, здания детектора (SPD), до – оптимально, объекта в целом.

Поверочные расчетные исследования (на основе математического конечноэлементного моделирования) позволяют либо подтвердить проектные решения, принятые на основании исходных данных по нагрузкам от детектора, либо, в случае необходимости, разработать конструктивно-технические мероприятия, обеспечивающие соответствие требованиям по предельно допустимым осадкам.

2. Разработка адаптивной конечноэлементной модели системы «свайно-грунтовое основание – основные сооружения и здания комплекса», отражающей все фактические отступления от проектного варианта, актуальные геологические и гидрогеологические данные, а также взаимное влияние частей объекта и расположенных вблизи объекта других сооружений.

На основе сформированной и верифицированной модели производятся многовариантные расчеты как отдельных элементов, так и всего комплекса в целом, на спектр нагрузок и воздействий, в том числе динамических (включая заданные амплитудно-частотными характеристиками), которые могут возникнуть в процессе эксплуатации Объекта.

Комплексная расчетная модель позволяет оценивать взаимное влияние отдельных сооружений комплекса друг на друга и, что особенно важно, подготовить рекомендации по установке датчиков инструментального мониторинга (согласно требованиям законодательства о техническом регулировании).

3. Разработанная адаптивная конечноэлементная модель системы «свайно-грунтовое основание – основные сооружения и здания комплекса» в дальнейшем становится основой для системы мониторинга фактического состояния Объекта на всех стадиях его жизненного цикла.

Необходимо отметить, что текущие нормативные требования к обеспечению мониторинга сооружений являются недостаточными для действительно уникальных сооружений – т.е. не имеющих ни аналогов, ни применимого опыта эксплуатации. Данные, собранные с датчиков инструментального мониторинга, в чистом виде малоинформативны, т.е. не дают возможности прогнозировать поведение системы/объекта при дальнейших нагрузках (особенно предполагая их значительные изменения, соответствующие этапам ввода коллайдера и детекторов в действие).

Мониторинг, основанный на использовании «живой» конечноэлементной модели, адаптирующейся в соответствии с реальными данными (с тех же, по сути, датчиков, - установленных в соответствии с нормативными требованиями) позволяет корректно и своевременно оценивать напряжённо-деформированное и иные состояния сооружения, сопоставлять фактические и расчётные показатели и, соответственно, прогнозировать возможность нежелательных, опасных изменений абсолютных и относительных осадок, состояния несущих конструкций, иных элементов, уникального оборудования Объекта, обосновывать и выполнять мероприятия по подготовке и реагированию на них.

Список использованных источников

1. *Белостоцкий А.М., Акимов П.А.* Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Т. 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО. М.: Издательство АСВ, 2016. 426 с.
2. *Белостоцкий А.М.* Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, Т.Б. Кайтуков. – Издательство АСВ. – Москва, 2018. – 712 с.
3. *Белостоцкий А. М., Новиков П. И., Бах А. А., Красников А. А.* Апробация методики идентификации параметров жесткости пространственных конструкций на экспериментальных стендах // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18. – № 2. – с. 44-60.
4. *Nagibovich A. I.* Superelement simulation technique of dynamics for large-size systems “Base-Reinforced concrete structures – Metal structures». Verification and approbation. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2019, Volume15, Issue 4, pp. 123-132.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВЕРИФИКАЦИИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Новиков П.И.¹, Белостоцкий А.М.²

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., науч. сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова АО НИЦ СтаДуО, ведущий инженер-расчетчик, Россия, *stadyo@stadyo.ru*

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), д.т.н., академик РААСН, научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, ген. директор. Россия, *amb@stadyo.ru*

Ключевые слова: научно-техническое сопровождение, КЭ-модель, сравнительный анализ, механическая безопасность

FEATURES OF FE-MODELS DEVELOPMENT AND VERIFICATION FOR SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF DESIGN

Novikov P.I.¹, Belostotskii A.M.²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov. R&D Center StaDyO, Engineer of the Computational Research Department, Russia, *stadyo@stadyo.ru*

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Academician of the RAACS, scientific supervisor. R&D Center StaDyO, general Director, Russia, *amb@stadyo.ru*

Key words: scientific and technical support, FE-model, comparative analysis, mechanical safety

Опыт проектирования и эксплуатации зданий, прежде всего повышенного уровня ответственности, выявил ряд проблем. Так, при повышении сложности механической системы повышается вероятность ошибок некорректного учета значимых факторов и особенностей работы конструкций. Один из подходов к решению – выполнение научно-технического сопровождения (НТС), включающее независимую экспертизу проектных расчетных исследований, выполнение независимых поверочных (альтернативных) расчетов с последующим анализом, сопоставлением и оценкой результатов.

В рамках НТС расчетные исследования должны быть проведены "конкурирующими" коллективами с использованием независимых КЭ-моделей в различных программных комплексах. Требование зафиксировано в нормативных документах ГОСТ 27751-2014, СП 267.1325800.2016.

Сегодня проведение НТС невозможно без современных методов математического моделирования. Пространственные комбинированные КЭ-модели систем "основание – несущие (и иные) конструкции", реализованные в верифицированных программных комплексах, позволяют с необходимой точностью и на альтернативной основе (проектировщик vs НТС) давать адекватную оценку НДС, динамики, прочности и устойчивости при заданных нагрузках и воздействиях.

$$[M]\ddot{a}(t) + [C]\dot{v}(t) + ([K] + [K_G])\vec{u}(t) = \vec{F}(t) + \vec{R}(\vec{u}, \vec{v}) \quad [K] = \sum_{e=1}^{NEL} [k_e], \quad [M] = \sum_{e=1}^{NEL} [m_e],$$

За последние 15 лет (после извлечения уроков обрушения «Трансвааль-парка») в части НТС наработан мощный инструментарий, в частности, сравнительного анализа результатов альтернативных расчетов и выхода на приемлемые конструктивные решения.

Сопоставляемые в части результатов пространственные комбинированные КЭ-модели не должны противоречить друг другу в части структуры, формулировок, применяемых методов расчета, граничных условий и особенностей учета жесткостных и нагрузочных характеристик. Здания повышенного уровня ответственности требуют учета последовательности возведения и взаимного влияния отдельных частей.

Для обеспечения оценки соответствия результатов независимых моделей применяют как нормативные критерии, так и информативные (с точки зрения контроля состояния) параметры несущих конструкций. Для выявления несоответствия в части кинематических, жесткостных и нагрузочных параметров КЭ-моделей применяют значимые частоты и формы собственных колебаний механической системы.

Основные критерии сравнения независимых расчетных КЭ-моделей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные критерии сравнения независимых расчетных КЭ-моделей

	<i>Параметры</i>	<i>Нормы</i>
1.	Нагрузки и воздействия во всем их многообразии: собственный вес, постоянные, длительные и кратковременные (включая климатические, температурные) нагрузки.	
2.	Результаты модального анализа (значимые частоты и формы собственных колебаний) с указанием исследуемой комбинации нагрузочных факторов и принятых жесткостных свойств материалов.	
3.	Результаты статического анализа конструкций для основного сочетания:	
	3.1. Коэффициенты постели	
	3.2. Максимальное давление под подошвой фундамента. Вертикальные усилия в сваях (при наличии)	
	3.3. Деформации основания (осадки), включая среднюю осадку, разность осадок и крен	СП 22.13330.2016, прил. Г табл. Г.1; СП 267.1325800.2016, п. 8.2.4.9
	3.4. Области неравномерной деформации фундамента	СП 22.13330.2016, п. 10.25
	3.5. Вертикальные перемещения элементов перекрытий (с оценкой предельных прогибов и перекосов).	СП 20.13330.2016, табл. Д.1
	3.6. Горизонтальные перемещения верха несущих конструкций.	СП 20.13330.2016, табл. Д.4
	3.7. Ускорение колебаний перекрытий верхних этажей	СП 20.13330.2016, п. В.3
	3.8. Характерные уровни и огибающие значения внутренних усилий стержневых и плитных КЭ	

В качестве дополнительных критериев сопоставления могут выступать уточненные параметры напряженно-деформированного состояния и результаты проверок прочности, динамики и устойчивости конструкций.

Должным образом выполненное НТС обеспечивает надежность и объективность расчетно-теоретического обоснования механической безопасности проектных решений.

Список использованных источников

1. *Белостоцкий А. М., Дубинский С.И.* Анализ причин обрушения конструкций покрытия СОК «Трансвааль-парк» // ANSYS Solutions. 2007. №4. с. 5-12.
2. *Белостоцкий А.М., Каличава Д. К., Островский К.И., Новиков П.И.* Адаптивные КЭ-модели в основе систем мониторинга несущих конструкций уникальных зданий // Сопротивление материалов и теория упругости. 2015. № 94. с. 202-216.
3. *Белостоцкий А. М., Акимов П. А., Кайтуков Т. Б.* Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2018. 712 с.
4. *Новиков П. И.* Численно-аналитическая методика идентификации параметров жесткости пространственных конструкций на основе минимизации различия расчетных (конечноэлементных) и натуральных динамических характеристик // Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18. № 3. с. 64-71.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ В РАМКАХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Павлов А.С.¹, Белостоцкий А.М.², Дмитриев Д.С.³, Нагибович А.И.⁴

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., руководитель отдела расчетных исследований и разработок Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, ведущий инженер-расчетчик. Россия, a.pvlv@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), д.т.н., академик РААСН, научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, ген. директор. Россия, amb@stadyo.ru

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., ст. науч. сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, зав. отделом расчетных исследований. Россия, stadyo@stadyo.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., директор Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДиО, гл. специалист. Россия, noccm@mgsu.ru

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, стальные конструкции, железобетонные конструкции, динамика во времени

LAST EXPERIENCE OF PROGRESSIVE FAILURE ANALYSIS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT SUPPORT OF UNIQUE BUILDINGS AND STRUCTURES

Pavlov A.S.¹, Belostotskii A.M.², Dmitriev D.S.³, Nagibovich A.I.⁴

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, Head of Computational research and development department of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia. R&D Center StaDyO, lead structural analysis engineer. a.pvlv@yandex.ru

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Academician of the RAACS, scientific supervisor. R&D Center StaDyO, general Director, Russia, amb@stadyo.ru

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov. R&D Center StaDyO, Head of the Computational Research Department, Russia, stadyo@stadyo.ru

⁴ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, Director of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov, Russia. R&D Center StaDyO, head specialist. noccm@mgsu.ru

Key words: progressive failure, steel structures, reinforced concrete structures, transient dynamics

Актуальной проблемой современных расчетных исследований напряженно-деформированного состояния сооружений при работе на особые сочетания нагрузок и воздействий является учет фактической работы конструкции, несущей способности узлов, способов учета реализуемого динамического воздействия и выбора метода моделирования всей конструкции в целом.

Результатом неучета этих факторов может стать инженерная ошибка, приводящая к катастрофическим последствиям. Так, к примеру, с введением изменения № 1 к СП 385.1325800.2018 для квазистатического метода были убраны поправочные коэффициенты по учету динамического догружения конструкции в результате иницирующего воздействия. В результате этого поверочный расчет конструкции выполняется практически на статические воздействия от пониженных нормативных нагрузок.

Проведенные и выполняемые серии циклов расчетов в рамках научно-технического сопровождения проектирования и строительства коллективами специалистов АО НИЦ СтаДиО и НОЦ КМ НИУ МГСУ как в квазистатической постановке, так и с применением методов прямой динамики, показали недостаточность и опасность квазистатического подхода для анализа несущей способности большепролетных сооружений и подобных им конструкций. Так увеличение пролетов, вылетов консолей или значительный рост грузовых площадей в результате иницирующего воздействия (разрушение конструктивных узлов или отказ стержневых элементов) проявляются значительной результирующей амплитудой динамического догружения конструкции. При этом времени воздействия хватает для того, чтобы элементы потеряли устойчивость или получили значительные пластические деформации, снизив несущую способность и связность всей конструктивной схемы.

В актуальном докладе рассматривается опыт выполнения расчетов на прогрессирующее обрушение в рамках научно-технического сопровождения проектирования, включая следующие вопросы:

- 1) учет динамических догружающих эффектов для большепролетных конструкций, проявляющихся в результате иницирующих локальных воздействий (разрушение узлов или потеря устойчивости конструктивными элементами);
- 2) влияние времени иницирующего воздействия на динамическую реакцию конструктивной системы;
- 3) учет работы конструктивных узлов и механизма их разрушений при выполнении расчетов на прогрессирующее обрушение.

Список использованных источников

1. *Белостоцкий А.М., Акимов П.А.* Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Т. 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО. М.: Издательство АСВ, 2016. 426 с.
2. *Белостоцкий А. М., Дубинский С.И.* Анализ причин обрушения конструкций покрытия СОК «Трансвааль-парк» // ANSYS Solutions. 2007. №4. с. 5-12.
3. *Травуш В.И., Белостоцкий А. М., Аул А. А., Павлов А. С., Щербина С. В.* Трехмерный физически нелинейный анализ напряженно-деформированного состояния и оценка прочности конструктивных узлов и фрагментов зданий. // Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов : в 2 т. – Москва: Издательство АСВ, 2016. – Т. 2. – С. 71-92.
4. *Белостоцкий, А.М., Павлов А.С.* Методика и результаты численного моделирования процессов деформирования и обрушения зданий и сооружений при аварийных и экстремальных воздействиях // Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов : в 2 т. – Москва: Издательство АСВ, 2016. – Т. 2. – С. 108-124

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ-ВОДОХРАНИЛИЩЕ-ПЛОТИНА-ЗДАНИЕ СТАНЦИИ» САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС, КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В СИСТЕМУ МОНИТОРИНГА

Петряшев С.О.¹, Белостоцкий А.М.², Дмитриев Д.С.³

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), мл. науч. сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, ведущий инженер. Россия, petsero@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), д.т.н., академик РААСН, научный руководитель Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, ген. директор. Россия, amb@stadyo.ru

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), к.т.н., ст. науч. сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования им. А.Б. Золотова. АО НИЦ СтаДуО, зав. отделом расчетных исследований. Россия, stadyo@stadyo.ru

Ключевые слова: КЭ модель, численные методы расчета, гидротехнические сооружения, мониторинг

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF THE COMPLEX MODEL OF THE "BASE-RESERVOIR-DAM-STATION BUILDING" SYSTEM OF THE SAYANO-SHUSHENSKOYE HPP AS A BASIS FOR IMPLEMENTATION INTO THE MONITORING SYSTEM

Petryashev S.O.¹, Belostotskii A.M.², Dmitriev D.S.³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, junior researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B.Zolotov. R&D Center StaDyO, Lead Engineer, Russia, petsero@mail.ru

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Academician of the RAACS, scientific supervisor. R&D Center StaDyO, general Director, Russia, amb@stadyo.ru

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Scientific and Educational Center for Computer Modeling named after A.B. Zolotov. R&D Center StaDyO, Head of the Computational Research Department, Russia, stadyo@stadyo.ru

Key words: finite element model, numerical calculation methods, hydraulic structures, structural monitoring

Разработка и применение адаптивных численных моделей пространственных систем «основание – бетонное гидротехническое сооружение - водохранилище» является, способом необходимого расширения возможностей систем мониторинга безопасности ГТС. Современное численное моделирование позволяет получить и количественно оценить более полную и актуальную картину напряженно-деформированного (и иного) состояния и динамических характеристик сооружения, провести прогнозные исследования для большого числа сценариев нагружения. Примеров успешной интеграции таких моделей в комплексные системы мониторинга безопасности ГТС не много [1], но тенденция к развитию именно таких систем мониторинга очевидна.

В докладе представлен опыт АО НИЦ СтаДиО в области разработки математической модели гидроузла крупнейшей по установленной мощности электростанции России – Саяно-Шушенской гидроэлектростанции имени П.С. Непорожного. Показаны некоторые особенности моделирования, подходы, реализуемые постановки и учитываемые факторы. Представлены разработанные конечноэлементные модели (см. рис. 1). В разработанной модели системы заложены возможности для ее дальнейшего развития.

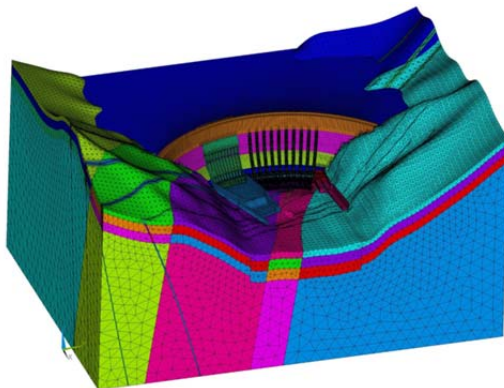


Рисунок 1 – КЭ модель системы «основание – водохранилище – плотина – здание станции Саяно-Шушенской ГЭС»

Приведены результаты верификации динамических и статических математических моделей системы по данным натурных наблюдений/измерений. Принятая и апробированная методология верификации представляет собой системное движение от исходной базовой модели ко все более детальной и/или сложной - до достижения приемлемого соответствия критериальных результатов расчетов натурным данным.

Основным (но не единственным) инструментом верификации базовой модели является поиск собственных форм и частот колебаний. Эти внутренние характеристики математической модели хорошо описывают ее поведение и относительно просто сравниваются с широко представленными натурными исследованиями. Кроме этого они служат базисом для практически любых динамических расчетов.

По результатам расчетных исследований получено хорошее соответствие собственных частот и форм математической модели плотины с натурными исследованиями при различных уровнях наполнения верхнего бьефа (УВБ) (см. рис. 2–3).

Представленные результаты расчетных исследований и верификации расчетных моделей открывают перспективы последующей их интеграции в систему мониторинга механической безопасности гидроузла СШГЭС.

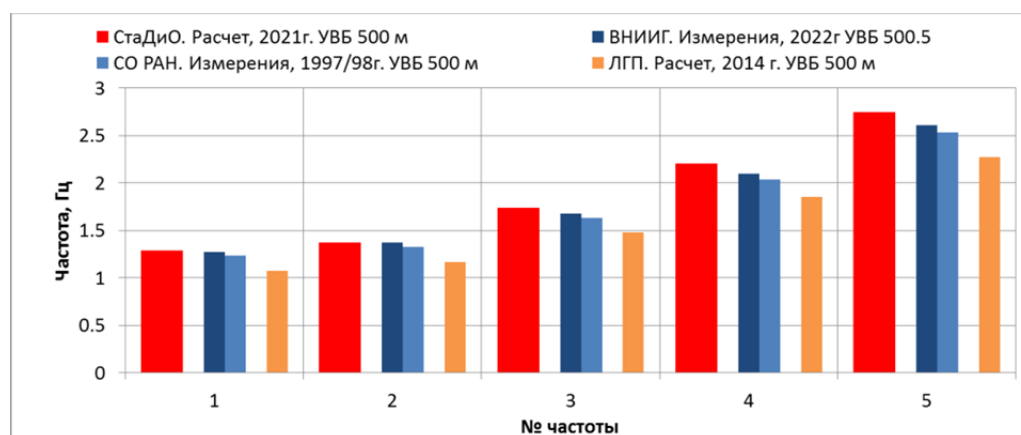


Рисунок 2 – Сопоставление собственных форм колебаний плотины СШГЭС при УВБ 500м

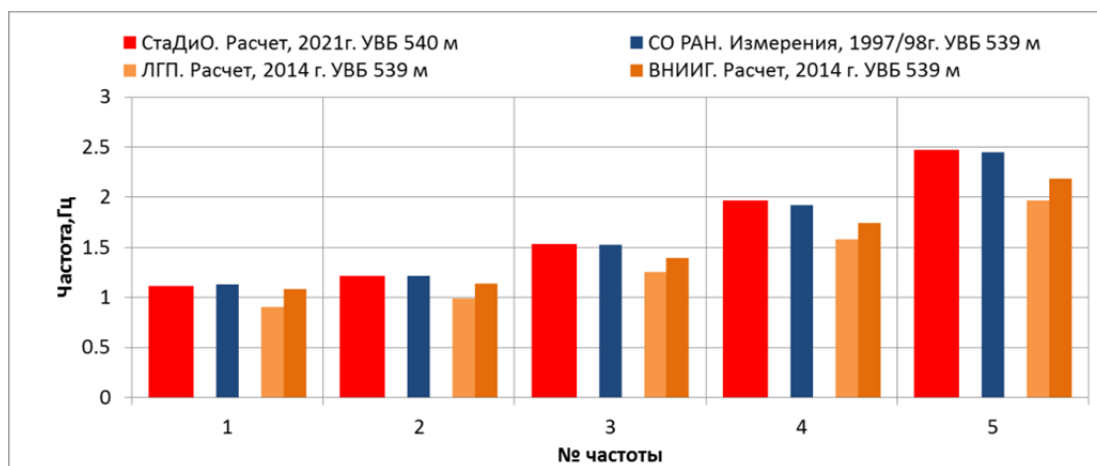


Рисунок 3 – Сопоставление собственных форм колебаний плотины СШГЭС при УВБ 539-540м

Список использованных источников

1. *Sérgio Oliveira, André Alegre*. Seismic and structural health monitoring of Cabril dam. Software development for informed management. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 2020
2. *Белостоцкий А.М., Акимов П.А.* Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. Т. 2. К 25-летию Научно-исследовательского центра СтаДиО. М.: Издательство АСВ, 2016. 426 с.
3. *Белостоцкий А.М.* Численное моделирование статического и динамического напряженно-деформированного состояния пространственных систем «сооружение – основание - водохранилище» с учетом нелинейных эффектов открытия – закрытия швов и макротрещин. Дис. ... докт.техн.наук: 05.23.07, Москва, 1998 г
4. *Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С., Нгуен Тай Ханг Lyon*. Верификация методики численного моделирования динамического напряженно-деформированного состояния трехмерных систем «сооружение – жидкость», International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2015. – № 4. – С. 124-132.
5. *Дмитриев Д.С.* Уточненный динамический анализ напряженно-деформированного состояния трехмерной системы «основание-водохранилище-гидротехническое сооружение» при сейсмических воздействиях. Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07. М., 2019 г.
6. *Дмитриев, Д.С.* Особенности использования конечных элементов с возможностью учета поверхностных гравитационных волн при динамическом расчете связанных систем «гидротехническое сооружение-жидкость». Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 3. – С. 50-58.
7. Типовой динамический паспорт гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС. АО «НИИЭС». 2017. 246 с.
8. Типовой динамический паспорт гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС. АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева», Санкт-Петербург, 2022 г.
9. *Толошинов А.В., Александров Ю.Н., Епифанов А.П.*, Построение конечно-элементной расчетной модели для оценки напряженно-деформированного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС, Изв. вузов, Строительство, Июль 2006 г., № 7 (51), стр. 38–47
10. *Храпков А. А., Скворцова А. Е., Костылев В. С., Щерба Д. В.*, О построении математической модели арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской ГЭС, Известия АО ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Санкт-Петербург, декабрь 2011, т. 264, стр. 56-69.

АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕСТРОЙКАХ, ВЫЗВАННЫХ ПОТЕРЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Савин С.Ю.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», к.т.н., доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, Россия, suwin@yandex.ru

Ключевые слова: живучесть, устойчивость, конструктивная система, расчетная модель

ROBUSTNESS ANALYSIS FOR NONLINEAR STRUCTURAL SYSTEMS UNDER ACCIDENTAL IMPACTS IN REGARD WITH STABILITY FAILURE MECHANISM

Savin S. Yu.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Russia, suwin@yandex.ru

Key words: robustness, stability, structural system, design scheme

С начала 2000-ых в связи с рядом обрушений зданий, повлекших за собой большие человеческие жертвы, в научной литературе стал значительно возрастать интерес к проблеме прогрессирующего обрушения и живучести несущих систем зданий и сооружений при особых воздействиях. Научно-аналитические обзоры последних лет, выполненные Адамом Х. и др.[1], Кьякоджури Ф. и др.[2], Федоровой Н.В. и др.[3], отмечают сотни публикаций, опубликованных по данной тематике. Несмотря на большое число опубликованных новых результатов исследований характера деформирования и разрушения несущих систем зданий и сооружений при аварийных ситуациях, вызванных начальным локальным разрушением в конструктивной системе, ряд вопросов остается дискуссионным, а некоторые исследования пока носят постановочный характер.

В рамках подходов к обеспечению живучести несущих систем зданий и сооружений, изложенных в отечественных и зарубежных нормативных документах, таких как СП 385.132580 [4], UFC 4-023-03 [5], GSA 2013 [6], предполагается, что несущая система должна быть спроектирована таким образом, чтобы локальное разрушение не привело к частичному или полному обрушению здания или сооружения. В развитие данного требования в названных нормативных документах приводятся силовые и деформационные критерии для оценки прочности сечений несущих элементов. Применительно к конструкциям балочного типа приводятся интегральные критерии: в СП 385.132580 - предельно допустимые прогибы; в UFC 4-023-03 и GSA 2013 – углы поворота в пластических шарнирах. Однако в ряде случаев, когда вертикальные несущие конструкции обладают большой гибкостью, либо приобрели механические или средовые повреждения в процессе эксплуатации, внезапная структурная перестройка, вызванная начальным локальным разрушением, может привести к потере устойчивости элементов конструктивной системы (рис. 1).

Результаты численного моделирования показывают возможность использования упрощенных моделей для предварительного анализа устойчивости внецентренно сжатых железобетонных элементов конструктивных систем при внезапных структурных перестройках [7]. В связи с этим уравнение движения податливо закрепленно-

го концевого сечения внецентренно сжатого стержневого элемента конструктивной системы примет вид:

$$m \cdot \frac{d^2 f}{dt^2} + k \cdot \frac{df}{dt} + c \cdot f_{P_2} = Q(P_1(t)) + P_2(t), \quad (1)$$

где m – сконденсированная масса на податливо закрепленном конце стержня; k – коэффициент вязкого сопротивления движению стержня; c – горизонтальная реакция в податливо закрепленном конце стержневого элемента и присоединенной к нему системы на единичное горизонтальное смещение; $P_{h, fic}(P_1(t))$ – фиктивная сосредоточенная нагрузка, вызывающая горизонтальное смещение податливо закрепленного конца стержня на величину f_{P_1} и определяемая из решения уравнения равновесия стержня при продольном изгибе как сумма поперечной силы на конце стержня и реакции податливой опоры; $P_1(t)$ – продольная сосредоточенная сила, приложенная к податливо закрепленному концу стержня; $P_2(t)$ – поперечная сосредоточенная сила, приложенная к податливо закрепленному концу стержня; f_{P_1} – горизонтальное смещение податливо закрепленного конца стержня от сосредоточенной нагрузки $P_1(t)$; f_{P_2} – горизонтальное смещение податливо закрепленного конца стержня от сосредоточенной нагрузки $P_2(t)$.

Смещение от поперечной сосредоточенной силы $P_2(t)$ найдем из выражения

$$f_{P_2} = \frac{b}{2} - \sqrt{\frac{b^2}{4} - a}, \quad a = \frac{f \cdot P_2(t)}{c}; \quad b = f + \frac{Q(P_1(t)) + P_2(t)}{c}.$$



$t = 1.167$ с



$t = 1.200$ с



$t = 1.233$ с

Рисунок 1 – Данные фотофиксации испытания железобетонной рамы первой серии при внезапном отказе угловой колонны

Дифференциальное уравнение (1) является нелинейным относительно функции f . Его решение может быть получено приближенно с использованием метода Рунге-Кутты.

Список использованных источников

1. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Eng. Struct. 2018. 173. Pp. 122–149.
2. Kiakojoury F., De Biagi V., Chiaia B., Sheidaii M.R. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects // Eng. Struct. 2019. 206. Pp. 110061.
3. Fedorova N.V., Savin S.Y. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage - an analytical review // Build. Reconstr. 2021. 95. Pp. 76–108.
4. СП 385.132580.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения» (Изм. №1, №2). Минстрой России. Москва: Стандартинформ, 2018.
5. UFC 4-023-03. Design of Buildings To Resist Progressive Collapse. Des. Build. To Resist Progress. Collapse. 2016.
6. General Services Administration (GSA). Alternative path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance. Office of Chief Architects, Washington, DC. 2013.
7. Savin S., Fedorova N. Dynamic behavior of a RC column under axial-lateral impact // Proceedings of International Structural Engineering and Construction, 2022, 9(1), pp. STR-36-1–STR-36-6.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЛ 110-750 кВ: ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Сенькин Н.А.^{1,2}

¹ *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет», к.т.н., доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции», Россия, senkin1952@yandex.ru*

² *АО "Научно-Технический Центр Россети Федеральной Сетевой Компании Единой Энергетической Системы" (АО «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»), главный эксперт Дирекции по капитальному строительству, senkin1952@yandex.ru*

Ключевые слова: стальные конструкции, воздушные линии электропередачи, действительная работа конструкций, этапы жизненного цикла, мобильные опоры

BUILDING STRUCTURES OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES 110-750 kV: LIFE CYCLE STAGESTLE OF THE REPORT

Senkin N.A.^{1,2}

¹ *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures, Russia, senkin1952@yandex.ru*

² *JSC "Rosseti Scientific and Technical Center of the Federal Grid Company of the Unified Energy System" (JSC "STC Rosseti FGC UES") Chief Expert of the Directorate for Capital Construction, senkin1952@yandex.ru*

Key words: steel structures, overhead power lines, actual operation of structures, life cycle stages, mobile supports

В России эксплуатируются воздушные линии электропередачи (ВЛ) напряжением 110-750 кВ общей протяженностью почти 500 тыс. км. Сметная стоимость строительных конструкций (СК), как правило, достигает 70-80 % от общей стоимости строительства ВЛ, определяя необходимость самого пристального отношения к конструктивной части при строительстве и эксплуатации. Задача анализа жизненного цикла ВЛ относится к действительной работе конструкций [1] и составляет основную цель публикации. Жизненный цикл сооружения типа СК ВЛ описывается «кривой жизни», график которой, как изменение потока отказов по временной оси, состоит из трех основных этапов: приработка, нормальная эксплуатация и износ (рисунок). Для построения графика использованы результаты статистических исследований АО «Фирма ОРГРЭС» [2] и Донбасской НАСА [3].

Первый этап (приработка – участок «а-б-с» на рисунке) характеризуется существенным уровнем отказов конструкций по причине дефектов и повреждений, возникающих при выполнении транспортных, погрузочно-разгрузочных и строительномонтажных работ (СМР). Прочностные расчеты СК ВЛ, имеющих искаженную форму по причине отклонения стальных опор от вертикальной оси, а также от неравномерной установки фундаментов, показали увеличение усилий в несущих элементах в пределах 5%, при условии не превышения отклонениями допустимых значений по нормативно-технической документации. Усиление строительного контроля, технического и авторского надзора на первом этапе, а также назначение гарантийного срока

3 – 5 лет для исправления подрядных ошибок, обеспечит надлежащее качество СМР с устранением экстремальных значений и понижением потока отказов до нормативного значения. Продолжительность этапа нормальной эксплуатации (участок «с-d») определяется уровнем антикоррозионной защиты элементов СК, так в условиях промышленной атмосферы стальная конструкция ВЛ теряет горячую оцинковку за 15-25 лет [3].

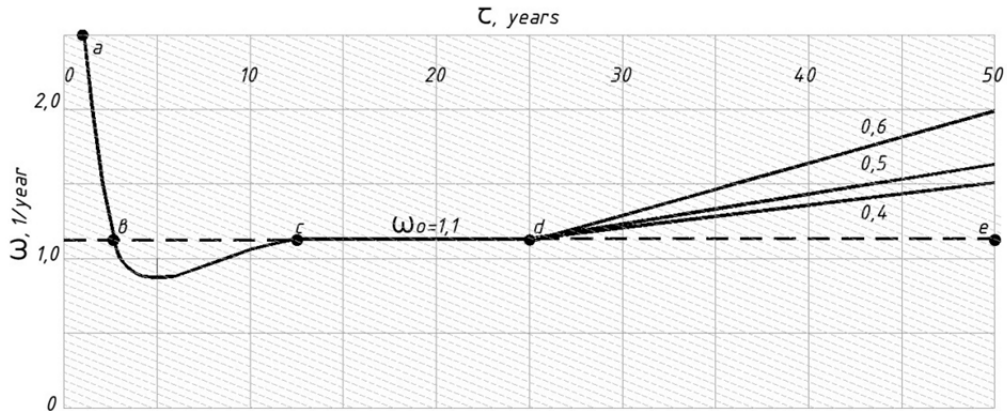


Рисунок 1 – «Кривая жизни» строительных конструкций ВЛ 110 кВ протяженностью 100 км

На последнем третьем этапе СК имеет коррозионные повреждения в зависимости от агрессивности атмосферы (участок «d-e» на рисунке, «кривые жизни» с коэффициентами 0,4-0,6, подобные кривым коррозионного износа по Приложению 1 к ГОСТ 9.040-74), поэтому потребуется обновление антикоррозионной защиты стальных конструкций, а также усиление и замена элементов СК, что позволит существенно понизить поток отказов до нормативного значения $\omega_0=1,1$ (пунктир на рисунке). Как вариант, на этом этапе целесообразно выполнить реконструкцию с заменой провода на современный компактированный, здесь при сохранении пропускной способности ВЛ нагрузки от гололедно-ветровых воздействий на опоры снижаются в связи со уменьшением диаметра проводов.

Альтернативным является вариант обеспечения действующей ВЛ комплектом специальных мобильных резервно-аварийных опор (РАО), экстренно доставляемых и устанавливаемых вместо поврежденных нормальных промежуточных опор [4]. При этом в весьма короткие сроки восстанавливается функционирование ВЛ, а затем производится плановая замена РАО на нормальные опоры.

Список использованных источников

1. Сенькин Н. А., Белякова Т. Е., Мальчиков Д. А., Васильев В. С. Действительная работа стальных конструкций воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше //Металлические конструкции. ДонНАСА. Том 28. Номер 1. 2022. С. 5-18.
2. Яковлев Л.В., Каверина Р.С., Дубинич Л.А. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации / Линии электропередачи 2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и НТП. Новосибирск, 2008. С. 28-49.
3. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций: монография ДонНАСА / Е.В. Горохов, С.Н. Шаповалов, Е.И. Удод и др.; под ред. Е.В. Горохова. Киев: Техніка. 1997. 284 с.
4. Senkin N. Design of Special Mobile Structures for Restoration of Overhead Power Line /A. Manakov and A. Edigarian (Eds.): Springer Nature Switzerland AG 2022. TransSiberia 2021, LNNS 403, pp. 1496-1504, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_167

ЧИСЛЕННАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФИРОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИНОК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ

Соловьев И.А.¹, Шитикова М.В.²

¹ ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", аспирантка кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, Россия, ivansolovev3112@gmail.com

² ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", д. физ.-мат. н. профессор, руководитель научного центра по фундаментальным исследованиям в области естественных и строительных наук, Россия, mvs@vgasu.vrn.ru

Ключевые слова: аддитивное изготовление, внутренне трение, экспериментальное исследование, композитные пластинки

NUMERICAL VERIFICATION OF DAMPING PARAMETERS OF THREE-LAYER COMPOSITE PLATES PRODUCED BY ADDITIVE METHOD

Solovev I.A.¹, Shitikova M.V.²

¹ Voronezh State Technical University, PhD student, Department of Technology, Organization of Construction, Expertise and Real Estate Management, Russia, ivansolovev3112@gmail.com

² Voronezh State Technical University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Research Center on Dynamics of Solids and Structures, Russia, mvs@vgasu.vrn.ru

Key words: additive manufacturing, internal friction, experimental research, composite plates

Анализ релаксационных явлений, происходящих в металлах, сплавах и композитах, является важной задачей современного материаловедения. Результаты таких исследований дают обширную информацию о кинетике дефектов кристаллической структуры и позволяют прогнозировать поведение элементов конструкции из этих материалов в различных условиях эксплуатации. Для описания релаксационных процессов в материалах при достаточно слабом внешнем воздействии, не сводящемся к пластическим деформациям, обычно принимают наследственную теорию упругости.

В последнее время ученые во многих областях науки и техники уделяют большое внимание ауксетикам (материалам с отрицательным коэффициентом Пуассона) [1-2]. Эти материалы обладают необычным механизмом деформации: они расширяются в направлении, перпендикулярном приложению силы, при растяжении и аналогично сжимаются при сжатии.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию реологических характеристик полимерных сэндвич-композитных пластин с тетракиральными сотами (рис. 1) [5] с использованием метода импульсного возбуждения [6]. Способ изготовления данных пластин описан в работе [3]. Пластины обладают большей прочностью по сравнению со сплошными пластинами при равном объеме твердого тела [7]. Кроме того, сотовые структуры этих композитов могут иметь отрицательный коэффициент Пуассона, т.е. вести себя как ауксетические материалы [5]. Эти композиты имеют очевидные перспективы конструкционного применения и поэтому требуют дальнейшего изучения их механических свойств. Для этого материала определены такие параметры, как внутреннее трение, нерелаксированный (мгновенный) и релаксированный (длительный) модули упругости, а также параметр дробности. Полученные ре-

зультаты могут быть использованы в качестве базовых параметров при использовании моделей с дробными производными в высокоточных инженерных расчетах с учетом динамических нагрузок.

Для исследований образцов используется прибор для измерения упругих свойств и внутреннего трения материалов. Аппарат возбуждает испытуемый образец легким механическим воздействием (импульсное возбуждение), а также выполняет программный анализ возникающей вибрации. При этом рассчитываются резонансные частоты f_r пластинки, а в случае образцов изотропной и правильной формы – модули упругости. В качестве меры внутреннего трения принимается величина, обратная добротности Q^{-1} , которая определяется для каждого значения f_r как $Q^{-1} = k/(pf_r)$, где k параметр экспоненциального затухания вибрационной составляющей частоты f_r . [4].

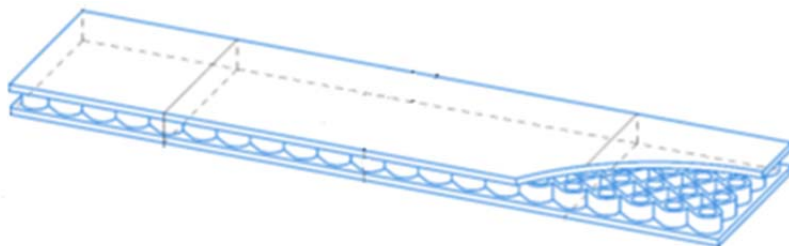


Рисунок 1 – Вид трехслойной композитной пластинки с тетракиральным наполнителем

Метод импульсного возбуждения является усовершенствованным методом измерения таких характеристик материала, как динамический модуль Юнга и модуль упругости, динамический коэффициент Пуассона, демпфирование, для исследования деформационного поведения, явлений разупрочнения, механизмов релаксации и фазовых превращений в разных материалах.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и образования РФ (проект № FZGM 2023-0006). Экспериментальные исследования проводились на базе Центра коллективных исследований имени профессора Ю.М. Борисов, Воронежский государственный технический университет, при частичной поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, договор № 075-15-2021-662.

Список использованных источников

1. Mazaev, A. V., Ajenez, O., & Shitikova, M. V. Auxetics materials: classification, mechanical properties and applications. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 747, 2020, 012008. doi:10.1088/1757-899X/747/1/012008
2. Saxena K. K., Das R. and Calius E. P. Three Decades of Auxetics Research – Materials with Negative Poisson's Ratio: A Review Adv. Eng. Mater. 18 1847–70, 2016. doi.org/10.1002/adem.201600053
3. Alexey V. Mazaev, Marina V. Shitikova, Ivan A. Soloviev, The stressed state of three-layer composites with tetrachiral honeycombs under bending conditions: Mathematical modeling and additive manufacturing laboratory experiments, Composite Structures, Vol. 305, 2023. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116550.
4. G. Roebben, B. Bollen, A. Brebels, J. Van Humbeeck and O. Van der Biest. "Impulse excitation apparatus to measure resonant frequencies, elastic moduli, and internal friction at room and high temperature", Review of Scientific Instruments 68, 4511-4515, 1997. https://doi.org/10.1063/1.1148422
5. Alderson A. et al. Elastic constants of 3-, 4- and 6-connected chiral and anti-chiral honeycombs subject to uniaxial in-plane loading // Composites Science and Technology. Vol. 70. №. 7. pp. 1042-1048, 2010.
6. Popov I.I., Shitikova M.V. Impulse excitation technique and its application for identification of material damping: an overview // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, 022025. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022025
7. Mazaev A.V., Shitikova M.V. Static bending strength of sandwich composite plates with tetrachiral honeycombs // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Vol. 17. №. 3. pp. 102-113, 2021.

УСТОЙЧИВОСТЬ ФИЗИЧЕСКИ И КОНСТРУКТИВНО НЕЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Травуш В.И.¹, Колчунов В.И.², Мицкус Ю.А.³

¹ *Вице-президент РААСН по направлению «Строительные науки», д-р техн. наук, профессор, академик РААСН*

² *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры уникальных зданий и сооружений, Россия,*

³ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный технический университет», аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений, Россия, ulamickus@gmail.com*

Ключевые слова: устойчивость, нелинейность, жесткость, неоднородная структура, метод конечных элементов, расчетная схема, эффекты переменной жесткости.

STABILITY OF PHYSICALLY AND STRUCTURALLY NONLINEAR RODS OF VARIABLE STIFFNESS

Travush V.I.¹, Kolchunov V.I.², Mitskus Yu.A.³

¹ *Southwest State University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Professor of the Unique Buildings and Structures, Russia, travush@mail.ru*

² *Southwest State University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Professor of the Unique Buildings and Structures, Russia, asiorel@mail.ru*

³ *Southwest State University, PhD student, Department of Unique Buildings and Structure, Russia, ulamickus@gmail.com*

Key words: stability, nonlinearity, stiffness, nonuniform structure, finite element method, calculation scheme, variable stiffness effects.

Проблема устойчивости физически и конструктивно нелинейных стержней переменной жесткости с неоднородной структурой, таких как многокомпонентные стержни, частным случаем которых являются железобетонные конструкции, занимает особое место в решении задач строительной механики, обеспечении безопасности и надежности строительных конструкций, зданий и сооружений. Это обусловлено значительным отличием работы реальной конструкции от идеализированных условий расчета, а именно неоднородная структура стержня (состав сечения из бетона и арматурной стали), переменная по длине жесткость сечения и сложно напряженное деформированное состояние являются причинами нелинейного характера работы таких конструкций.

Расчетная модель, разрабатываемая в данном исследовании основана на методе конечных элементов и учитывает нелинейность материалов, а также изменяющуюся жесткость стержней как ввиду неоднородности сечения стержня, переменной жесткости по длине (конструктивная нелинейность), так и изменяющуюся под воздействием нагрузки жесткость (физическая нелинейность).

Расчетная схема стержня представлена в различных постановках и граничных условиях, на основе ранее выполненных исследований авторов [1], [2] рис.1.

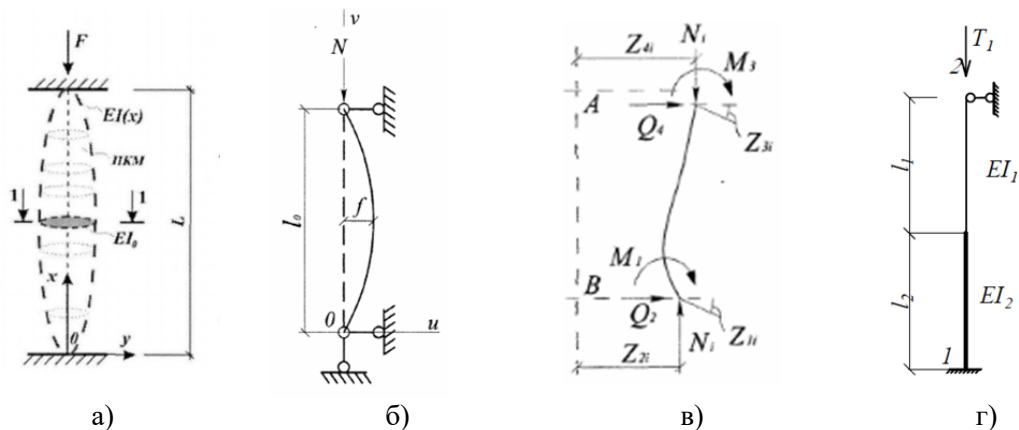


Рисунок 1 – Расчетные модели и схемы продольно-сжатых стержней переменной жесткости

Расчетная модель стержня переменной жесткости с неоднородной структурой и изменяющимся параметром жесткости в виду физической и конструктивной нелинейности может быть представлена в следующем виде, см. рис.1г. В этой схеме стержень состоит из нескольких участков, каждый из которых принадлежит определенной жесткости. В докладе рассматриваются эффекты, связанные с переменной жесткостью, где каждый участок стержня описывается параметрами жесткости и деформативности с учетом граничных условий геометрической нелинейности стержня и возникающим сложно-деформированным состоянием как всей конструкции в целом, так и отдельных участков.

Проверяется предположение и необходимость учета докритических нагрузок, которые не принимают во внимание в расчетах при некоторых формах постановок задач, ввиду того, что они не вносят значительных изменений в жесткость конструкции, то есть в сечении стержня присутствуют напряжения, но не это не приводит к его деформированию [3].

Заключение: пассивная форма потери устойчивости стержня [4] дает основание полагать о необходимости учитывать изменяющийся параметр жесткости в допредельных состояниях конструкции, которые могут носить нелинейный характер изменения.

Стоит отметить, что учёт нелинейного изменения параметра жесткости стержня при докритических нагрузках существенным образом приближает идеализированную расчетную схему конструкции к её реальной работе.

Список использованных источников

1. Кулинич И. И. Устойчивость продольно-сжатых стержней переменной жесткости при ползучести: дис. - Ростов РГСУ. – 2012.
2. Прасолов Н. О. Живучесть железобетонных рамно-стержневых конструкций при внезапной потере устойчивости несущих элементов: дис. – Государственный университет-учебно-научно-производственный комплекс, 2013.
3. Кузнецова Д. А. Вариационные постановки и аналитические решения физически и геометрически нелинейных задач статики и устойчивости упругих стержней с учетом деформаций растяжения-сжатия и сдвига: дис. – С.-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2016.
4. Александров А. В., Травуш В. И., Матвеев А. В. О расчете стержневых конструкций на устойчивость //Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – Т. 3. – С. 16-19.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЕЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОСОБОМ ПРЕДЕЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

*Трекин Н.Н.¹, Кодыш Э.Н.², Шмаков С.Д.³, Терехов И.А.⁴,
Чаганов А.Б.⁵, Черепанов А.В.⁶*

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»;
АО «ЦНИИПромзданий», начальник отдела конструктивных систем №1, Россия, nik-trekin@yandex.ru

² АО «ЦНИИПромзданий», главный научный сотрудник, Россия, otks@narod.ru

³ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), ассистент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»;
АО «ЦНИИПромзданий», аспирант, младший научный сотрудник, Россия, sergey3456789@gmail.com

⁴ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»;

АО «ЦНИИПромзданий», ведущий научный сотрудник, Россия, terekhov-i@mail.ru

⁵ ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), к.т.н., заведующий кафедрой строительного производства, chabpilot@yandex.ru

⁶ ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), аспирант,
АО «ЦНИИПромзданий», ведущий инженер, Россия, cherepanov.eng@yandex.ru

Ключевые слова: датчик давления, железобетонные конструкции, определение напряженно-деформированного состояния, особое предельное состояние, конструирование, экспериментальные исследования

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN A SPECIAL LIMITING STATE

*Trekin N.N.¹, Kodysh E.N.², Shmakov S.D.³, Terekhov I.A.⁴, Chaganov A.B.⁵,
Cherepanov A.V.⁶*

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Reinforced Concrete and Stone Structures";
JSC TsNIIPromzdaniy, Head of Structural Systems Department No. 1, Russia, nik-trekin@yandex.ru

² JSC "TsNIIPromzdaniy", chief researcher, Russia, otks@narod.ru

³ Russian University of Transport (RUT (MIIT)), assistant of the department "Building structures, buildings and structures";
JSC "TsNIIPromzdaniy", postgraduate student, junior researcher, Russia, sergey3456789@gmail.com

⁴ Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Ph.D., Associate Professor of the Department "Building structures, buildings and structures";

JSC "TsNIIPromzdaniy", Leading Researcher, Russia, terekhov-i@mail.ru

⁵ Vyatka State University (Vyatka State University), Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Construction Production, chabpilot@yandex.ru

⁶ Vyatka State University (Vyatka State University), postgraduate student,
JSC "Tsniiipromzdaniy", Leading Engineer, Russia, cherepanov.eng@yandex.ru

Key words: pressure sensor, reinforced concrete structures, determination of stress-strain state, special limit state, design, experimental research

Вопрос защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения приобретает особую актуальность ввиду участвовавших в последние десятилетия случаев воздействий на конструкции зданий и сооружений, не предусмотренных нормативной документацией, приводящих к их обрушению.

Проектирование зданий и сооружений с учетом защиты от прогрессирующего обрушения, в ряде случаев, приводит к удорожанию строительства. Снижению стоимости, наравне с совершенствованием конструктивных решений для защиты от прогрессирующего обрушения, способствует развитие методов расчета несущих конструкций зданий и сооружений в особом предельном состоянии, т.е. на стадии близкой к превращению конструкции или их соединений в механизм.

Ввиду ограниченного количества экспериментальных данных, критерии особого предельного состояния, представленные в действующей редакции СП 385.1325800.2018 [1], были приняты с некоторым запасом. Проведение дополнительных исследований позволит уточнить критерии особого предельного состояния, обеспечивая требуемую надежность при эксплуатации конструкций зданий и сооружений.

Решение поставленной задачи возможно осуществить путем проведения экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния нормального сечения железобетонного элемента на стадии предельного по несущей способности состояния и далее разгрузки. При этом из-за характера работы изгибаемых железобетонных конструкций (образование т.н. упругих блоков) [2] возникает ситуация, когда каждое конкретное сечение имеет свое специфическое напряженно-деформированное состояние. При изучении работы элемента в особом предельном состоянии необходима проверка корректности использования гипотезы плоских сечений.

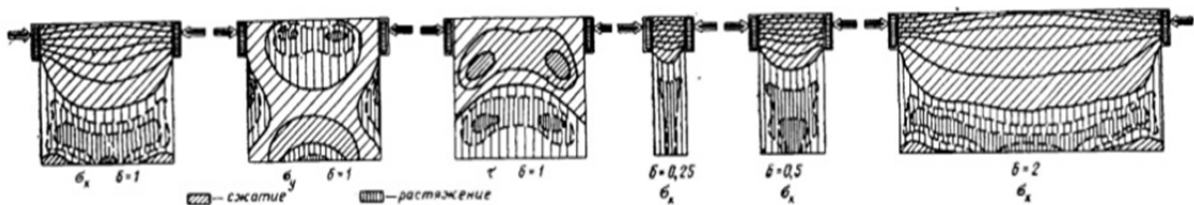


Рисунок 1 – Распределение напряжений в упругих блоках

Общепринятый метод измерения напряжений при помощи тензорезисторов, наклеенных на поверхности бетонной конструкции не позволяет замерить деформации когда поверхность бетона начинает разрушаться. Для получения объективной картины распределения напряжений сжатия по сечению необходимы внутренние датчики давления.

Рассмотрены два наиболее перспективных к разработке физических принципа работы датчиков давления. Датчики, основанные на пьезокерамических элементах, работают только в одном направлении деформирования. Учитывая, что в нормальном сечении при разрушении зоны сжатия и растяжения могут перемещаться, эти датчики могут исказить напряженно-деформированное состояние.

В ходе первоначального конструирования рассматривались два подхода к конструированию датчика давления. В качестве гипотезы было принято, что оптимальной с точки зрения простоты, технологичности и надежности будет конструкция датчика в виде тензорезистора расположенного внутри упругого корпуса из однородного композита (первый тип), равномерно сопряженного с тензорезистором. В этом случае деформация корпуса датчика, расположенного внутри бетонного сечения, должна вызывать равномерные деформации тензорезистора. При этом для снижения погрешности измерения было необходимо исключить изгибную деформацию датчика, поскольку в этом случае интерпретация изменения сопротивления тензорезистора осложняется.

Были изготовлены три варианта датчика первого типа (датчик с демпфером, с демпфером и элементами усиления опорных зон, датчик без дополнительных элементов (более 50 единиц), испытанные до разрушения в бетонных призмах и железобетонных кубах. Анализ полученных данных показал, что добиться стабильных показателей работы датчика давления с корпусом из эпоксидной смолы не удалось.

В качестве второго типа датчика давления был принят вариант в виде упругого элемента, обладающего деформативностью близкой к бетону, на который наклеивался тензодатчик. Датчик предварительно испытывался на прессе для получения зависимости показаний тензорезистора от напряжений по поверхности упругого элемента.

Была проведена экспериментальная проверка работоспособности датчиков давления, и разработаны рекомендации по их изготовлению. Получены стабильные показатели напряжения и высокая чувствительность датчика давления.

Список использованных источников

1. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения.
2. Мулин Н.М. Особенности деформирования изгибаемых элементов. // Теория железобетона. Сборник трудов. НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1972. 187 с.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ НАРУЖНОГО УГЛА

Умнякова Н.П.^{1,2}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», д.т.н., заместитель директора по науке, Россия, n.umniakova@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор кафедры Архитектурно-строительного проектирования» Мытищинского филиала, Россия, n.umniakova@mail.ru

Ключевые слова: наружный угол, стена, теплопередача, температура, теплоусвоение, грань угла, деревянные конструкции

SPECIAL ASPECTS OF PROCESS MODELLING OF HEAT TRANSFER THROUGH OUTSIDE CORNER

Umnyakova N.P.^{1,2}

¹ Federal state budget l institution “Research Institute of Building Physics of Russian Academia of Architecture and Construction Sciences”, Doctor of Technical Sciences, deputy-director, Russia, n.umniakova@mail.ru

² Federal state budget educational institution of higher education "National research Moscow State University of Civil Engineering», Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Architectural and Structural Design, Russia, n.umniakova@mail.ru

Key words: outside corner, wall, heat transfer, temperature, surface thermal absorption of the envelope, corner borderline, wooden wall

Из всех применяемых в строительной практике материалов для наружных ограждающих конструкций только стеновые конструкции из дерева имеют структуру, отличительную от других строительных материалов. Физические свойства древесины, включая теплотехнические, определяются ее анизотропным строением и тонкой структурой ее клеточной оболочки. И основной задачей конструктивных материалов из древесины является исключение возможности увлажнения деревянных элементов в период эксплуатации здания.

Наиболее неблагоприятные в гигиеническом отношении температуры возникают в зоне наружного угла здания [1-3]. Температуры на грани внутренней поверхности угла всегда меньше температуры по глади внутренней поверхности стены [4, 5]. В условиях эксплуатации это обстоятельство приводит к созданию условий для образования конденсата.

В связи с этим оценки предложены новые аналитические решения для определения температуры на грани наружного угла в зависимости от использования в зоне наружного угла среднего коэффициента теплоусвоения s , Вт/м²°С. Новизна этого решения позволяет принять гипотезу о наличии устойчивых связей между волокнами древесины, расположенными вдоль и поперек бревен в зоне конструкции наружного угла сруба.

Разработан новый подход к расчету теплозащитных свойств наружных стеновых ограждений с учетом коэффициента теплообмена у грани внутренней поверх-

ности наружного угла [6] и коэффициентов теплоусвоения древесины вдоль и поперек волокон.

Выполненные расчеты по предлагаемому методу показали сходимость в результатах натуральных и лабораторных исследований при определении температуры на внутренней поверхности наружной стены на грани наружного угла [4,7]. В качестве примеров рассмотрена конструкция наружных стен, выполненная из деревянных брусьев, и брусчатая стена с обшивкой на отnose для различных климатических условий для городов Вологды, Новосибирска и Томска.

Проведенные расчеты показали, что устройство на наружной поверхности деревянных стен дощатой обшивки по деревянным брускам с воздушной прослойкой между брусчатыми стенами и досками позволяет повысить не только теплозащитные качества деревянной стены, но и способствовать повышению температуры на внутренней поверхности брусчатой стены, особенно в зоне наружных углов.

Разработанная методика расчета температуры на внутренней поверхности стены в зоне угла позволяет на стадии проектирования определить температуры на внутренней поверхности на грани угла брусчатой стены, установить потенциальную возможность увлажнения древесины и образования конденсата, и при необходимости, разработать конструктивные решения, позволяющие защитить внутреннюю поверхность наружного угла сруба от увлажнения конденсационной влагой.

Список использованных источников

1. *Бородин, А. И.* Проблема образования конденсата в наружных углах зданий в свете нормативных требований / А. И. Бородин, З. Б. Черепанов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2009. — № 1. — С. 142—144.
2. *Назиров, Р. А.* Определение температуры внутренних поверхностей в наружных углах зданий / Р. А. Назиров, В. С. Подковырин, К. А. Подковырина // Известия вузов. Строительство. — 2016. — № 10—11. — С. 106—111
3. *Young, S.J.* The heat transfer simulation for thermal bridge effect of the corner walls of building according to thermal condition / S.J. Young, S.Ch. Gyoung, W.K. Kyoung, E.L. Seung // Proceedings Building Simulation. — 2007. — P. 169—174
4. *Umnyakova, N.P.* Engineering method for calculating the temperature on the inner surface of the outer corner of a building / N.P. Umnyakova // Russian Journal of Building Construction and Architecture. — 2021. — № 4(52). — P.7 – 19
5. *Иванова Е.А.* Численное исследование влияния угла разворота на теплоперенос в многослойных элементах наружных ограждающих конструкций / Е. А. Иванова, А. Н. Козлобродов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. — 2020. — Т.6. — № 4 (24). — С. 69-87.
6. *Umnyakova N.P.* Convective and radiant heat transfer on internal surfaces of the outer corner/ N.P.Umnyakova//Russian Journal of Building Construction and Architecture. — 2022. — № 3(55). — Pp.55– 65
7. *Васильев, Б.Ф.* Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий /Б.Ф.Васильев. — М.: Из-во по строительству и архитектуре, 1957. — 210 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ДОГРУЖЕНИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМАХ, АРМИРОВАННЫХ НАКЛОННЫМИ СТЕРЖНЯМИ, ПРИ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Федорова Н.В.¹, Бушова О.Б.²

¹ФГБОУ ВО Московский национальный научно-исследовательский строительный университет,
Россия, fenavit@mail.ru

²ФГБОУ ВО Московский национальный научно-исследовательский строительный университет,
Россия, bushova96@mail.ru

Ключевые слова: железобетон, энергетический подход, поперечная сила, наклонные сечения, прогрессирующее обрушение, живучесть

DETERMINATION OF DYNAMIC LOADS IN REINFORCED CONCRETE FRAMES REINFORCED WITH INCLINED RODS UNDER SPECIAL INFLUENCES

Fedorova N.V.¹, Bushova O.B.²

¹ Moscow National Research University of Civil Engineering, Russia, fenavit@mail.ru

² Moscow National Research University of Civil Engineering, Russia, bushova96@mail.ru

Key words: reinforced concrete, energy approach, transverse force, inclined sections, progressive collapse, survivability

Разработка способов защиты конструкций зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения при особых воздействиях рассматривалась в ряде отечественных и зарубежных публикаций. Можно привести, например, исследования [1-5], где для железобетонных многоэтажных зданий рассмотрены расчетные модели деформирования таких конструкций в предельных и запредельных состояниях и способы защиты таких зданий от прогрессирующего обрушения. Однако предложенные способы защиты разработаны на основе изучения деформирования и разрушения ригелей по нормальным сечениям и соответственно расчета необходимого продольного армирования при внезапном изменении силовых потоков, вызванных удалением из конструктивной системы одного из конструктивных элементов. В то же время, в недавно проведенных экспериментальных исследованиях [6] недавних исследований показано, что в рамах железобетонных каркасов многоэтажных зданий при определенных схемах нагружения и особых воздействиях возможно хрупкое разрушение ригелей рам по наклонным сечениям. Вопросы, связанные с аналитическим определением параметров деформирования и разрушения таких рам в запредельных состояниях, остаются практически неизученными.

В настоящей работе приведены результаты исследований по определению динамических догрузений железобетонных рам, нагруженных эксплуатационной нагрузкой в виде сосредоточенных сил, приложенных к ригелям рамы в приопорных зонах (P_i) и при последующем догрузении рам особым динамическим воздействием вызванным внезапным удалением одной из стоек рамы первого этажа.

Используя квазистатический метод для определения приращений динамических усилий в физически и конструктивно нелинейной системе [7,8] и диаграммный метод для определения кривизн и деформаций [9] определены энергетические соотношения

для параметров диаграммы при рассматриваемом режиме двухэтапного нагружения конструкции рамы и совместном действии в ригелях моментов и поперечных сил. Рассмотрено два варианта режима нагружения рамы (рис.1): 1) в исходной n-раз статически неопределимой системе, на первом этапе нагружения рамы статической нагрузкой в наиболее напряженном сечении ригеля трещины не образуются т.е. $M > M_{\text{сгс}}$ или $Q > Q_{\text{сгс}}$; 2) в исходной n-раз статически неопределимой системе, на первом этапе нагружения рамы статической нагрузкой в наиболее напряженном сечении ригеля трещины образуются т.е. $M > M_{\text{сгс}}$ или $Q > Q_{\text{сгс}}$. При статическом приложении особого воздействия на втором этапе нагружения и соответственно изменении статической неопределимости рамы на единицу и перераспределении силовых потоков, в наиболее напряженном расчетном сечении ригеля произойдет приращение изгибающего момента M и поперечной силы Q до значений M_{n-1}^c и Q_{n-1}^c . Если приложение особого воздействия происходит в виде мгновенного удаления колонны (в виде удара), то происходит приращение изгибающего момента M и поперечной силы Q до значений M_{n-1}^d и Q_{n-1}^d . Максимальных значений эти моменты от такого воздействия будут достигать на первой полуволне колебаний конструкции рамы.

Для количественной оценки исследуемого динамического эффекта общий вид диаграмм статико-динамического деформирования сечения ригеля рамы « $M - \varepsilon$ » и « $Q - \Delta$ » принят двух линейными (см. рисунок 1). Принята также гипотезу о простом нагружении железобетонного элемента и дополнительное условие о том, что диаграммы « $M - \varepsilon$ » и « $Q - \Delta$ » афинноподобны.

Следуя принципу сохранения полной удельной энергии деформации, величина удельной работы внутренних изгибающего момента и поперечной силы $\Phi(\varepsilon)$ и $\Phi(\Delta)$ определена из выражений:

$$\begin{cases} \Phi(\varepsilon) = \int_0^{\varepsilon} M(\varepsilon) d\varepsilon \\ \Phi(\Delta) = \int_0^{\Delta} Q(\Delta) d\Delta \end{cases} \quad (1)$$

Условие постоянства полной удельной энергии приводит к равенству на графиках « $M - \varepsilon$ » и « $Q - \Delta$ » площади прямоугольников $\varepsilon_n^c, b, e, \varepsilon_{n-1}^d; \Delta_n^c, b, e, \Delta_{n-1}^d$; площадям трапеций $\varepsilon_n^c, a, d, \varepsilon_{n-1}^d; \Delta_n^c, a, d, \Delta_{n-1}^d$

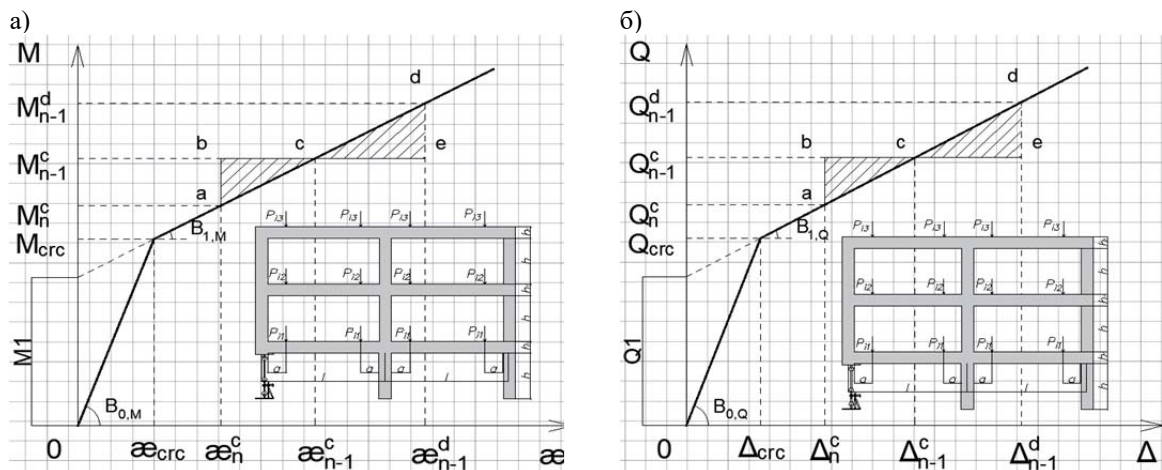


Рисунок 1 – Диаграммы «момент-кривизна» (а), «поперечная сила-перемещение» (б)

Это условие, записанное через усилия кривизны и сдвиги, приводит к соотношениям:

$$\begin{cases} \Phi(\alpha_{n-1}^d) - \Phi(\alpha_n^c) = M_{n-1}^c(\alpha_{n-1}^d - \alpha_n^c) \\ \Phi(\Delta_{n-1}^d) - \Phi(\Delta_n^c) = Q_{n-1}^c(\Delta_{n-1}^d - \Delta_n^c) \end{cases} \quad (2)$$

После соответствующих преобразований определены приращения динамических кривизны и сдвигов

$$\begin{cases} \alpha_{n-1}^d = \frac{M_{n-1}^c \pm \sqrt{(M_{n-1}^c)^2 + B_{1,M}^2(\alpha_n^c)^2 - 2B_{1,M}\alpha_n^c M_{n-1}^c}}{B_{1,M}} \\ \Delta_{n-1}^d = \frac{Q_{n-1}^c \pm \sqrt{(Q_{n-1}^c)^2 + B_{1,Q}^2(\Delta_n^c)^2 - 2B_{1,Q}\Delta_n^c Q_{n-1}^c}}{B_{1,Q}} \end{cases} \quad (3)$$

Результаты вычислений этих параметров сопоставлены с их значениями полученными экспериментально [6] испытаниями двух типов опытных конструкций железобетонных рам: первый – с традиционным вариантом армирования ригелей, второй – с наклонными стержнями, расположенными в двух взаимно ортогональных направлениях.

Список использованных источников

1. Алмазов В.О., Као Зуй Кхой. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. М.: АСВ, 2013. 128 с.
2. Федорова Н. В., Фан Динь Гуок, НгуенТхиЧанг. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 1. – С. 92-100
3. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях. Строительство и реконструкция. 2021;(1):74-84
4. Ву Нгок Туен Исследование живучести железобетонной конструктивно нелинейной рамно-стержневой системы каркаса многоэтажного здания в динамической постановке / ВуНгокТуен // Строительство и реконструкция – 2020. – Т. 90 – № 4 – С.73–84.
5. Федорова Н. В., Халина Т.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках// Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 8. – С. 32-36.
6. Колчунов В.И., Бушова О.Б., Кореньков П.А. Деформирование и разрушение железобетонных рам с ригелями, армированными наклонными стержнями, при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2022. № 1. С. 18–28
7. Федорова Н.В., Московцева В.С., Амелина М.А., Демьянов А.И. Определение динамических усилий в сложнапряженных элементах железобетонных рам при особом воздействии // Известия вузов. Строительство. 2023. №1. С.
8. Savin S. Yu., Fedorova N. V., Kolchunov V. I. Dynamic forces in the eccentrically compressed members of reinforced concrete frames under accidental impacts // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 18(4) 111–123 (2022).
9. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И., Барабаш М.С., Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций – К.: Книжное изд-во НАУ, 2006. – 808 с.

МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН МАЛОГАБАРИТНЫХ СЕЧЕНИЙ

Хазов П.А.¹

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», доцент, к.т.н., доцент кафедры «Теория сооружений и техническая механика», Россия, khazov.nngasu@mail.ru

Ключевые слова: трубобетон, экспериментальные исследования, малогабаритные сечения, осевое сжатие, несущая способность, напряженно-деформированное состояние, деформативность, математическая модель, устойчивость

MODELS OF DEFORMATION AND STABILITY OF PIPE-CONCRETE COLUMNS OF SMALL SECTIONS

Khazov P.A.¹

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory of structures and technical mechanics, Russia, khazov.nngasu@mail.ru

Key words: concrete-filled steel tube, experimental research, small-sized sections, axial compression, bearing capacity, stress-strain state, deformability, math model, stability

Приводятся экспериментальные исследования вопросов прочности и устойчивости трубобетонных образцов малогабаритных сечений. Исследуется и сравниваются напряженно-деформированные состояния стальной трубы и трубы, заполненной бетоном. Приводится экспериментальное определение зависимостей между осевой нагрузкой и деформациями трубобетонных и стальных стержней, а также оценка вклада бетона и стальной трубы на общую несущую способность составного сечения. Проведены испытания коротких и длинных трубобетонных образцов с размерами трубы 60x2, 76x3 и 102x3,5, а также полых стальных труб с соответствующими размерами. По результатам экспериментов построены диаграммы деформирования (рис.1).

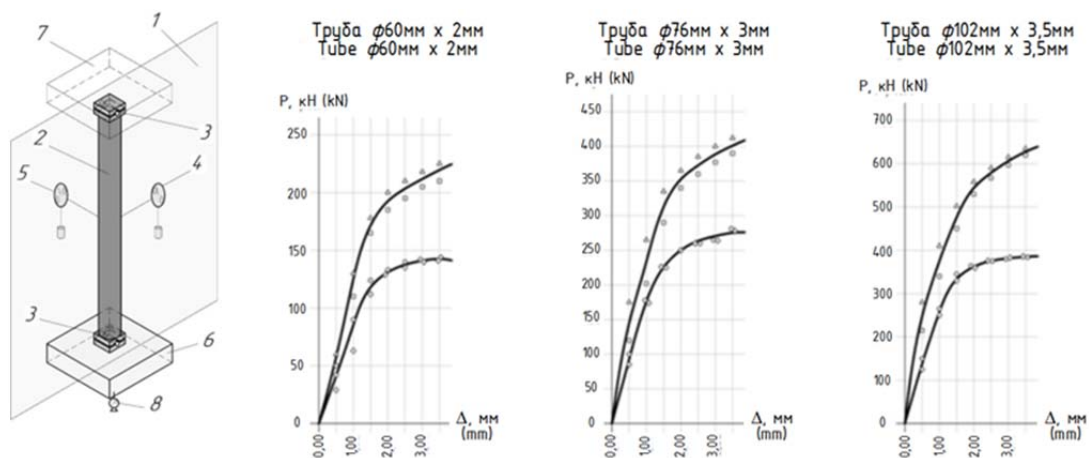


Рисунок 1 – Диаграммы $P(\Delta)$, построенные по результатам испытаний образцов

Предложена методика, позволяющая аналитически описать деформативность трубобетонных элементов при центральном сжатии при помощи математической модели, полученной на основании экспериментальных данных:

$$P_{tb}(\Delta) = P_t(\Delta) \cdot \left(1 + 2,5 \cdot \frac{P_b^{cr}}{P_t^{cr}} \right), \#(1)$$

где $P_{tb}(\Delta)$ и $P_t(\Delta)$ – нагрузки в трубобетонном элементе и стальной трубе, соответствующие перемещению Δ ; P_t^{cr} и P_b^{cr} – разрушающие нагрузки в стальной трубе и бетонном сердечнике при их раздельной работе, определенные при испытаниях осевой сжимающей нагрузкой соответствующих образцов до разрушения (дифференцированная несущая способность). На рис. 2 представлены диаграммы для трубобетонных образцов, построенные по формуле (1) и их сопоставление с результатами экспериментов.

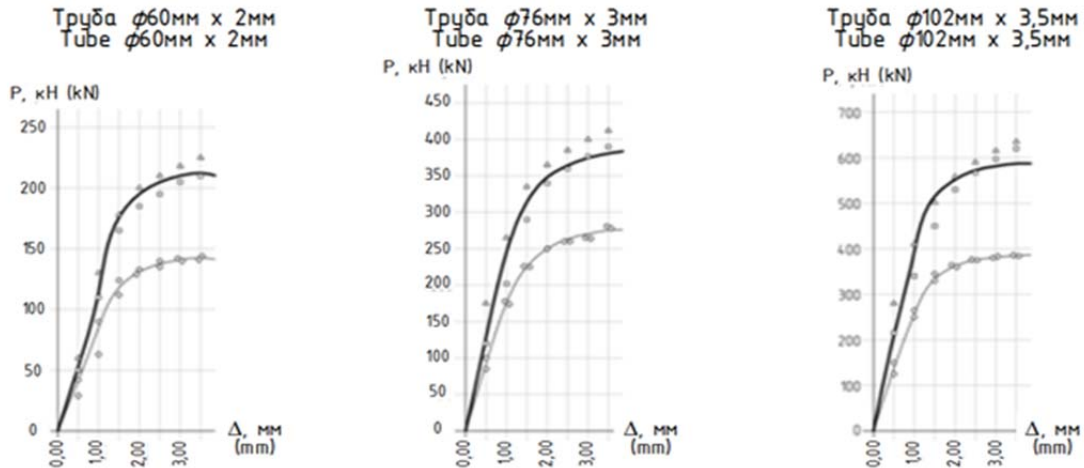


Рисунок 2 – Диаграммы $P(\Delta)$ для трубобетонных образцов, построенные через соответствующие диаграммы для стальной трубы того же диаметра

На основании экспериментальных данных была получена математическая модель, аналитически описывающая продольное деформирование трубобетонного образца. Общий вид модели:

$$P_{tb}(\Delta) = k_m \cdot P_t^{cr} \cdot \left(1 + k_b \cdot \frac{P_b^{cr}}{P_t^{cr}} \right) \cdot \lg(k_\Delta \cdot \Delta), \#(2)$$

где приняты обобщенные коэффициенты:

$k_m = 0,85$ – коэффициент масштабирования модели;

$k_b = 2,5$ – коэффициент вклада бетона в работу конструкции;

$k_\Delta = 500$ – коэффициент масштабирования перемещений.

На рис.3 представлены диаграммы, построенные по (2), и результаты экспериментов.

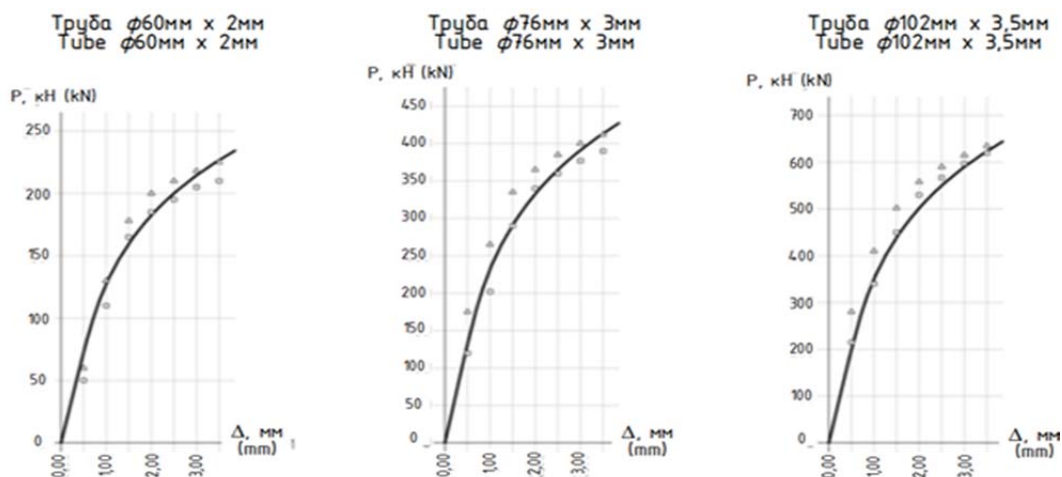


Рисунок 3 – Диаграммы $P(\Delta)$ для трубобетонных образцов, построенные на основании математической модели материала

Список использованных источников

1. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – №4. – С. 75-80.
2. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7, №4 [Электронный ресурс]. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (дата обращения: 15.09.2022).
3. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/02TVN116.pdf> (дата обращения: 15.09.2022).
4. Лапшин, А.А., Хазов П.А, Кожанов Д.А., Лихачева С.Ю. Оценка прочности и устойчивости композитных сталежелезобетонных элементов с совместным применением стержневых и твердотельных расчетных моделей // Приволжский научный журнал /Нижегор. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 9-16.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН

Худяков А.В.¹, Кольцов А.А.², Канаева Е.А.³

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», к.т.н., Россия, chudajkov1998@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, Россия, alkoltsov@yandex.ru

³ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, Россия, kanaewa.katya1998@yandex.ru

Ключевые слова: строительные конструкции, техническая экспертиза, водонапорная башня, сооружения, оценка состояния

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE STEEL WATER TANK

Khudyakov A.V.¹, Koltsov A.A.², Kanaeva E.A.³

¹Tambov State Technical University, Associate Professor of the Department of "Structures of Buildings and Structures", Candidate of Technical Sciences, Russia, chudajkov1998@mail.ru

²Tambov State Technical University, master's student, Russia, alkoltsov@yandex.ru

³Tambov State Technical University, master's student, Russia, kanaewa.katya1998@yandex.ru

Keywords: building structures, technical expertise, water tower, structures, assessment of the condition

На территории Тамбовской области с целью определения надежности и дальнейшего срока эксплуатации было проведено техническое обследование стальных водонапорных башен системы Рожновского типа «Граната» – две с объёмом бака $V=25 \text{ м}^3$ (ВБР-25), одна с - $V=160 \text{ м}^3$ (ВБР-160). В соответствии с [1] проведены визуальный осмотр, диалектический анализ, основанный на сопоставлении полученных данных результатов исследования, предоставленных эксперту материалов и осмотра объекта исследования с действующими техническими регламентами и сводом правил (СП) и другой технической документацией, детальное инструментальное измерение необходимых геометрических параметров сооружений, конструкций, их элементов и узлов, выявление технического состояния несущих и ограждающих конструкций, включая прочностные показатели, определение их соответствия современным нормативным требованиям пригодности их к дальнейшей эксплуатации, инструментальное определение параметров дефектов и повреждений.

В ходе проведения предварительного визуального и детального обследования ВБР установлено, что изготовление сооружения осуществлялось по системе Рожновского [2], где приведены основные требования к изготовлению и монтажу. ВБР состоит из цилиндрической опоры и бака, изготовленные из стальных листов толщиной 6мм, нормативная снеговая нагрузка для III снегового района – 1,5 кПа, ветровая нагрузка для II ветрового района – 0,3 кПа (тип местности А), степень воздействия воздушной среды – неагрессивная. Конструкция поставляется из трех отправочных элементов – бака в собранном виде и опоры 12м диаметром 1220мм, состоящей из двух частей по 6м для ВБР с объёмом бака $V=25 \text{ м}^3$ из 2-х частей по 12,5м для башни с - $V=160 \text{ м}^3$.

Проведенное визуально-измерительное обследование выявило следующие характерные для башен отклонения в изготовлении и монтаже требуемым параметрам [2] на примере одной из ВБР-25: сварное соединение на элементах шестиметровой

опоры и бака, которое должно осуществляться через фланцевые соединения; сварной шов обечаек должен быть выполнен внахлест, фактически вертикальный и горизонтальный швы выполнены встык. Измеренная длина развертки (окружности) обечаек; нижний узел соединения конуса бака с опорой выполнен без напуска 10мм с отсутствием отбортовки и без монтажа фланцевого соединения; конус бака должен собираться из пяти секторов, а состоит из 8 элементов, что приводит к увеличению суммарной длины сварных швов; крыша бака выполнена из четырех деталей и конуса под вентиляционную трубу, тип соединения – стыковое. По проекту она изготавливается из двух деталей (секторов крыши), соединенных между собой внахлест 20мм, и обваренных с обеих сторон. Инструментальное обследование показало, уклон опоры водонапорной башни составил $89,74^0$ (или 0,26 от вертикальной оси), что составляет 54мм (0,0045) в абсолютном значении от вертикали на величину высоты опоры 12м. Согласно [3] крен башни должен быть $\leq 0,004$.

Согласно «Классификатору основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов», выявленные несоответствия требованиям рабочих чертежей Типового проекта №901-5-29 в изготовлении и монтаже ВБР являются дефектами. Выявленные отклонения являются критическими и значительными дефектами, появившимися в процессе изготовления и монтажа (поставки) башен, а значит, относятся к производственным дефектам.

Анализ напряженно-деформируемого состояния ВБР-25 был выполнен в расчетном комплексе ЛИРА.

Геометрия расчетной модели, размеры поперечных сечений и прочностные характеристики материалов приняты по проекту с учетом материалов технического отчета. В качестве нагрузки рассматривался собственный вес башни, гидравлическое давление воды, снеговая, ветровая, временная от обслуживающего персонала. Расчетная схема а) и меридиальные напряжения б) приведены на рисунке.

По результатам поверочных расчетов было установлено, что прочность и устойчивость башни обеспечены, но производственные дефекты, особенно в летнее время в период наибольшего потребления воды, являются причиной постоянного протекания.

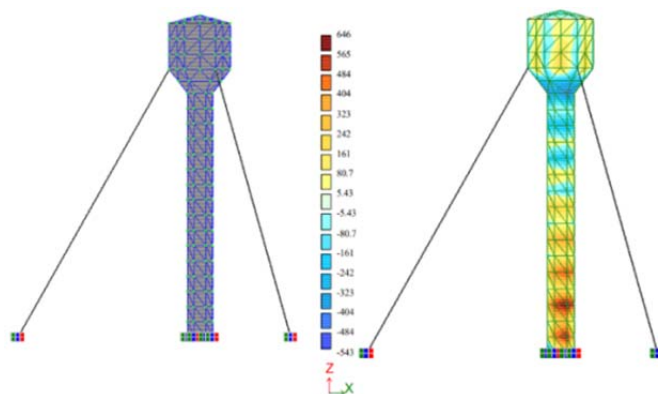


Рисунок 1- а) расчетная схема; б) меридиальные напряжения для башни ВБР-25

Список использованных источников

1. СП 13-102-2003 "Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений". Введ.: 2003.08.21 – М.: ФГУП «КТБ ЖБ», 2003.
2. Типовой проект 901-5-29 "Унифицированные водонапорные стальные башни заводского изготовления (системы Рожновского) емкостью 15, 25, 160 м³, высотой опоры 12, 15, 18 м. А.І и ІІ.
3. СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий» Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85 (С изменением №1). Введ.: 2017.04.21 – М.: Росстандарт ФГУП «Стандартинформ», 2017.

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ЗАЛЬНОГО ТИПА НЕКОТОРЫМИ ТОНКОСТЕННЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Худяков А.В.¹, Овсянникова В.А.², Долотов С.Ю.³

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры
«Конструкции зданий и сооружений» *chudajkov@mail.ru*

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент кафедры
«Конструкции зданий и сооружений», Россия, *leraoo@gmail.com*

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент кафедры
«Конструкции зданий и сооружений», Россия, *89107541111@mail.ru*

Ключевые слова: конструктивное решение, конструкция, покрытие, помещение зального типа, оболочка положительной гауссовой кривизны

SEARCH FOR OPTIMAL COVERING OF HALL-TYPE PREMISES WITH SOME THIN-WALL REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Khudyakov A.V.¹, Ovsyannikova V.A.², Dolotov S.Y.³

¹ Tambov State Technical University, Ph.D., associate professor of the Department "Construction of buildings and Structures" *chudajkov@mail.ru*

² Tambov State Technical University, student of the Department " Construction of buildings and Structures ",
leraoo@gmail.com

³ Tambov State Technical University, student of the Department " Construction of buildings and Structures ",
89107541111@mail.ru

Key words: application of positive Gaussian curvature, coating, construction, constructive solution, hall-type room

Развитие технического прогресса, использование современных материалов и технологий позволяет перекрывать значительные пролеты без внутренних, промежуточных опор, что позволяет сократить расход материалов, существенно увеличить коэффициент использования производственной площади и, тем самым, наиболее эффективно использовать капитальные вложения [1].

Вследствие благоприятных условий статической работы такие конструкции требуют наименьшего расхода материала, в них отношение собственной массы к полезной нагрузке минимально. Пространственные тонкостенные конструкции, благодаря приданию им рациональных геометрических форм, позволяют использовать положительные свойства железобетона с наибольшей эффективностью. Существующие методы расчета, углубленные знания свойств различных материалов, технология возведения таких конструкций позволяют существенно разнообразить применение различных конструктивных решений покрытия помещений зального типа [2].

Авторами выполнен сравнительный анализ трех вариантов покрытия здания павильонного типа с укрупненной сеткой колонн в плане 36 х 36 м.

1- оболочка положительной гауссовой кривизны квадратная в плане (ОПГ) с размерами 36х36 м. Оболочка состоит из плоских ребристых панелей и боковых диафрагм в виде арок.

2- покрытие из 6 длинных цилиндрических оболочек пролетом 36 м. В варианте предусмотрены дополнительные колонны, выступающие в качестве крайних опор для оболочек.

3- покрытие в виде волнистого свода-оболочки пролетом 36 м. Оболочка состоит из сборных объемных элементов шириной 12 м и боковых диафрагм в виде арок с шагом 12 м. В варианте предусмотрены дополнительные колонны, выступающие в качестве крайних опор для арок.

Статический расчет производился посредством программного комплекса autodesk robot structural analysis 2017. По результатам расчета получены значения внутренних силовых факторов (M, Q, N), деформаций, армирования. По ним можно отметить, что значения изгибающих моментов и поперечных сил по сравнению с мембранными (продольными) сжимающими усилиями незначительны, что подтверждает теорию расчета оболочек по безмоментной теории. Это позволяет наиболее эффективно использовать свойство бетона хорошо работать на сжатие, что позволяет снизить расход арматуры. Максимальные прогибы в пределах допустимых и составляют для первого варианта 4,5см, второго-1,8см, третьего – 3,4 см. Наличие дополнительных бортовых элементов для двух последних вариантов покрытия повышает общую изгибную жесткость, снижающую вертикальные перемещения.

Практически арматура по всей площади оболочек устанавливается по конструктивным соображениям. Больше её количество требуется при армировании контурных диафрагм, которых для оболочки положительной гауссовой кривизны меньше, что делает её экономичней. Полученные показатели по расходу бетона и арматуры согласовываются с [3]. Однако преимущества ОПГ по расходу бетона и стали не являются решающими в определении эффективности конструктивного решения. Стоимость и трудоемкость монтажа таких оболочек, как правило, выше других покрытий, так как всегда требуют дополнительных операций: установка временных опор при сборке и монтаже кондукторов или поддерживающих подмостей. Недостатком конструктивного решения первого варианта является значительный внутренний объем здания, зачастую не обоснованный функционально-технологическими требованиями. Однако с архитектурной точки зрения такие сооружения более выразительны, эстетичны, улучшают и разнообразят внешний облик любого населенного пункта.

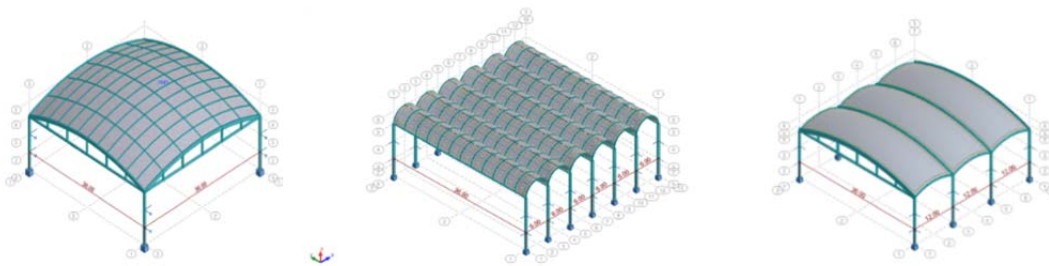


Рисунок 1 – Варианты покрытия: 1-оболочка положительной гауссовой кривизны; 2- длинная цилиндрическая оболочка; 3-волнистый свод-оболочка

Список использованных источников

1. *Виноградов Г.Г.* Расчёт строительных пространственных конструкций. Л.: Стройиздат, Ленингр. Отд-ние, 1990. – 264 с.
2. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. СП 52-117-2008. Часть 1. Методы расчета и конструирования, ФГУП НИЦ «Строительство», 2008.
3. *Сахновский К.В., Горенштейн Б.В., Линецкий В.Д.* Сборные тонкостенные пространственные и большепролетные конструкции: Учеб. Пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1969. – 429 с.

СЕКЦИЯ 6. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АРХИТЕКТУРЕ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 692:519.63

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В УЗЛАХ СОПРЯЖЕНИЯ ДИСКА ПЕРЕКРЫТИЯ СО СТЕНОЙ

Ажмяков В.В.¹, Дёмин А.М.², Кузнецов А.В.³

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», *dr.rer.nat.habil.*, заведующий научно-исследовательской лабораторией прикладной математики и суперкомпьютерных вычислений, Россия, *vvazhmyakov@mail.sevsu.ru*

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», к.т.н., доцент кафедры высшей математики, Россия, *ad2271@ya.ru*

³ ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», старший преподаватель кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений, Россия, *akuznetsov@pgups.ru*

Ключевые слова: компьютерное моделирование, оптимизация, температурные поля, энергоэффективность

COMPUTER SIMULATION OF THE TEMPERATURE FIELDS IN THE INTERFACE NODES BETWEEN THE FLOOR SLAB AND THE WALL

Azhmyakov V.V.¹, Demin A.M.², Kuznetsov A.V.³

¹ *Sevastopol State University, Dr.Rer.Nat.Habil., Head of the Research Laboratory of Applied Mathematics and Supercomputing, Russia, vvazhmyakov@mail.sevsu.ru*

² *Sevastopol State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Russia, ad2271@ya.ru*

³ *Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Senior Lecturer Department of the Structural Constructions, Buildings, Structures, Russia, akuznetsov@pgups.ru*

Key words: computer simulation, optimization, temperature fields, energy efficiency

Одной из важнейших задач строительной отрасли в последние годы стало повышение энергоэффективности гражданских зданий и сооружений [1, 2]. Эта задача решается как для уже имеющихся объектов посредством их модернизации, так и для вновь возводимых объектов за счет использования инновационных конструктивных решений на этапе проектирования. В обоих случаях подобрать оптимальные с точки зрения энергосбережения параметры конструкций позволяет компьютерное моделирование.

Узел сопряжения диска перекрытия со стеной – одно из уязвимых мест в гражданских многоэтажных зданиях, через него происходят существенные потери тепла [2]. Для сравнения энергоэффективности существующих узлов сопряжения с конструкциями, для которых была предложена модернизация, а также с инновационными решениями, были построены трехмерные математические модели распределения температурных полей в исследуемых узлах.

При изучении энергоэффективности ограждающих конструкций гражданских зданий интерес представляет установившееся и неизменное во времени температурное поле, которое описывается трехмерным стационарным уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T(M)}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

где x, y, z – пространственные координаты; $M=M(x,y,z)$ – точка пространства или среды; $T(M)$ – температура среды; λ – коэффициент теплопроводности среды.

Для описания температурного поля в узле сопряжения диска перекрытия со стеной на основе уравнения теплопроводности формулируется краевая задача, которая помимо уравнения включает в себя внешние граничные условия и внутренние (условия сопряжения)[3]. Конструкция базового варианта узла сопряжения диска перекрытия со стеной – одного из простейших, используемых в строительной практике, – приведена на рис. 1-а.

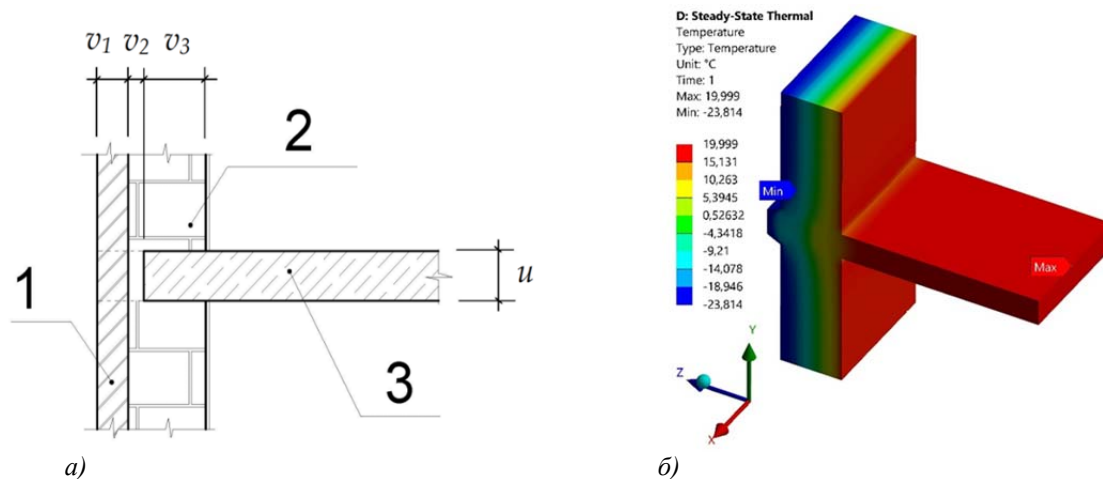


Рисунок 1 – а) Конструкция базового узла сопряжения диска перекрытия со стеной (где u – толщина диска перекрытия; v_1, v_2, v_3 – толщина слоев стены; цифрами обозначены: 1 – лицевой слой кирпичной кладки; 2 – кладка из ячеистого бетона; 3 – железобетонный диск перекрытия); б) Результат моделирования температурного поля в узле сопряжения диска перекрытия со стеной, имеющем теплозащитный каркас трапециевидальной формы

При построении математической модели температурного поля в рассматриваемой конструкции (рис. 1-а) условия сопряжения записываются как граничные условия IV-города. Внешние граничные условия включают условия III-го рода, описывающие теплообмен узла с окружающей средой, и условия II-го рода, описывающие отсутствие теплообмена через боковые поверхности.

На основе модели базового узла сопряжения за счет изменения граничных условий были построены модели более сложных узлов сопряжения, в частности, имеющих более сложную геометрию, учитывающих перфорацию плит перекрытия и иные конструктивные особенности [4-6]. Компьютерная реализация этих моделей дала возможность обосновать энергоэффективность предложенных новых конструктивных решений. На рис. 1-б представлен результат моделирования в программе ANSYS температурного поля в предложенном конструктивном решении узла сопряжения диска перекрытия со стеной, имеющего теплозащитный каркас трапециевидальной формы [6].

Компьютерное моделирование температурного поля в узле сопряжения диска перекрытия со стеной с использованием предложенных моделей даёт возможность решать оптимизационные задачи, связанные определением параметров узла сопряже-

ния, наиболее выгодных с точки зрения энергоэффективности. Такие задачи при большом количестве оптимизируемых параметров требуют проведение высокопроизводительных вычислений с использованием суперкомпьютера.

Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта СевГУ 42-01-09/263/2002-1.

Список использованных источников

1. Дёмин А.М., Кузнецов А.В. О моделировании теплообмена в узле сопряжения диска перекрытия со стеной // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Санкт-Петербург, 2016. – С. 421-425.

2. Kuznetsov A.V., Demin A.M. Energy efficient design solution for the interface node between the floor slab and the wall // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021. Switzerland, 2022. P. 799-807.

3. Дёмин А.М. О подходе к построению математической модели распределения температурных полей в узле сопряжения диска перекрытия со стеной // III Бетанкуровский международный инженерный форум: сборник трудов. 2021. С. 116-118.

4. Кузнецов А.В. Устройство для повышения теплозащитных качеств наружной стены здания // Патент на полезную модель 199000 U1, 06.08.2020. Заявка № 2020111631 от 19.03.2020.

5. Кузнецов А.В., Калушин М.В., Дёмин А.М. Устройство для утепления наружной стены здания // Патент на полезную модель 199001 U1, 06.08.2020. Заявка № 2020111623 от 19.03.2020.

6. Кузнецов А.В., Белаиш Т.А. Устройство для утепления наружной стены здания // Патент на полезную модель RU 113754 U1, 27.02.2012. Заявка № 2011142662/03 от 21.10.2011.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ИМПУЛЬСНОГО ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Антонов А.И.¹, Жоголева О.А.², Леденев В.И.³, Матвеева И.В.⁴

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, aiant58@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, zhogoleva.olga@rambler.ru

³ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, ledvi46@yandex.ru

⁴ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, times02@yandex.ru

Ключевые слова: импульсный шум, расчеты импульсного шума, компьютерное моделирование шума, производственные здания

COMPUTER SIMULATION OF THE FORMATION AND DISTRIBUTION OF PULSE NOISE IN THE PREMISES OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Antonov A.I.¹, Zhogoleva O.A.², Ledenev V.I.³, Matveeva I.V.⁴

¹ Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor Departments of Architecture and Building Construction, Russia, aiant58@yandex.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Departments of Urban Construction and Highways, Russia, zhogoleva.olga@rambler.ru

³ Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor Departments of Urban Construction and Highways, Russia, ledvi46@yandex.ru

⁴ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Departments of Urban Construction and Highways, Russia, times02@yandex.ru

Key words: pulse noise, pulse noise calculations, computer simulation of noise, industrial buildings.

В настоящее время на производственных предприятиях широкое применение получают оборудование и инструменты, излучающие при работе импульсный шум. Импульсный шум оказывает наиболее неблагоприятное воздействие на организм человека и в этой связи борьба с ним имеет важное санитарно-гигиеническое значение. При разработке мероприятий по снижению импульсного шума и оценке их акустической эффективности требуется выполнение расчетов энергетических характеристик шума до и после применения шумозащитных мероприятий.

В настоящее время нами разработаны методы расчета импульсного шума, учитывающие его пространственно-временной характер формирования и распространения [1]. Для эффективного использования методов при многовариантном проектировании средств защиты от импульсного шума разработан программный комплекс, состоящий из ряда компьютерных модулей, реализующих разработанные нами методы расчета прямого и отраженного звука внутри помещения при действии в них импульсных источников шума. Комплекс предназначен для расчета энергетических характеристик импульсных звуковых полей помещений и оценки эффективности различных методов снижения шума.

В качестве базового языка программирования при разработке программного комплекса выбран VisualBasic 6. Данный язык позволяет разрабатывать программные модули, решающие поставленные проектировщиками задачи, в том

числе с использованием возможностей объектно-ориентированного программирования. Объектное программирование дает возможность скомпоновать программный комплекс, реализующий стратегию проектирования различных средств защиты от импульсного шума.

При разработке комплекса реализован принцип модульного программирования. Он обеспечил возможность независимого программирования и отладки программных модулей, чем значительно снизил вероятность появления ошибок. Это особенно важно при разработке расчетных модулей, которые предназначены для расчета энергетических характеристик шума при различных планировочных и акустических параметрах помещений и разном количестве и разных параметрах источников шума. Разработанные расчетные модули при определенном оформлении могут быть использованы и в качестве отдельных программных продуктов, например [2-5].

Разработанный программный комплекс включает в себя 8 крупных частей. Их состав в общем виде приведен на рис.1. Все они разделены на две группы, а именно, на программные модули, связанные с расчетом шума и проектированием средств защиты от него, и модули, предназначенные для выполнения исследовательских задач. Компоновка необходимых модулей для решения конкретных задач выполняется через блок управления комплексом (см. рис.1).

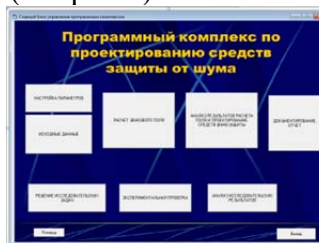


Рисунок 1 – Вид блока управления программным комплексом

В целом использование разработанного комплекса показало его высокую надежность и эффективность при разработке мер снижения импульсного шума за счет выбора наиболее экономичных средств шумоглушения на основе их многовариантного проектирования.

Список использованных источников

1. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Соломатин Е.О. Методы оценки пространственно-временных изменений импульсного шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях // Приволжский научный журнал. 2021. № 4(60). С. 9-16.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661324 Российской Федерация. Расчет максимального уровня на рабочем месте производственного помещения при действии двух источников импульсного шума: № 2022660436: заявл. 07.06.2022: опубл. 20.06.2022 / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663771 Российской Федерация. Расчет энергетических характеристик шума в помещении при действии импульсного источника: № 2022662313: заявл. 29.06.2022: опубл. 19.07.2022 / А. И. Антонов, В. И. Леденев, О. А. Жоголева; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021661360 Российской Федерация. Расчет уровней, потоков и градиентов плотности отраженной звуковой энергии в помещениях с зеркально-диффузным отражением звука от ограждений: № 2021660593: заявл. 05.07.2021: опубл. 09.07.2021 / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, Т. С. Яровая; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661741 Российской Федерация. Расчет нестационарных шумовых полей в помещениях сложных геометрических форм: № 2015618685: заявл. 22.09.2015: опубл. 06.11.2015 / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, В. И. Леденев; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.

УМНЫЙ ЛАНДШАФТ ГОРОДСКОГО ПАРКА

Воличенко О.В.¹, Цурик Т.О.²

¹ *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», д. арх., профессор кафедры «Архитектура, градостроительство и графика», Россия, wolitschenko@mail.ru*

² *ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», канд. культурологии, доцент кафедры «Архитектура, градостроительство и графика», Россия, tsurikto@yandex.ru*

Ключевые слова: умный парк, умный ландшафт, зонирование, концепция

SMART LANDSCAPE OF CITY PARK

Volichenko O.V.¹, Tsurik T.O.²

¹ *Southwestern State University, Doctor of Architecture, Professor of the Department of Architecture, Urban Planning and Graphics, Russia, wolitschenko@mail.ru*

² *Southwestern State University, Candidate of Cultural Studies, Associate Professor of the Department of Architecture, Urban Planning and Graphics, Russia, tsurikto@yandex.ru*

Keywords: smart park, smart landscape, zoning, concept

В настоящее время городские парки во многих городах России, впрочем, так же, как и во всем мире, столкнулись с целым рядом серьезных проблем. Среди которых можно назвать: 1) недоиспользование парков населением; 2) сокращение ресурсов; 3) уменьшение финансирования на персонал, программы, техническое обслуживание и т.п. Решение этих задач и расширения спектра их охвата возможно при помощи внедрения технологий и инновационного управления.

Сейчас можно уже с уверенностью говорить, что появление цифровых технологий и инноваций полностью изменили модель городского развития. Умные города, внедряя и непрерывно совершенствуя технологии, обеспечивающие его максимально эффективное функционирование, ориентируются на заинтересованность и соучастие в данном процессе всего сообщества с целью создания биосферосовместимой комфортной среды. Искусственный интеллект цифровых технологий постепенно проникают во все структурные организации современного городского организма. Постепенно изменяются потребности горожан, выдвигающих все более высокие требования обслуживания, управления и проектирования городских парков и рекреационных зон. Проект городского парка должен решать не только задачи ландшафтного дизайна, но и предлагать решение социальных, экономических, экологических и других проблем.

«Умный парк» – это концепция, основанная на использовании в ландшафтном пространстве технологий (экологических, цифровых и виртуальных) для обеспечения преимуществ высокого уровня качества предлагаемой среды парка. Нематериальный аспект удовлетворенности от предложенных услуг повышается при условии: равного доступа, приспособляемости к местному сообществу, улучшению здоровья, безопасности, устойчивости, водо- и энергосбережению, а также эффективным операциям и техническому обслуживанию.

Концепция «умного ландшафта городского парка» стремится, прежде всего, повысить уровень проектирования, организации и обслуживания парка. Подчеркивается, что для этой цели необходима интеграция многообразных сфер знаний - архитектурно-ландшафтных, инженерно-технологических и социально-экологических и др.

Цифровые технологии необходимы для внедрения инноваций в умный парк и усиления взаимодействия всех его структур. Социальные исследования помогают понять ожидания и потребности горожан. Анализ опыта создания и разработки подобных рекреационных пространств содействует оптимизации проектного решения. Идентичность и ценность региональных традиций, подчеркивая «дух места», формирует природно-культурный ландшафт умного парка.

Умный ландшафт подразумевает, во-первых, высокую степень интеграции современных компьютерно-информационных технологий и определенного набора элементов ландшафта, во-вторых, интеграцию высоких технологий в интеллектуальную среду, отвечающую потребностям интерактивного опыта, для создания наиболее удобного и комфортного ландшафтного пространства. В новую цифровую эпоху окружающее пространство можно представить в виде «универсальной модели», в рамках которой будет продолжаться развиваться или даже пересматриваться традиционная функциональная парадигма. «Умная модель» выражает и создает новое окружающее пространство согласно степени ее развития.

Развитие современных городов постепенно начинает меняться от количественных показателей к качественным. Качественное преобразование и обновление современных городов предлагает модель умного города. Умный парк является одним из компонентов развития умного города. Следовательно, по мере необходимости в умном городе должны будут появиться умные парки. Умный парк связан прежде всего с интернетом – глобальной информационно-коммуникационной сетью, объединившей компьютерные устройства на планетарном уровне, предоставляя возможность для хранения, обработки и передачи больших массивов данных, облачных вычислений, использования искусственного интеллекта, виртуальной реальности, преимущества геоинформационных систем и т.п. Цифровые технологии нового поколения позволяют оптимизировать процессы обслуживания и управления парком, а также создавать городскую среду, в которой парки могут взаимодействовать друг с другом (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема модели «умного парка»

Список использованных источников

1. Есаулов, Г. В. "Умный город" как модель урбанизации XXI века // Градостроительство. 2013. № 4. С. 27-31.
2. Weiwei Z., Huining Z. Research on Urban Park Landscape Renewal Based on Smart Landscape Under Computer Digital Technology. Proceedings of the 2022 2nd International Conference on Computer Technology and Media Convergence Design (CTMCD 2022). pp. 498-509.
3. Гуцин А.Н., Дивакова М.Н. Умный ландшафт для "Умного города" // Урбанистика. 2022. № 1. С. 38-53.

СРАВНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОСТЫВАНИЯ БЕТОНА КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО РАЗОГРЕТОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ

*Гныря А.И.¹, Коробков С.В.², Воднев Б.С.³, Батюк М.И.⁴, Сухоруков Д.Ю.⁵,
Коркин Н.О.⁶*

¹ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», д.т.н., профессор кафедры Технология строительного производства», Россия, tsp_tgasu@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., доцент кафедры «Технология строительного производства, Россия, korobkov_1973@mail.ru

³ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», инженер-исследователь, Россия, bvodnev97@gmail.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», младший научный сотрудник, Россия, mb110@yandex.ru

⁵ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», магистрант кафедры «Технология строительного производства, Россия, dima010792abiturient@mail.ru

⁶ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», магистрант кафедры «Технология строительного производства, Россия, nikita.korkin2000@mail.ru

Ключевые слова: моделирование, бетонная смесь, предварительный разогрев

COMPARISON OF PHYSICAL AND COMPUTER SIMULATION IN THE STUDY OF CONCRETE COOLING OF A STRUCTURE FROM PREHEATED CONCRETE MIXTURE

Gnyrya A.I.¹, Korobkov S.V.², Vodnev B.S.³, Batiuk M.I.⁴, Sukhorukov D.Yu.⁵, Korkin N.O.⁶

¹ Tomsk State University of Architecture and Building, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Construction Production, Russia, tsp_tgasu@mail.ru

² Tomsk State University of Architecture and Building, PhD, Associate Professor of the Department of Technology of Construction Production, Russia, korobkov_1973@mail.ru

³ Tomsk State University of Architecture and Building, Research Engineer, Russia, bvodnev97@gmail.ru

⁴ Tomsk State University of Architecture and Building, Junior Scientist, Russia, mb110@yandex.ru

⁵ Tomsk State University of Architecture and Building, undergraduate of the Department of Technology of Construction Production, Russia, dima010792abiturient@mail.ru

⁶ Tomsk State University of Architecture and Building, undergraduate of the Department of Technology of Construction Production, Russia, nikita.korkin2000@mail.ru

Key words: modeling, concrete mixture, electric preheating

Одним из эффективных методов обеспечения заданного качества бетонных работ при отрицательных температурах является предварительный электроразогрев бетонной смеси [1]. При проектировании технологии зимнего бетонирования в качестве альтернативы ручному расчёту становится компьютерное моделирование. Оно позволяет оценить параметры, требуемые для проектирования бетонных работ с применением электроразогрева бетонной смеси. Однако при компьютерном моделировании возможны погрешности, влияющие на точность конечных результатов. Поэтому, для минимизации подобных искажений желательно дополнительно использовать физическое моделирование.

Физическое моделирование. После приготовления бетонной смеси ее помещали в опалубку, в которой начинался форсированный разогрев до температуры +60 °С. По-

сле опалубка утеплялась по периметру, а затем конструкция выносилась на холод, где отрицательная температура составляла в среднем $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.1). Остывание бетона осуществлялось в течение 39 часов.



Рисунок 1 – Физическая модель в ходе эксперимента

По окончании эксперимента образцы с размерами $100\times 100\times 100$ мм разопалубливались и проходили испытания на прессе согласно ГОСТ 10180-2012. Среднее значение прочности трех испытуемых образцов составило $35,5\%$ от R_{28} .

Компьютерное моделирование. При компьютерном моделировании программа Elcut Pro 6.3 рассчитывает температурные поля в плоскости сечения бетонных образцов. В надстройке WinConcret реализованы дополнительные функции, которые не учитывает Elcut Pro (определение тепловыделения и прочности бетона). В результате расчёта на экран выводятся температурные поля в разные временные интервалы (рис. 2).

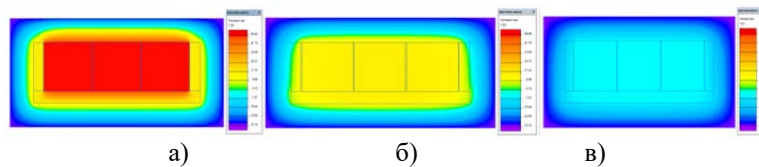


Рисунок 2 – Температурные поля в продольном разрезе:
а) 0 часов; б) 20 часов; в) 39 часов

Для более точного анализа результатов в программном комплексе ELCUT с помощью надстройки WinConcret получены графики распределения температуры с учетом тепловыделения и прочностные характеристики бетонных образцов. Среднее значение прочности трех образцов составило $28,4\%$ от R_{28} .

Вывод. Сравнительный анализ компьютерного моделирования с физическим показал схожесть результатов по динамике остывания образцов, но с погрешностью по прочности в 20% . Предположительно это обусловлено тем, что программа ELCUT-Pro не учитывает все характеристики бетона, к примеру, его структуру, состав. Также создание модели в двумерном пространстве, приводит к дополнительным искажениям. Исходя из вышеперечисленных недочетов, программный комплекс ELCUTPro можно использовать при моделировании температурных полей в несложных математических задачах.

Работа выполнена при поддержке госзадания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2022-0003.

Список использованных источников

1. Батюк М.И., Воднев Б.С., Гныря А.И., Коробков С.В., Ушаков В.Я. О способе управления тепловым полем в объёме разогреваемой бетонной смеси // Вестник ТГАСУ. 2022. Т. 24. № 6. С. 139–149.

ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ СВЯЗИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИБКОГО СТЕРЖНЯ С АБСОЛЮТНО ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ, ДВИЖУЩИМСЯ ПО ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Гутров М.А.¹

¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», к.т.н., доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Россия, gma74@mail.ru

Ключевые слова: контактное взаимодействие, численные методы расчета, гибкий стержень.

EVALUATION OF THE STATIONARITY OF THE CONNECTION OF THE CONTACT INTERACTION OF A FLEXIBLE ROD WITH AN ABSOLUTELY RIGID BODY MOVING ALONG A DETERMINISTIC TRAJECTORY

Gutrov M.A.¹

¹South Ural State University (National Research University), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, Russia, gma74@mail.ru

Key words: contact interaction, numerical calculation methods, flexible rod

Взаимодействие объектов сельскохозяйственного технологического уборочного процесса, может быть представлено как контактное взаимодействие абсолютно твердого тела с одним или несколькими геометрически нелинейно деформируемыми стержнями [1, 2]. При известном движении абсолютно твердого тела, заданных физико-механических свойствах материала и геометрических параметрах гибкого стержня, задача контактного динамического взаимодействия тел сводится к расчету системы 10 уравнений, из которых шесть уравнений являются дифференциальными (четыре неоднородных уравнения движения малого элемента гибкого стержня, два уравнения первого порядка перехода между системами координат), а оставшиеся – алгебраические (два уравнения движения твердого тела в параметрическом виде и два условия существования связи между телами) [3]. Такая математическая модель предполагает, что деформированная упругая линия гибкого стержня является плоской кривой, а контактное взаимодействие между телами имеет стационарный характер и осуществляется в одной точке, с учетом наличия в этой точке сил трения между взаимодействующими телами. Аналитического решения полученная система уравнений не имеет, в этой связи, разработан алгоритм численного расчета, основанный на совокупности математических методов численного интегрирования, дифференцирования и методов оптимизации. В результате расчета модели, получены сведения о величине и точке приложения контактной силы, внутренних силовых факторах, действующих в материале стержня, рассчитано его деформированное состояние, вычислены скорости и ускорения стержня при взаимодействии стержня с абсолютно твердым телом. Результаты расчета получены для первоначально прямолинейного стержня постоянной изгибной жесткости, жестко заделанного у основания, при его контактом деформировании абсолютно твердым телом, совершающим поступательное движение в плоскости.

Критерием стационарности механической связи взаимодействующих тел принято условие постоянства знака нормальной составляющей контактной силы. Расчетная

функция значений нормальной силы по времени контакта является знакопеременной, что указывает на нестационарный характер взаимодействия гибкого стержня с абсолютно твердым телом.

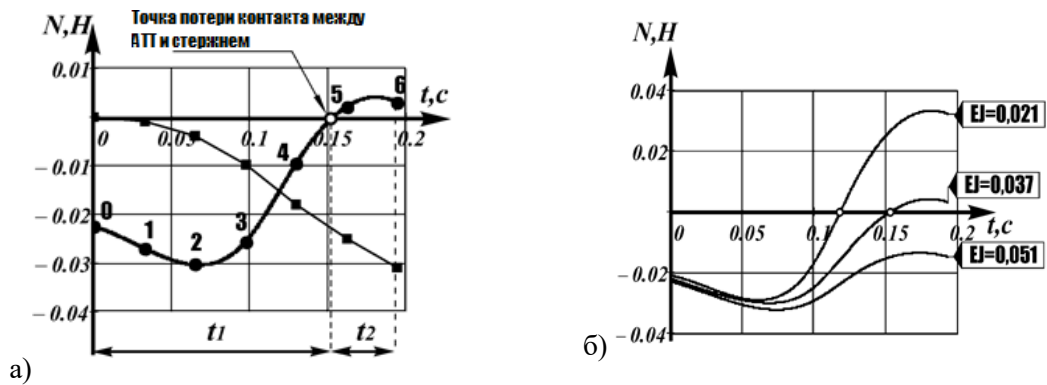


Рисунок 1 – Изменение величины нормальной составляющей контактной силы N в зависимости от времени t контакта с абсолютно твердым телом (а), при изменении изгибной жесткости EJ поперечного сечения стержня (б) в диапазоне (0,21..0,051) Nm^2 .

Расчеты показали, что стационарность связи в точке контакта существенно зависит от изгибной жесткости стержня:

- 1) существуют такие значения изгибной жесткости поперечного сечения стержня для которых его механическая связь с абсолютно твердым телом имеет стационарный вид;
- 2) уменьшение жесткости поперечного сечения стержня, приводит к уменьшению продолжительности времени непосредственного контакта двух тел, при этом, значения угловых и линейных ускорений стержня увеличиваются до экстремальных значений.

Список использованных источников

1. Жилкин В.А. Расчет на прочность и жесткость стеблей злаковых культур. Сообщение 1. //Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета.Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. 1994, т.8.С. 5-53.
2. Гутров, М.А. Расчет силы контактного взаимодействия граблины мотовила с одним стеблем злаковой колосовой культуры // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета.1999. т.28. С. 51-57.
3. Гутров М.А. Применение механики гибких стержней при математическом моделировании технологического процесса зерноуборочных жаток // СОЛОМИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Материал первой Международной научной конференции. Южно-Уральский государственный университет. 2022.с. 51-54.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Данилова Л.О.¹, Гуртяков А.С.², Хорошун Д.А.³

¹ ОАО «Гипрорезинотехника», технический директор, Россия, mail4lada@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», к.т.н., с.н.с., доцент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, agurtyakov@gmail.com

³ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», студент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, cs1.6l0vemike@gmail.com

Ключевые слова: фотограмметрия, беспилотный летательный аппарат, цифровая модель рельефа, классификация плотного облака точек

AUTOMATION OF AERIAL PHOTOGRAPHY DATA PROCESSING WHEN BUILDING A DIGITAL ELEVATION MODEL

Danilova L.O.¹, Gurtyakov A.S.², Khoroshun D.A.³

¹ Giprerezinotekhnika OJSC, Technical Director, Russia, mail4lada@gmail.com

² Volgograd State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, Russia, agurtyakov@gmail.com

³ Volgograd State Technical University, Student of the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, Russia, cs1.6l0vemike@gmail.com

Key words: photogrammetry, unmanned aerial vehicle, digital elevation model, dense point cloud classification

Реалии сегодняшнего дня требуют от современных, конкурентоспособных проектных организаций соответствия определенному уровню владения новыми технологиями информационного моделирования. Их применение позволяет проектной организации обеспечивать существенное сокращение сроков подготовки проектной документации в 2D формате и, что более важно, получение модели, содержащей информацию не только о самом объекте капитального строительства (здание, сооружение), но и о его связи с окружающим пространством.

В настоящее время спектр возможностей информационного моделирования в целом очень высок как для моделирования зданий и их элементов, так и для получения цифровых моделей геопространства. Одним из основных и доступных рядовым организациям, выполняющим инженерно-геодезические изыскания, способов получения пространственных данных о территории участка, планируемого к застройке, является фотограмметрическая обработка материалов, полученных при помощи аэрофото съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)[1]. Современное программное обеспечение для обработки данных аэрофото съемки все более ориентировано на автоматизацию процессов, но большой объем работ по фильтрации приходится выполнять вручную для получения более точных и информативных цифровых моделей рельефа с целью применения их в проектировании.

Фотограмметрическая обработка снимков производится в специальных программах, например, Agisoft Metashape. Порядок действий стандартный для всех систем и состоит из следующих этапов [2]:

1. Цифровая обработка данных аэрофотосъемки методом корреляции или фототриангуляция [3].
2. Построение плотного облака точек [4].
3. Построение полигональной модели поверхности на основе плотного облака точек [4].
4. Построение цифровой модели поверхности [4, 5].
5. Построение ортофотоплана [5].

Все перечисленные выше процессы обработки данных аэрофотосъемки в специальных современных программах в основном автоматизированы. Автоматизация процессов фотограмметрии значительно ускоряет обработку и облегчает работу операторов-геодезистов, но, на данный момент, не всегда обеспечивает требуемое качество выполнения процессов и, следовательно, необходимо усовершенствование имеющихся и разработка новых методов и алгоритмов автоматизации [2].

В рамках данного исследования предпринимались попытки корректно объединить цифровые продукты фотограмметрии с информационной моделью объекта. Выполнена проработка по связке «геодезия-генплан-здание» более чем для 10 объектов проектирования. Для обработки данных, полученных с БПЛА, использовался ПК Agisoft Metashape. В результате были выявлены положительные и проблемные стороны применения новых информационных технологий в проектировании в части увязки геодезии и генплана, а также поставлены четкие задачи, которые требуют решения для преодоления барьера интероперабельности и достижения оптимального результата совместной работы.

Так среди положительных сторон можно выделить высокую скорость выполнения полевых работ, возможность съемки труднодоступных территорий, высокую производительность камеральных работ и т.д. К проблемным аспектам относятся, например, высокие финансовые затраты на оборудование для аэрофотосъемки, невозможность в автоматическом режиме классифицировать принадлежность точек облака к объектам местности, ограничения по автоматическому построению горизонталей для участков.

В настоящее время существуют реальные предпосылки к созданию новых методик и алгоритмов построения максимально достоверных и подробных цифровых моделей поверхности на основе данных аэрофотосъемки. Проанализировав имеющуюся информацию, можно сделать вывод, что построение оптимальной цифровой модели рельефа (ЦМР) по материалам аэрофотосъемки, полученным при помощи БПЛА полностью в автоматическом режиме возможно при условии решения проблемы корректной классификации принадлежности плотного облака точек к объектам местности.

В свою очередь, получение подробной цифровой модели рельефа, с возможностью производить все необходимые операции с группами точек в составе ЦМР без потери информации в автоматическом режиме позволит достовернее моделировать решения вертикальной планировки, принимать более обоснованные решения по необходимым конструкциям покрытий, прорабатывать схемы прокладки наземных/надземных/подземных инженерных сетей и сооружений, с достаточной точностью рассчитывать объемы земляных работ, более правильно выполнять привязку информационной модели здания на местности с обязательным учетом существующе-

го рельефа, выполнять визуализацию вписывания проектируемого объекта в существующее территориальное окружение.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>. Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре "Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве" ИАиС ВолГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

Список использованных источников

1. *Malikov V., Sadovnikova N., Parygin D., Aleshkevich A., Savina O.* Development of a Methodology for Complex Monitoring of the Development of Urban and Suburban Areas Based on the Intellectual Analysis of Earth Remote Sensing Data and Geospatial Technologies. *Communications in Computer and Information Science* Volume 1448 (July 2021): pp. 405–417. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87034-8_29
2. *Скрытцына Т. Н., Владимирова М.Р.* Технология получения информации о территории ландшафтного проектирования с использованием материалов аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов. *Наука, образование и экспериментальное проектирование.* 2021. №1. С. 35–39.
3. *Михеева А.А., Ялтыхов В.В., Парадня П.Ф.* Построение сетей фототриангуляции в программе AgisoftPhotoScan. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки.* 2020. №8. С. 15–23.
4. *Михеева А.А., Ялтыхов В.В., Парадня П.Ф.* Создание ортофотоплана в программе AgisoftPhotoScan. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки.* 2021. №8. С. 13–20.
5. *Старовойтов А.В., Фаттахов А. В., Ячменёва Е.А., Хамиев М.М., Кислер Д.А., Косарев В.Е., Нургалиев Д.К.* Оценка объемов вырубki леса с использованием данных дистанционного зондирования земли. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки.* Казань. 2021. № 4. С. 591–602.

АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРОВЕЛЬНЫХ НАПЛАВЛЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Долженкова М.В.*¹

¹ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», *dmv20101@yandex.ru*

Ключевые слова: аппроксимация, аналитические зависимости, расчет долговечности, математический эквивалент нагрузки

APPROXIMATION OF EXPERIMENTAL DATA FOR PREDICTING THE DURABILITY OF ROOFING SURFACED MATERIALS

*Dolzhenkova M. V.*¹

¹Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Urban Planning, *dmv20101@yandex.ru*

Keywords: approximation, analytical dependencies, durability calculation, mathematical equivalent of the load

Одним из важнейших эксплуатационных параметров кровельных материалов является долговечность. Для многих битумных материалов она, как правило, невысокая. Уже через несколько лет эксплуатации наплавливаемая кровля начинает протекать. Разрушение происходит путем механических повреждений в процессе монтажа, эксплуатации, в результате старения при воздействии окружающей среды. На долговечность кровельных материалов оказывают влияние климатические факторы (температура, солнечная радиация), механические воздействия, физико-химические характеристики материала.

Эффективность и оптимальные параметры кровли зависят от выбора кровельного материала. Показатели оптимальности проектного решения крыши может служить критерий приведенных затрат на устройство и эксплуатацию кровельного материала. Например использование дорогого материала приводит к высоким единовременным затратам на возведение крыши, при минимальных затратах на ремонт или замену кровли. И наоборот использование дешевого материала может приводить к высоким приведенным затратам за счет частых ремонтов.

Таким образом прогнозирование долговечности и тем самым периодичности ремонта или замены кровельного покрытия является важной технической и экономической задачей.

На основе исследований Ратнер С.Б., Буниной Л.О., Ярцева В.П. [1] получены экспериментальные зависимости физико-химических свойств, в частности времени разрушения или долговечности некоторых видов материалов на основе битума в зависимости от физических констант:

$$\tau = f(U_0, \gamma, T_m),$$

где U_0 - энергия активации, γ - структурно-механический фактор, T_m - предельная температура существования материала.

Определение физических констант выполнено аппроксимацией экспоненциальными функциями на основе графоаналитического метода [2, 3, 4]. На рисунке 1 приведены примеры определения констант.

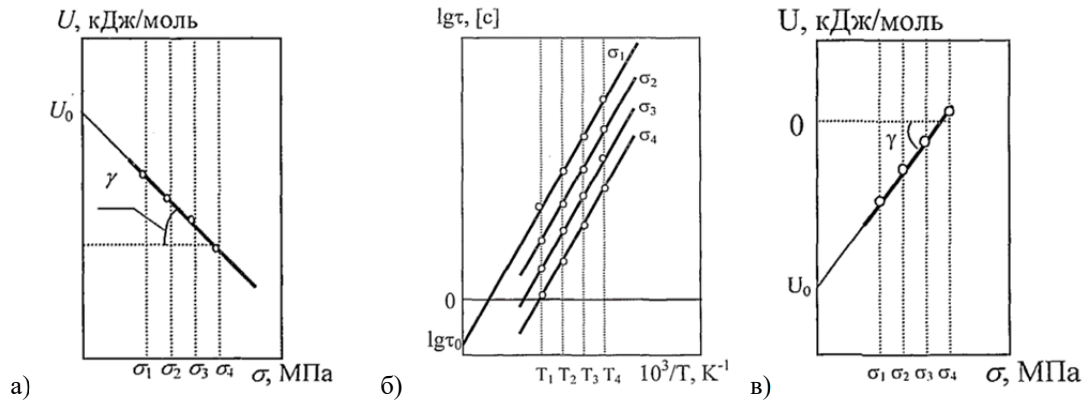


Рисунок 1 – Схема определения констант: а) при «прямом пучке», б) для нелинейных зависимостей, в) для «обратного пучка»

На основе полученных физических констант записаны аналитические зависимости, связывающие время до разрушения, напряжение и температуру экспериментальные зависимости $\lg \tau - \sigma$ перестраивали в координаты $\lg \tau - 10^3/T$.

Например, выражение долговечности для стекломата имеет вид:

$$\lg \tau = 5,3 - 1,53 \frac{10^3}{T} + 0,40 \left(\frac{10^3}{T} \right)^2 - 4,095 \sigma \frac{10^3}{T} + 1,077 \left(\frac{10^3}{T} \right)^2,$$

где T - температура, σ - напряжение

При обработке полученных результатов была получена схема потенциального срока службы.

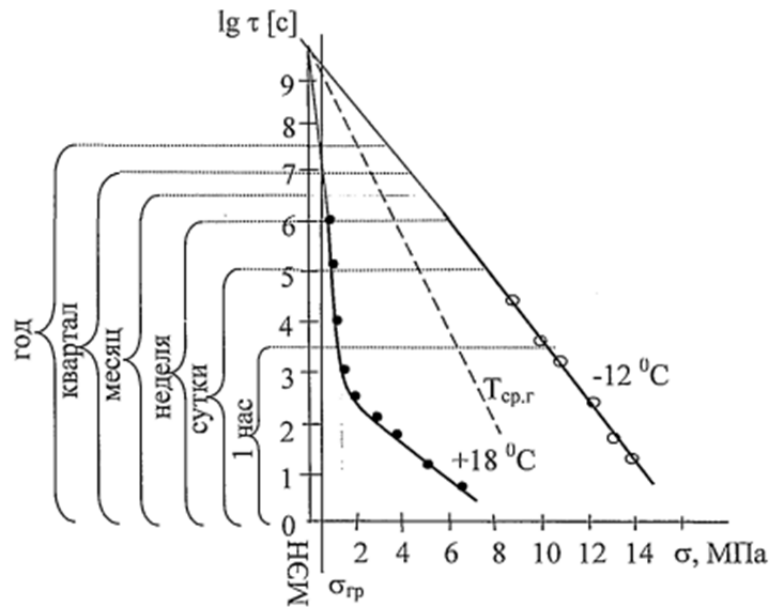


Рисунок 2 – Определение потенциального срока службы кровельных наплавляемых материалов
 $T_{ср.г}$ - среднегодовая температура.

Испытания можно провести и в лабораторных условиях при средних температурах июля и января. Расчет долговечности рекомендуется согласно математическому

эквиваленту нагрузки - МЭН выполнять при $\sigma=0,5$ МПа. Из экспериментальных результатов, представленных для кровельных наплавливаемых материалов на рисунке 2 при среднегодовой температуре Тер.г., она составит около 35 лет. С учетом колебаний температуры и влажности 35/1,5 - более 23 лет [5].

Полученные аналитические зависимости и величины, входящих в них констант, позволяют прогнозировать долговечность кровельных наплавливаемых материалов при заданных параметрах и условиях эксплуатации, что позволит проектировать крыши максимально надежными с минимальными затратами.

Список использованных источников

1. *Ярцев В.П., Долженкова М.В.* Прогнозирование долговечности кровельных битумно-полимерных композитов//Вестник Тамбовского государственного технического университета. Тамбов. 2012. Т. 18. № 4. С. 1042-1050.
2. *Санников, Д. А.* Аналитический метод определения термофлуктуационных констант механической долговечности твердых тел / Д. А. Санников, В.П.Ярцев, В. А.Русин // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XV Международ. науч. конф. / Под общ. ред. В. С. Балакирева.- Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2002. - Т. 8. - С. 39-41.
3. *Бунина, Л.О.* Сопоставление работоспособности некоторых стеклонеполненных полиамидов /Л.О.Бунина, С.Б.Ратнер, О.Л.Крейни //Научно-технический сборник «Производство и переработка пластмасс и синтетических смол». - М.: НИИТЭХИМ, 1976. - № 6. - С. 6-9.
4. *Ярцев, В.П.* Влияние химически активных сред на физические константы термопластов, определяющие их сопротивление механическому разрушению / В.П.Ярцев, С.Б.Ратнер // Доклады АП СССР. - М., 1978. - Т. 240. - № 6. - С. 1394-1397.
5. *Долженкова, М.В.* Экспресс-метод прогнозирования долговечности кровельных битумных материалов / М.В.Долженкова, В.П.Ярцев//Актуальные проблемы современного строительства. Строительные материалы и конструкции: Материалы международной научно-технической конференции. - Пенза: ПГУАС, 2005. - С. 119-124.

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ ПОТОЛКА НА СНИЖЕНИЕ ОТРАЖЕННОГО ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ

Жоголева О.А.¹, Леденев В.И.², Матвеева И.В.³

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, zhogoleva.olga@rambler.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, ledvi46@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, times02@yandex.ru

Ключевые слова: численный расчет шума, звукопоглощающая облицовка, отраженный шум.

NUMERICAL EVALUATION OF THE ZONE OF INFLUENCE OF SOUND-ABSORBING CEILING CLADDING ON THE REDUCTION OF REFLECTED NOISE IN THE PREMISES

Zhogoleva O.A.¹, Ledenev V.I.², Matveeva I.V.³

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Departments of Urban Construction and Highways, Russia, zhogoleva.olga@rambler.ru

² Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor Departments of Urban
Construction and Highways, Russia, ledvi46@yandex.ru

³ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Departments of Urban Construction and Highways, Russia, times02@yandex.ru

Key words: numerical calculation of noise, sound-absorbing cladding, reflected noise.

Эффективность снижения отраженной звуковой энергии в производственных помещениях за счет звукопоглощающей облицовки потолка существенно зависит от места расположения облицовки относительно источника шума и расчетной точки и различна для помещений разных пропорций. Выполненные нами на физических моделях экспериментальные исследования показывают, что снижение отраженного шума непропорционально росту площади облицовки, размещаемой над расчетной точкой. Замечено, что дальнейшее увеличение площади облицовки в длинных и плоских помещениях после достижения некоторых размеров практически не приводит к снижению отраженного шума в зоне, расположенной над центром облицовки.

Для определения зоны влияния облицовки потолка на снижение шума в расчетных точках помещения выполнены расчеты эффективности снижения отраженного шума в помещениях различных пропорций при разных размерах площади облицовки. Расчеты уровней шума производились численным статистическим энергетическим методом, учитывающим место расположения облицовки [1-3].

Исследования выполнены в соразмерных, длинных и плоских помещениях. Расчетная зона площади пола помещения, для которой производилась оценка средней эффективности звукопоглощения принималась для каждого помещения равной $0,5l_{cp} \times 0,5l_{cp}$, где l_{cp} – средняя длина пробега звуковых волн в помещениях. Размеры облицованной части потолка для соразмерных и плоских помещений принимались как $k(l_{cp} \times l_{cp})$, где k – переменная величина. В длинных помещениях размеры облицованной части потолка принимались как $k(l_{cp} \times b)$, где b – ширина помещения.

С целью исключения влияния стен источник шума располагался в центре помещения. Здесь же располагалась и расчетная зона. При расчетах коэффициенты звукопоглощения принимались для необлицованных поверхностей равными 0,05. Облицовка потолка имела коэффициенты звукопоглощения 0,70.

В результате расчетов и последующего анализа установлено, что в соразмерных помещениях увеличение облицованной части потолка вплоть до полной его облицовки дает ощутимое снижение уровня отраженной энергии в расчетной зоне. В длинных помещениях при увеличении площади облицовки потолка достигается такая величина, после которой дальнейшее увеличение площади практически не ведет к снижению уровней отраженной звуковой энергии. Графики снижения уровней отраженной звуковой энергии в длинных помещениях приведены на рис.1,а. Видно, что размеры наиболее эффективного участка потолка, влияющего на снижение отраженного шума в расчетной зоне в длинных помещениях не превышает величины $3,5l_{\text{ср}} \times b$. Графики снижения уровней отраженной звуковой энергии в плоских помещениях приведены на рис.1,б. Видно, что в плоских помещениях эффективная зона потолка, влияющая на снижение шума в расчетной зоне, не превышает размеров $3,0l_{\text{ср}} \times 3,0l_{\text{ср}}$.

В целом результаты расчетов показывают, что на снижение отраженного шума в каждой конкретной точке помещения оказывает влияние определенный участок облицованного потолка. Это дает возможность более эффективно размещать звукопоглощение с учетом расположения источника шума и расчетных точек.

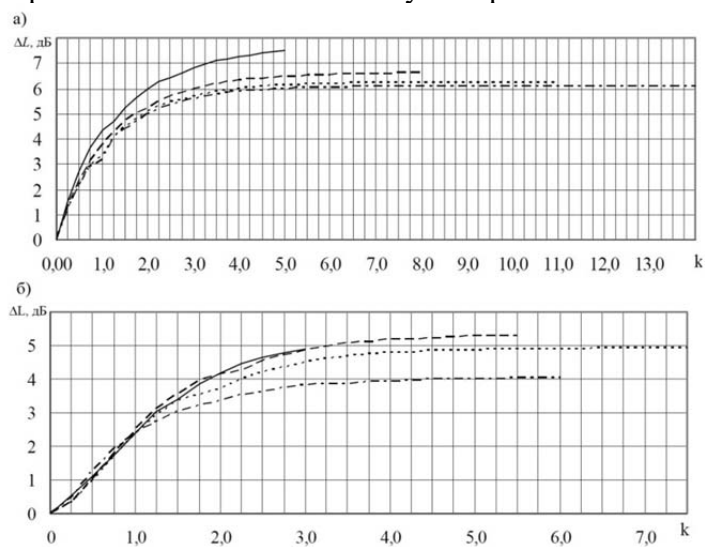


Рисунок 1 – Снижение уровней отраженной энергии в зависимости от размеров облицованной части потолка:

- а) в длинных помещениях с размерами
——— - $36 \times 12 \times 6 \text{ м}$; - - - - - - $60 \times 12 \times 6 \text{ м}$; - $84 \times 12 \times 6 \text{ м}$; - · - · - · - $144 \times 12 \times 6 \text{ м}$;
б) в плоских помещениях с размерами
——— - $144 \times 36 \times 6 \text{ м}$; - - - - - - $144 \times 60 \times 6 \text{ м}$; - $144 \times 84 \times 6 \text{ м}$; - · - · - · - $144 \times 144 \times 6 \text{ м}$.

Список использованных источников

1. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. Москва-Берлин : Директ-Медиа, 2020. 274 с.
2. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. Москва: ООО «Директмедиа Паблишинг», 2022. 192 с.
3. Снижение шума газоздушных каналов энергетических предприятий звукоизолирующими облицовками / А. И. Антонов, А. В. Гречишкин, В. П. Гусев [и др.] // Приволжский научный журнал. 2022. № 1(61). С. 97-103.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Зубков А.Ф.¹, Андрианов К.А.², Сенибабнов С.А.³

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, afzubkov2013@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, konst-68@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, gsiad_tambov@mail.ru

Ключевые слова: асфальтогранулят, деформация, коэффициент уплотнения

SIMULATION OF COMPACTION PROCESSES OF ASPHALT GRANULATE USING EXPERIMENTAL DATA

Zubkov A.F.¹, Andrianov K.A.², Senibabnov S.A.¹

¹ Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department urban construction and roads, Russia, afzubkov2013@yandex.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department urban construction and roads, Russia, , konst-68@yandex.ru

³ Tambov State Technical University, PhD student of the Department urban construction and roads, Russia, gsiad_tambov@mail.ru

Key words: asphalt granulate, deformation, compaction factor

Достижение требуемых характеристик уплотняемого слоя при устройстве дорожных одежд обеспечивается в процессе уплотнения, которое выполняется рабочими органами дорожных катков. На процесс уплотнения влияет как нагрузка от параметров катка, так и свойства уплотняемого материала [1-3].

При установлении оптимальных параметров машин с учетом свойств используемого материала выполняют моделирование процесса уплотнения, которое может выполняться как с использованием математических моделей, так и применением специализированных стендов.

С целью уточнения влияния нагрузки на процесс уплотнения слоя асфальтогранулята проведены исследования с применением компактора модели CRT-RC с размерами образцов 305×400 мм. В качестве испытываемого материала использовался асфальтогранулят разного гранулометрического состава и толщины слоя при укладке. Принцип работы стенда основан на имитации работы катка за счет прокатывания сектора цилиндра с контролируемым усилием по поверхности образца, уложенного в форму стенда. Размеры формы для укладки материала составляли 305×400 мм, толщина слоя принималась 0,05 и 0,1 м. Моделирование процесса уплотнения проводилось для фракций 5-10; 10-20; 5-20 и 20-40 мм. Окончание работы уплотнения материала происходило при достижении заданного количества циклов приложения нагрузки на слой материала. Коэффициент уплотнения определялся неразрушающим методом с применением прибора ПАД-1. Исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в ПНСТ 185-2016 (EN 12697-33). В процессе проведения эксперимента определялись плотность, деформация слоя материала как об-

щая, так и после приложения нагрузки.

По результатам проведенных исследований установлено, что величина деформации слоя зависит от размера фракций асфальтогранулята, его толщины при укладке, числа циклов приложения нагрузки и ее величины (рис.1).

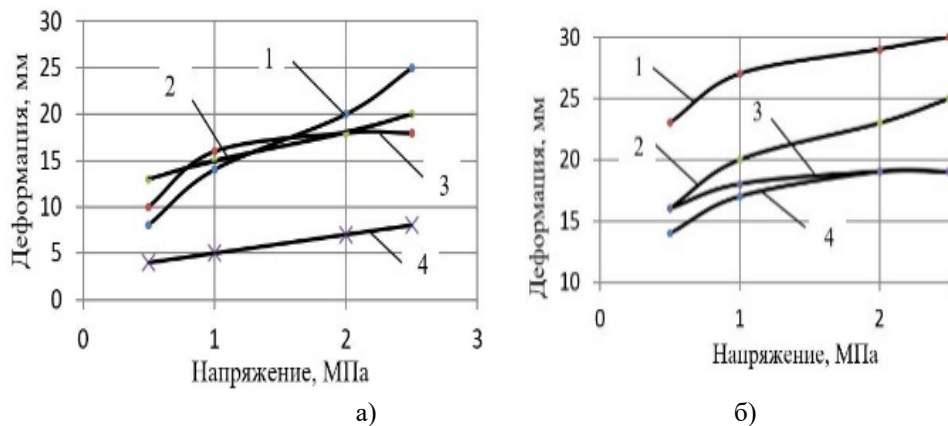


Рисунок 1 –Зависимость деформации от напряжения с учетом толщины слоя: а – толщина слоя 0,05 м; б – толщина слоя 0,1 м; 1 –фракция 5-10 мм; 2 – 10-20 мм; 3 - 5-20 мм; 4 – 20-40 мм

Из рис. 1 видно, что при укладке асфальтогранулята слоя толщиной 0,05 м и фракций размером 5-10 и 10-20 мм связь между деформацией и напряжением до 1 МПа характеризуется линейной зависимостью. С увеличением напряжения до 2 МПа происходит снижение интенсивности роста деформации, что объясняется формированием структуры слоя и повышением его прочности.

Зависимости деформации слоя от напряжения представлены в табл.1.

Таблица 1

Зависимость деформации слоя смеси от напряжения при разной толщине слоя

Фракция, мм	Толщина слоя, м	
	0,05	0,10
5-10	$\lambda = -0,64\sigma^2 + 10\sigma + 3,67$	$\lambda = 3,19 \ln \sigma + 16,52$
10-20	$\lambda = -4\sigma^2 + 15,6\sigma + 3,6$	$\lambda = 4,2 \ln \sigma + 26,33$
5-20	$\lambda = 3,4\sigma + 11,4$	$\lambda = 6,575 \ln \sigma + 19,77$
20-40	$\lambda = 2\sigma + 3$	$\lambda = 1,88 \ln \sigma + 17,57$

В табл. 1 принято: λ – деформация, мм; σ – напряжение, МПа. Коэффициент корреляции уравнений находится в пределах от 0,95 до 0,99.

Величиной, характеризующей процесс уплотнения материала, является коэффициент уплотнения. В табл. 2 представлены зависимости коэффициента уплотнения от деформации слоя с учетом гранулометрического состава материала и толщины слоя при укладке.

Таблица 2

Зависимость коэффициента уплотнения от деформации слоя

Размер фракции, мм	Толщина слоя, м	
	0,05	0,10
5-10	$K_y = 1,74\lambda + 3,45$	$K_y = 3,05 \ln \lambda + 10,91$
10-20	$K_y = 5,49 \ln \lambda + 4,58$	$K_y = 3,05 \ln \lambda + 19,91$
5-20	$K_y = 3,54 \ln \lambda + 8,61$	$K_y = 4,39 \ln \lambda + 11,02$
20-40	$K_y = 1,89 \ln \lambda + 1,89$	$K_y = 1,61 \ln \lambda + 15$

В табл. 2 принято: λ – деформация слоя асфальтогранулята, мм. Коэффициент корреляции уравнений находится в пределах 0,98-0,99.

Установлено, что при работе катков в статическом режиме требуемый коэффициент уплотнения не достигается даже при сравнительно большом количестве проходов катка (табл.3).

Таблица 3

Влияние числа проходов на коэффициент уплотнения слоя асфальтогранулята

Размер фракции, мм	Максимальное число проходов	Величина коэффициента K_v при толщине слоя	
		0,05	0,10
5-10	20	0,96	0,96
10-20	20	0,96	0,95
5-20	30/20	0,97	0,96
20-40	25	0,93	0,95

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что при укладке слоев дорожных одежд с использованием асфальтогранулята, достичь требуемого коэффициента уплотнения можно с применением уплотняющих машин в динамическом режиме работы.

Список использованных источников

1. *Сенибабнов, С.А.* Определение реологических характеристик асфальтогранулята при устройстве слоев дорожной одежды / *С.А. Сенибабнов, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков, А.А. Кузнецов* // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2021. № 1 (12). С.37-42.
2. *Заратина, Л.С.* Влияние свойств материала, получаемого при холодном фрезеровании покрытий нежесткого типа, на деформацию слоя при устройстве дорожной одежды / *Л.С.Заратина, К.А.Андрианов, А.Ф.Зубков* // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 1 (65). С. 85-95.
3. *Pakhomova, E.G.* Influence of thickness and granulometric composition of granular asphalt on its strength characteristics when placing into the road pavement / *E.G. Pakhomova, A.F. Zubkov, K.A. Andrianov, P.V. Monastyrev* // Journal of applied engineering science. Издательство: Institut za Istrazivanja I Projektovanja u Privredi Том: 18Номер: 2 Год: 2020. – С. 192-197.

МОДЕЛЬ БЕТОНА КОНСТРУКЦИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Кабанцев О.В.¹, Карлин А.В.²

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций», Россия, ovk531@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», инженер, Россия, akarlinmgsu@yandex.ru

Ключевые слова: численные методы расчета, бетон, аддитивная технология, механизм разрушения, прочность бетона, прочность контактного взаимодействия, эффективная прочность

CONCRETE MODEL OF STRUCTURES MADE USING ADDITIVE TECHNOLOGY

O.V. Kabantsev¹, A.V. Karlin²

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Doctor Habilitatus in Engineering, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Russia, ovk531@gmail.com

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Engineer, Russia, akarlinmgsu@yandex.ru

Key words: finite element method, concrete, additive technology, destruction mechanism, concrete strength, contact strength, effective strength

Технология изготовления бетонных и железобетонных конструкций, массово применяемая при строительстве объектов различного назначения, нацелена, как правило, на получение однородной массы бетона, лишенной неплотностей, а также выраженных зон с локальными значениями механических характеристик. Для этого применяются процедуры уплотнения смеси, технологии которых обеспечивают формирование монолитной структуры бетона, но при этом не приводят к формированиям различных дефектов, например, расслоению бетона. Достижение требуемых параметров однородности бетонной смеси контролируется в соответствии с требованиями действующих норм, что позволяет рассматривать бетон в рамках модели однородного деформируемого тела. Однако практика изготовления конструкций из бетона (даже в рамках традиционной технологии) приводят, в отдельных случаях, к образованию неоднородностей в бетонной смеси. Например, возникновение неоднородностей бетона вертикальных конструкций при высоте бетонирования более 1,5 м учитывается путем введения коэффициента $\gamma_{b3}=0,85$.

Модель бетона в виде однородного деформируемого тела нельзя признать универсальной. Так, активно развивающаяся аддитивная технология изготовления бетонных конструкций реализует метод послойного формирования конструкции, что приводит к формированию слоистой структуры, состоящей из отдельных слоев бетона, взаимодействующих между собой. Таким образом, необходимо решить вопрос о возможности применения традиционной модели бетона, либо разработать новую модель, корректно отражающую действительную структуру бетона конструкций, выполненных по аддитивной технологии.

Формированием неоднородностей в бетоне монолитных конструкций, определяемых технологическими перерывами бетонирования, подтверждается рядом исследований, например, [1]. На особые свойства материалов конструкций, выполненных по аддитивной технологии, указано в работе [2]. Влияние аддитивной технологии на формирование локальных прочностных эффектов в бетоне конструкции установлено в исследованиях [3]. В НИУ МГСУ выполнены исследования механических характеристик бетонов в конструкциях, выполненных по аддитивной технологии. По результатам исследований [4] установлены особенности формирования структуры бетона, которые обосновывают необходимость разработки новой модели бетона, корректно отражающие такие особенности. Установлено, что аддитивная технология, реализующая последовательное (послойное) формирование тела бетона конструкции, формирует выраженную слоистую структуру бетона. При этом образуются две зоны бетона: зона бетона основного слоя и зона контакта поверхностей слоев. Исследованиями [5] установлено, что средняя прочность при осевом сжатии образцов, выбуренных из массива, выполненного по аддитивной технологии, на 15-27% ниже, чем у образцов, выбуренных из массива, выполненного по традиционной технологии монолитного бетонирования. При этом материал собственно бетонного слоя имеет достаточно высокую однородность тела бетона. Зона контакта плоскостей слоев имеет существенные отличия механических характеристик от характеристик зоны бетонного слоя, что определяется иными условиями формирования зоны контакта, а также ролью зоны контакта в работе бетонного тела конструкции. Основной задачей зоны контакта является реализация адгезионного взаимодействия слоев бетона, что при высоких значениях адгезионной прочности (соизмеримой с уровнем прочности бетона на растяжение) может привести к формированию монолитной структуры бетонного тела. Однако исследованиями установлено, что, во-первых, уровень адгезионной прочности многократно ниже величины прочности бетона на растяжение, и, во-вторых, отклонения частных значений величин адгезионной прочности от среднего значения весьма велик. Таким образом, результаты исследований позволяют определить модель бетона конструкций, выполненных по аддитивной технологии, как слоистый кусочно-однородный ортотропный композит. Такое определение модели дает возможность построение расчетной схемы материала в задачах микромоделирования, на основе результатов которых могут быть получены параметры эффективных значений механических характеристик, включая эффективную прочность. Это позволит разработать методы расчета конструкций, выполненных по аддитивной технологии, в соответствии с принципами метода предельных состояний с применением, в том числе, частных коэффициентов надежности (условий работы).

Список использованных источников

1. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С 54-60.
2. Feng P., Meng X., Chen J., Ye L. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 93, pp. 486–497. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.132>.
3. Wolfs R.J.M., Bos F.P., Salet T.A.M. Hardened properties of 3D printed concrete: The influence of process parameters on interlayer adhesion. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 119, pp. 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.02.017>.
4. Кабанцев О.В., Карлин А.В. Особенности структуры бетона элемента конструкции, выполненной по аддитивной технологии // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 55–63.
5. Адамцевич А.О., Пустовгар А.П. Аддитивное строительное производство: исследование эффекта анизотропии прочностных характеристик бетона // Строительные материалы. 2022. № 9. С. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-806-9-18-24>.

ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТЬ ФАСАДА ЖИЛОГО ДОМА НА ПРИМЕРЕ ДЕРЕВЯННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ГОРОДА ТАМБОВА

Карасова И.Ю.¹, Старкова Т.В.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», e-mail: irusya-irusya@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры «Архитектура и градостроительство» e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Ключевые слова: фасада жилого деревянного дома, система антропометрических мер, строительный материал – дерево, деревянная архитектура Тамбова

ARTISTIC EXPRESSIVENESS OF THE FACADE OF A RESIDENTIAL BUILDING ON THE EXAMPLE OF THE WOODEN ARCHITECTURE OF THE CITY OF TAMBOV

Karasova I.YU.¹, Starkova T.V.²

¹ "Tambov State Technical University", assistant professor at the Department of Architecture and Urban Planning, Russia, e-mail: irusya-irusya@mail.ru

² "Tambov State Technical University", assistant professor at the Department of Architecture and Urban Planning, e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Key words: facades of a residential wooden house, a system of anthropometric measures, building material – wood, wooden architecture of Tambov

В восприятии фасада жилого деревянного дома, главными являлись пропорции, соотношение общего объема к деталям. Главную роль в нахождении гармоничных пропорций архитектуры в дореволюционной России играла система антропометрических мер, происходивших от размеров частей человеческого тела.

В Древней Руси и в дореволюционной России основными мерами были:

- рост человека;
- шаг, сажени – размах рук в стороны;
- локти – расстояние от кончиков пальцев до локтя;
- пяди – расстояние между вытянутыми в противоположные стороны большим пальцем и мизинцем.

Они были соразмерны человеку, поэтому удобны для создания жилой среды обитания.

Созданию соразмерных пропорций в архитектуре нашим предкам помогал и главный строительный материал – дерево. Длина и толщина бревен так же являлись природными мерами, которые задавали размер, форму и характер членений построек.

На Руси деревянное зодчество преобладало, даже в Российской империи основная масса застройки была деревянной. Город Тамбов, возникший как деревянная крепость, так же не был исключением.

Народные умельцы принимали во внимание художественный эффект контраста тонких резных деталей на фоне бревенчатой стены и «лепили» из древесины кружева, создавая незабываемые произведения искусств. В характере резьбы мастера учитывали климатические особенности места строительства.

Деревянная архитектура Тамбова достаточно разнообразна по характеру и стилистическим особенностям. Домовая резьба в городах и селениях Тамбова – так называемая глухая резьба, выполнялась с помощью долота, была рассчитана на солнечное освещение, тогда как прорезная (пропиловочная) резьба при меньшем количестве солнечных дней предусматривала силуэтное восприятие.

Для деревянных домов характерна четкая иерархия фасадного убранства. Более всего декорировались уличные фасады, боковые фасады домов были более скромными по декору, дворовые фасады украшались вообще редко. Декоративными акцентами на фасадах деревянных домов служили наличники, фронтоны, портики, карнизы, балконы, двери и т.п., - в них и отображалась тематика орнамента и задумка автора. Они украшались стилизованными гирляндами из цветов и листьев, фантастическими соцветиями, лозами винограда и стилизованными изображениями животных. Нередко в декоре дома присутствовали полукруглые и круглые элементы со сходящимися к центру лучами (солярные знаки), символизирующие солнце.

Одним из важных элементов декора деревянного жилого дома были двери, реализующие одновременно коммуникационную и охранительную функции. В начале XIX в. парадная входная дверь устраивалась со двора, но позднее, с изменением уклада жизни горожан, переносится на главный фасад. Оформлению двери в доме придавали особое значение. Крыльцо в доме так же играло важную функциональную и художественную роль.

Деревянная архитектура конца XIX начала XX в.в. г. Тамбова уникальна, ее художественная выразительность не идет ни в какое сравнение с современной архитектурой.

Список используемых источников

1. *Шевелев И.Ш.* Принцип пропорции. – М.: Стройиздат, 1986. – 200 с. ил.
2. *Муравьев Н.В.* Улицы и площади Тамбова. Тамбов: Взгляд, 1994. 176с.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Когутяк И.С.¹

¹ ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет", аспирант, кафедры «Градостроительство», Россия, official.i.s@yandex.ru

Ключевые слова: градостроительная деятельность, информационная система обеспечения градостроительной деятельности, классификация информационных систем

FEATURES OF FORMING INITIAL DATA TO SUPPORT DECISION-MAKING IN URBAN PLANNING ACTIVITIES

Cogutiac I.S.¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, postgraduate student, Department of Urban Planning, Russia, official.i.s@yandex.ru

Key words: urban planning activities, information system for ensuring urban planning activities, classification of information systems

Метод системного анализа градостроительной деятельности и его принцип «от общего к частному» позволил выстроить, мероприятия, указанные в ГрК РФ в виде пирамиды, каждая из ступеней которой характеризует вид мероприятия, глубину и объем необходимых для обработки данных (рис. 1) [1,2,3].



Рисунок 1 – Схема объема данных в перечне мероприятий градостроительной деятельности, осуществляемых при реализации проектов по строительству объектов капитального строительства

Уровень проработки решений в градостроительной деятельности растет вместе с приближением к эксплуатации элементов городской среды и объектов строительства. Это обстоятельство может привести к отсутствию целесообразности принимаемых стратегических решений в градостроительной деятельности. Во избежание подобных ситуаций целесообразно рассмотрение многоуровневой аналитики по обоснованию решений с учетом всей возможной проработкой. Данные, связанные с градостроительными процессами, - это постоянно обновляемая исходная база, кото-

рая позволяет рассматривать вопросы градостроительных процессов комплексно и разностороннее [4,5].

Для создания интеллектуальной информационной системы управления градостроительными процессами предложено принципиальное деление всех входных данных по трем типам. Тип А – это данные, содержащие сведения о состоянии и загруженности существующих объектов городской среды (инфраструктурных объектов и систем, зданий, благоустроенных территориях, объектах строительства). Тип В – это данные, содержащие сведения о действующей, планируемой к утверждению и утраченной силу нормативно правовой документации. И, наконец, тип С – это данные, содержащие сведения о всей планируемой к реализации документации. Преимущество данного метода заключается в комплексности рассмотрения всех трех типов данных [6].

Для анализа существующих ИС различного назначения классифицируем перечень из 170 ИС г. Москвы по 14 основным отраслям. Классификация ИС позволяет определить область источников информации, которые могут косвенно или прямо влиять на решения, принятые в рамках градостроительных процессов (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема количества ИС и типов данных по отраслям

В 11 отраслях содержатся 116 ИС для обеспечения поддержки принятия решений в градостроительной деятельности. Для обеспечения экономического развития 18 ИС, 7 – экологического аспекта, 50 ИС связаны с обеспечением социального аспекта. Таким образом на принятие решений на градостроительные процессы могут повлиять прямо 41 и 75 ИС косвенно, что составляет более половины всего информационного объема города.

Наиболее детальным возможно проведение аналитики по расчету соотношения показателя процента количества ИС к проценту количества потоков данных в комплексе (таблица 2). Выявленный показатель демонстрирует активность объема данных в соответствующих типов данных.

Таблица 2

Аспекты развития	Тип данных А			Тип данных В			Тип данных С		
	Кол. Корп.	%	%/%	Кол. Корп.	%	%/%	Кол. Корп.	%	%/%
Градостроительный	34	35,1	1,02	4	16,7	0,48	24	40,7	1,18
Экономический	15	15,5	0,80	4	16,7	0,86	16	27,1	1,39
Экологический	7	7,2	1,08	3	12,5	1,88	2	3,4	0,51
Социальный	41	42,3	1,07	13	54,2	1,37	17	28,8	0,73
Всего	97	100	3,97	24	100	4,59	59	100	3,81
Тип влияния									
Прямо	34			4			24		
Косвенно	63			20			35		

Проведен анализ, позволяющий количественно оценить особенности исходящих потоков данных по основным аспектам развития территории. Результатом анализа является представление о соотношении типов исходных данных по каждому направлению развития территории (рис.4).

Результаты исследования принципиально подтверждают гипотезу, что количество потоков данных соответствует специфике аспекта развития территории, однако есть показатели, которые не вполне соответствуют этому утверждению. Так, например, градостроительная отрасль содержит наибольшее количество потоков типа С. Это обстоятельство связано с активной работой в направлении планирования реализации градостроительных объектов.

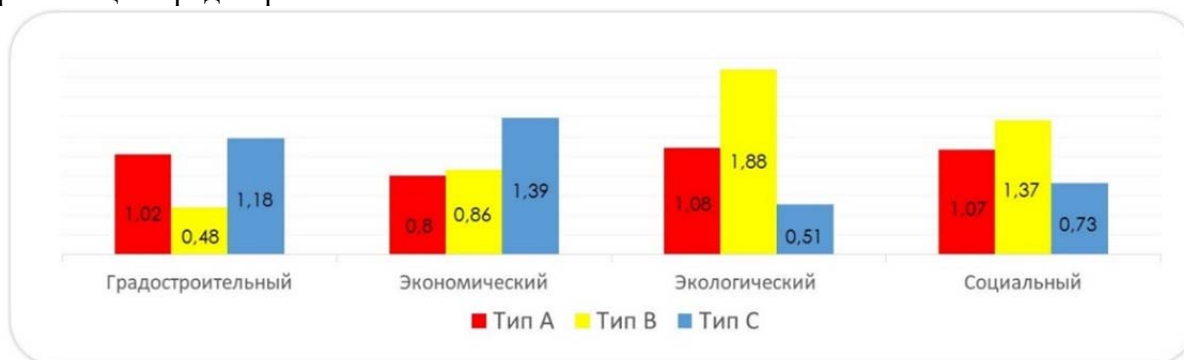


Рисунок 4 – Диаграмма распределения количества потоков данных по направлениям развития территории

Достигнута цель: формирование представления о принципиальном подходе к обосновывающим материалам для обеспечения поддержки принятия решений в градостроительстве. Это позволит в дальнейшем разработать концепцию управления градостроительными процессами с помощью информационных систем и искусственного интеллекта.

Список использованных источников

1. Распоряжение правительства Российской Федерации от 19.08.2020 №2129-р.
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 14.07.2022).
3. Вильнер М. Я. Методологические основы реформирования управления развитием территории: монография. М., 2018. 115 с.
4. Малинова О. В. О реформировании территориального планирования в Российской Федерации в целях комплексного и устойчивого развития территории. Генплан // Academia. Архитектура и строительство. 2019. №. 4. С. 5–10.
5. Митягин С. Д. Технологическая оптимизация градостроительной деятельности // Градостроительство. 2018. № 1. С. 67–72.
6. Когутяк И.С., Ренц А.И. Интеллектуальная информационная модель управления градостроительными процессами сформированная на базе существующих информационных систем города Москвы // Вторая национальная конференция «Актуальные проблемы градостроительной отрасли и образования» - 2021.

АППРОКСИМИРУЮЩИЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ РАСЧЁТА МАКСИМАЛЬНЫХ ПРОГИБОВ ПЛАСТИНОК НА УПРУГОМ ВИНКЛЕРОВОМ ОСНОВАНИИ

Коробко А.В.¹, Прокуров М.Ю.²

¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
д.т.н., профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники, Россия, ankor.66@mail.ru
² ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», к.т.н.,
доцент кафедры «Строительные конструкции», Россия, m.prokuroff@mail.ru

Ключевые слова: упругие пластинки, винклеровское основание, максимальный прогиб, коэффициент формы, аппроксимирующая функция

APPROXIMATING FUNCTIONS FOR CALCULATING THE MAXIMUM DEFLECTIONS OF PLATES ON AN ELASTIC WINKLER BASE

Korobko A.V.¹, Prokurov M.Yu.²

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev, Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Mechatronics, Mechanics and Robotics, Russia, ankor.66@mail.ru
² Bryansk State Engineering and Technological University, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Building Structures, Russia, m.prokuroff@mail.ru

Key words: elastic plates, Winkler base, maximum deflection, shape factor, approximating function

В настоящее время оценка деформаций пластинок предполагает использование универсальных программных средств, реализующих численные методы для расчёта дискретизированных плоских областей. Такой подход к решению задачи остаётся достаточно трудоёмким и часто ведёт к потере физической сущности задачи и возможности правильной интерпретации получаемых результатов.

Более эффективной представляется аналитическая реализация решения с помощью инженерного геометрического метода расчёта пластинок – метода интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), разработанного профессором А.В. Коробко [1].

Коэффициент формы K является безразмерной характеристикой плоской выпуклой односвязной области и представляет собой минимизированный замкнутый интеграл, взятый по её контуру. Подробные сведения о его геометрическом смысле и способах вычисления для областей различного очертания приведены в [1]. Данная характеристика известна порядку задач математической физики [2]. К расчёту пластинок коэффициент формы впервые был применён профессором В.И. Коробко [3].

В работе [4] установлено, что коэффициент формы является геометрическим аналогом прогиба в задачах поперечного изгиба пластинок, лежащих на упругом винклеровом основании. Выражение максимального прогиба таких пластинок, имеющих различные граничные условия закрепления, имеет вид:

$$w_0 = \frac{q}{B_w^q} \left(\frac{D}{A^2} + k C_w^q \right)^{-1},$$

где q – интенсивность равномерной нагрузки, распределённой по всей площади пластинки A , D – цилиндрическая жёсткость пластинки, k – коэффициент жёсткости упругого основания, B_w^q и C_w^q – параметры решения, для которых найдены аналити-

ческие выражения аппроксимирующих функций с аргументами в виде коэффициента формы. Пример расчётного объекта приведен на рисунке 1.

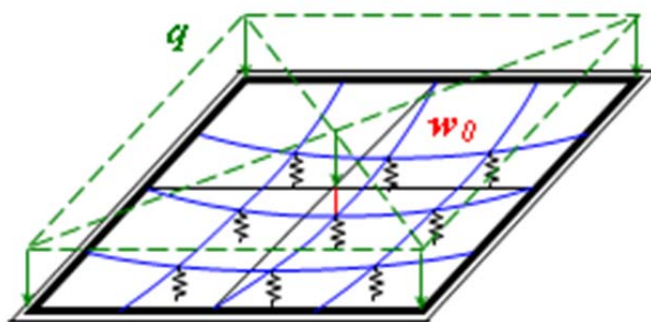


Рисунок 1 –Пластинка на упругом винклеровом основании

Для построения аппроксимирующих функций использовалась доступная версия специализированного пакета математического обеспечения TableCurve 2D, с помощью которого обработаны результаты многочисленных решений, полученных для пластинок с нормированными геометрическими параметрами при различных вариантах комбинаций шарнирного опирания и жёсткого защемления по их отдельным сторонам. Расчёт значений максимальных прогибов указанных пластинок выполнен с использованием распространённых программных средств, реализующих процедуру МКЭ.

Построенные аппроксимирующие функции $V_w^q = f_1(K_f)$ и $C_w^q = f_2(K_f)$ имеют вид упорядоченных алгебраических полиномов различных степеней используемого аргумента. Каждая пара указанных функций соответствует заданными граничными условиями контурного опирания пластинки рассматриваемого очертания. При этом сам аргумент K_f зависит только от геометрических параметров, определяющих её форму.

В качестве типовых очертаний пластинок приняты равнобедренные треугольники, ромбы и прямоугольники, для которых значения K_f рассчитываются по прямым аналитическим зависимостям.

Для пластинок в виде равнобедренных треугольников существует шесть различных комбинаций граничных условий в виде шарнирного опирания и жёсткого защемления по их отдельным сторонам, четыре из которых являются неоднородными. При смешанных граничных условиях на контуре указанных пластинок для параметров V_w^q и C_w^q строились по две различные аппроксимирующие функции в зависимости от величины угла α при основании равнобедренного треугольника. Если $\alpha < 60^\circ$, то основание является большей стороной треугольной пластинки, наоборот, если $\alpha > 60^\circ$, то основание является её меньшей стороной. При этом жёсткое защемление или шарнирное опирание основания определяют большую или меньшую жёсткость пластинки в целом, влияя на величину её максимального прогиба. Учитывая эту особенность, для каждого из параметров V_w^q и C_w^q построено по десять аппроксимирующих функций, отвечающих очертанию пластинок в виде равнобедренных треугольников.

Для пластинок в виде ромбов существует семь различных комбинаций граничных условий в виде шарнирного опирания и жёсткого защемления по их отдельным сторонам. Это число определяет количество различных аппроксимирующих функций для каждого вводимого параметра.

Для прямоугольных пластинок существует девять различных комбинаций граничных условий в виде шарнирного опирания и жёсткого защемления по их отдельным сторонам. Это число также определяет число построенных функций для каждого указанного параметра.

Расхождения значений прогибов пластинок типовых очертаний, вычисленных на основе построенных аппроксимирующих функций, со значениями тестовых решений для пластинок в виде равнобедренных треугольников не превысило 1,9 %; для ромбических пластинок составило не более 2,7 %; для пластинок прямоугольной формы оказалось менее 4,8 %.

Отмечено, что погрешности вычислений максимальных прогибов по построенным функциям возрастают для вытянутых треугольных и ромбических пластинок с характерными углами, имеющими значения менее 20 или более 85 градусов. Для пластинок прямоугольного очертания рост погрешности наблюдается при отношении длин заданных сторон более пяти.

Функциональные зависимости, установленные для пластинок типовых очертаний, в дальнейшем используются для получения опорных решений, предусмотренных МИКФ, при расчёте пластинок на упругом винклеровом основании, имеющих форму произвольных треугольников, параллелограммов и равнобоких трапеций. Программная реализация общей расчётной методики описана в работе [5].

Таким образом, построены аппроксимирующие функции для вычисления значений максимальных прогибов пластинок характерного вида и заданных граничных условий, лежащих на упругом винклеровом основании, от коэффициентов формы области, очерченной их контуром.

Список использованных источников

1. Коробко А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. М.: Издательство АСВ, 1999. 320 с.
2. Поли аГ., Сегё Г. Изопериметрические неравенства в математической физике. М.: Издательство КомКнига, 2006. 336 с.
3. Коробко В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода. М.: Издательство АСВ, 1997. 390 с.
4. Коробко В.И., Актуганов А.А. Применение метода интерполяции по коэффициенту формы к расчёту пластинок на упругом основании // Строительная механика и расчёт сооружений. 2014. № 1. С. 18-24.
5. Прокуров М.Ю. Программа расчета максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании методом интерполяции по коэффициенту формы // Строительная механика и расчёт сооружений. 2019. № 4. С. 37-46.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ТВЕРДЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В УСЛОВИЯХ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУР

Коробков С.В.¹, Абзаев А.А.², Гныря А.И.³

¹ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., доцент кафедры «Технология строительного производства, Россия, korobkov_1973@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», д.ф.-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», Россия, abzaev@tsuab.ru

³ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Технология строительного производства», Россия, tsp_tgasu@mail.ru

Ключевые слова: моделирование, портландцемент, твердение, градиенты температур

MODELING OF INITIAL PORTLAND CEMENT CURING UNDER THERMAL GRADIENT CONDITIONS

Korobkov S.V.¹, Abzaev Yu.A.², Gnyrya A.I.³

¹ Tomsk State University of Architecture and Building, PhD, Associate Professor of the Department of Technology of Construction Production, Russia, korobkov_1973@mail.ru

² Tomsk State University of Architecture and Building, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics, Russia, abzaev@tsuab.ru

³ Tomsk State University of Architecture and Building, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Construction Production, Russia, tsp_tgasu@mail.ru

Key words: modeling, portland cement, hardening, temperature gradients

Экспериментальное изучение твердения на основе совокупности переменных портландцемента как многоуровневой системы затруднительно. Необходимо привлечение модельного описания процессов затвердевания портландцементов [1, 2]. Моделирование в VCCTL позволяет оценить содержание основных продуктов гидратации, накопление прочностных характеристик в процессе твердения цементов. Однако эти расчеты производятся в изотермических условиях. Исследование накопления прочностных характеристик твердеющих портландцементов на ранней стадии предполагает учет процессов тепломассопереноса, эволюции физико-механических свойств массивного материала переменного состава. Модельное тестирование свойств портландцемента, как связующего, позволяет значительно сократить время, материалы, человеческие ресурсы при определении физико-химических свойств материалов.

Модель Wang развита на основе подробного описания экспериментальных закономерностей характеристик твердеющих портландцементов при комнатной температуре. За рамками модели оказались закономерности термического твердения цементов в условиях градиентов температур, которые формируются температурой укладки цементов, экзотермическими тепловыми процессами и температурой окружающей среды. Представляет научный интерес получение результатов моделирования термических напряжений Мизеса в портландцементных и их распределение в условиях градиентов температур в рамках модели Wang.

В работе рассматривается 2-D модель твердения портландцемента в течение 7-х дней (рис. 1). Рассматривалась смесь портландцемента с водоцементным отношением

равным $V/C = 0,40$. Расчеты термических напряжений проводились методом конечных элементов, оценки напряжений производились в упругой области. Размеры стержня портландцемента равны 7×70 см, стержень окружен опалубкой из сосны – 2×70 см (верхняя и нижняя части на рис. 1а). Температура левой грани стержня равна $+65$ °С, а правой – (-20) °С. Правая сторона была зафиксирована, предполагалось, что отсутствует теплообмен деревянной опалубки с окружающей средой. В начальный момент времени температура укладки цементного теста (цемент + вода) равна $T_{ref} = +20$ °С.



Рисунок 1 – Плоская модель стержня из цементного теста. Красным цветом указаны горизонтальные линии на высоте 5 и 7 см, вдоль которых вычислено распределение напряжений Мизеса

На графиках (рис. 2) приведены напряжения Мизеса, рассчитанные в зависимости от времени твердения.

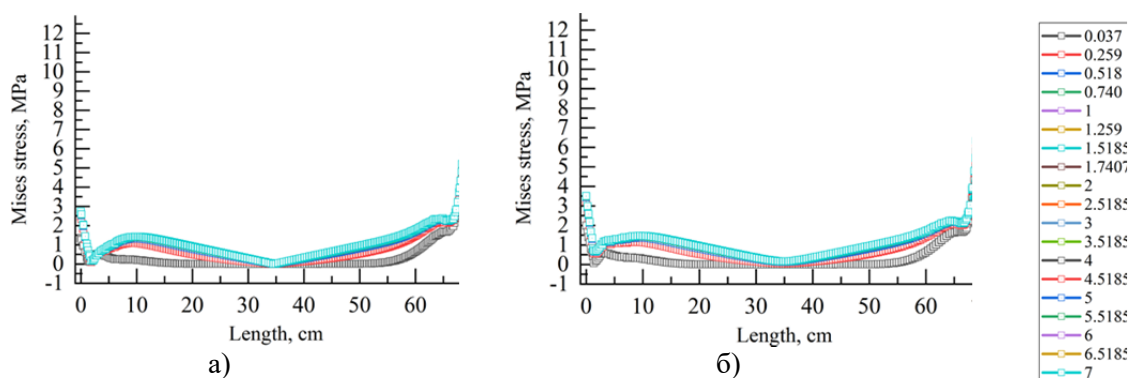


Рисунок 2 – Распределение напряжений Мизеса в стержне на высоте 7 см (а), на высоте 5 см (б) в зависимости от времени твердения. На вкладке приведена цветовая нумерация времени твердения. Нумерация соответствует 7 дням твердения.

В целом можно сказать, что численное моделирование твердения портландцементов в течение 7-х дней в условиях градиентов температур выявило сложную картину распределения температур и напряжений Мизеса. Обнаружено немонотонное распределение напряжений вдоль цементного стержня, на которое оказывает существенное влияние время твердения, градиенты температур, работа внутренних источников. Максимум напряжений Мизеса в условиях градиентов температур смещается в сторону положительных температур в массиве цемента, который больше в 2-2,5 раза минимальных напряжений.

Список использованных источников

1. Wang X.-Y. Simulation of temperature rises in hardening Portland cement concrete and fly ash blended concrete // Magazine of Concrete Research. 2013. 65(15). Pp. 930–941.
2. Abzaev Yu. A., Gnyrya A. I., Korobkov S. V. Lothenbach's Model of Von Mises Stress Distribution in Portland Cement in Curing and Temperature Gradient Conditions // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1079. 062001.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХЭТАЖНОГО КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА НА ОСНОВНОЕ СОЧЕТАНИЕ НАГРУЗОК

Кузнецов В.А.¹, Кузнецова Ю.И.², Ярцев В.П.³

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, kuznetsov_vladislav_andreevich@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистр, Россия, seregina-juliv@rambler.ru

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», советник РААСН, Россия, jarcev21@rambler.ru

Ключевые слова: каркасно-панельный дом, сочетание нагрузок, вертикальные связи, статический расчет

MODELING OF A TWO-STOREY FRAME-PANEL RESIDENTIAL BUILDING FOR THE BASIC COMBINATION OF LOADS

Kuznetsov V.A.¹, Kuznetsova Yu.I.², Yartsev V.P.³

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Graduate student of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, kuznetsov_vladislav_andreevich@mail.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Master, Russia, seregina-juliv@rambler.ru

³ Tambov State Technical University, Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures, Doctor of Technical Sciences, Russia, jarcev21@rambler.ru

Keywords: frame-panel house, combination of loads, vertical connections, static calculation

Проведен прочностной расчет двухэтажного, 4-х квартирного, каркасно-панельного, деревянного, жилого дома на основное сочетание нагрузок. Расчет проводился с помощью программного продукта «САД/САЕ Система автоматизированного расчета и проектирования конструкций для промышленного и гражданского строительства APM Civil Engineering 11 (Система APM Civil Engineering 11)»[1].

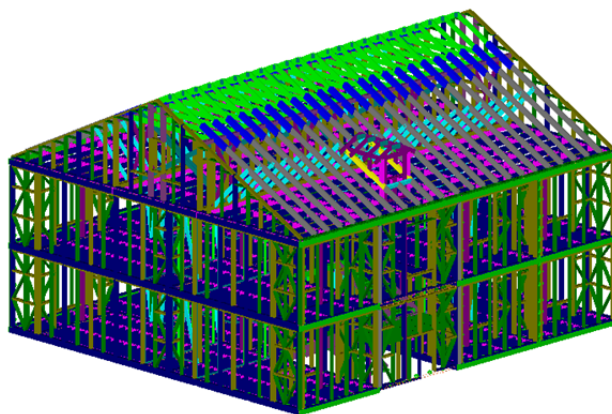


Рисунок 1 – Модель здания в APM Structure3D

К постоянным нагрузкам относится прежде всего собственный вес конструкции. Для учета собственного веса конструкции модели используется стандартная процедура задания «множителя собственного веса» в диалоговом окне «Загрузки».

Прочностной расчет и расчет устойчивости сооружения ведется на основное (до-

полнительное), состоящее из постоянных, длительных и кратковременных нагрузок.

Дополнительные сочетания нагрузок состоят из нагрузок, входящих в основные сочетания, с добавлением нагрузок от ветра.

Временные нагрузки с двумя нормативными значениями следует включать в сочетания как длительные - при учете пониженного нормативного значения, как кратковременные - при учете полного нормативного значения [2,3].

Статический расчет модели был выполнен в модуле расчета напряженно-деформированного состояния, устойчивости, собственных и вынужденных колебаний деталей и конструкций с использованием метода конечных элементов.

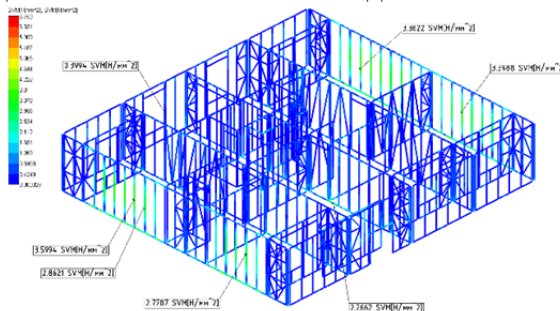


Рисунок 2 – Карта распределения эквивалентных напряжений

С целью оценки необходимости установки вертикальных связей в стеновых панелях из модели конструкции были исключены соответствующие элементы.

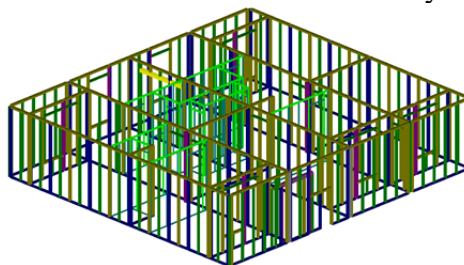


Рисунок 3 – Модель первого этажа без вертикальных связей стеновых панелей

Анализ, полученный результатов статического расчета конструкции жилого дома с учетом жесткости ЦСП, позволяет утвердительно ответить на вопрос о возможности исключения из конструкции дома вертикальных связей.

Устойчивость конструкции при отсутствии вертикальных связей заметно снижается. При учете жесткости ЦСП коэффициент запаса падает с величины 4.7 до 1.9. Без учета жесткости обшивки коэффициент запаса устойчивости снижается до величины 1.1. Однако данный факт не может ограничивать принятие конструктивного решения об исключении вертикальных связей, поскольку устойчивость конструкции в любом случае обеспечена.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р ИСО 9127-94 Документация пользователя и информация на упаковке потребительских программных пакетов
2. Кузнецов В.А., Ивашкина Е.Д., Ярцев В.П. Особенности расчета ветровой нагрузки двухэтажного каркасно-панельного здания (статья) // Кузнецов В.А. сб. научных трудов Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. – 18 февраля 2022 г. - Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2022. с. 51 – 57.
3. Ярцев В. П., Кузнецов В. А., Ивашкина Е. Д. Особенности расчета снеговой нагрузки двухэтажного каркасно-панельного здания (статья) // Ярцев В. П. Материалы IV-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 20-21 апреля 2022г. / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет". – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2022. с. 111 - 113.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОМПОЗИЦИИ ТОРГОВЫХ РЯДОВ

Кузнецова Н.В.¹, Левина Е.В.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., профессор кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, nata-kus@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрантка кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, levina77777@bk.ru

Ключевые слова: торговые ряды, композиционные решения, торговые модули, двухъярусная структура

USING MODELING TECHNIQUES IN THE COMPOSITION OF SHOPPING MALLS

Kuznetsova N.V.¹, Levina E.V.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of
Architecture and Urban Planning, Russia, nata-kus@mail.ru

² Tambov State Technical University, Master's student of the Department of Architecture and Urban
Planning, Russia, levina77777@bk.ru

Keywords: trading rows composite solutions, trading modules, two-tier structure

Торговые ряды – рынки – начали свое становление от античных агор и форумов. Композиционная структура рынков представлена несколькими типами: открытый регулярный, открытый нерегулярный, частично крытый, крытый. Объемно-планировочные решения основаны на совмещении функциональных характеристик с градостроительным положением: рынок-площадь, рынок-улица, рынок-каре, базиликальный рынок, двухъярусный рынок, двухъярусный рынок-гостиница. В России, начиная с XVII века, наибольшее распространение получили такие торговые комплексы, как торговые ряды и гостиные дворы [1].

Ячейки торговых рядов – модули – могут блокироваться различными способами, использовалось линейное расположение, однако самым популярным являлась ансамблевая замкнутая или полузамкнутая структура с внутренним двором.

Использование модульной конструкции торговых рядов позволяет моделировать композиции в соответствии с функциональной наполненностью и градостроительно-планировочными условиями [2].

Модульная конструкция коммерческого павильона позволяет формировать различные композиционные решения. Идентифицировано несколько методов объединения торговых модулей в павильон с точки зрения планировки: линейная блокировка модулей, объединение модулей вокруг грузового двора и блокировка вдоль пешеходного пассажа (рисунок 1).

В случае линейной блокировки модули взаимосвязаны по продольным сторонам, при этом их торговые помещения открываются на один фасад, а склады размещаются на противоположной стороне. Разгрузка продукции и доступ клиентов осуществляется непосредственно с улицы.

Второй композиционный прием основывается на блокировке модулей не водну, а в две полосы. Среди них, двор шириной 25-40 м, организованный для проезда грузо-

вых автомобилей и тяжеловесных транспортных средств, который перекрывается большепролетными конструкциями. Торговые помещения модулей находятся по внешнему периметру павильона, в то время как склады расположены по периметру грузового двора.

Следующий композиционный прием, усложненный, состоит в том, чтобы объединить торговые модули вдоль пешеходного пассажа. Как и во втором приеме, здесь происходит блокирование модулей двумя рядами, но при этом их торговые помещения располагаются друг напротив друга, а также между ними находится крытый пешеходный пассаж, достигающий в ширину 6 - 15 м, что достаточно для прохода покупателей и проездапогрузчиков.

Большая часть рынков представляет одноярусную объемно-планировочную структуру, но при сильной разнице в высотных отметках рельефа местности допускается двухъярусная блокировка модулей при модульной схеме.

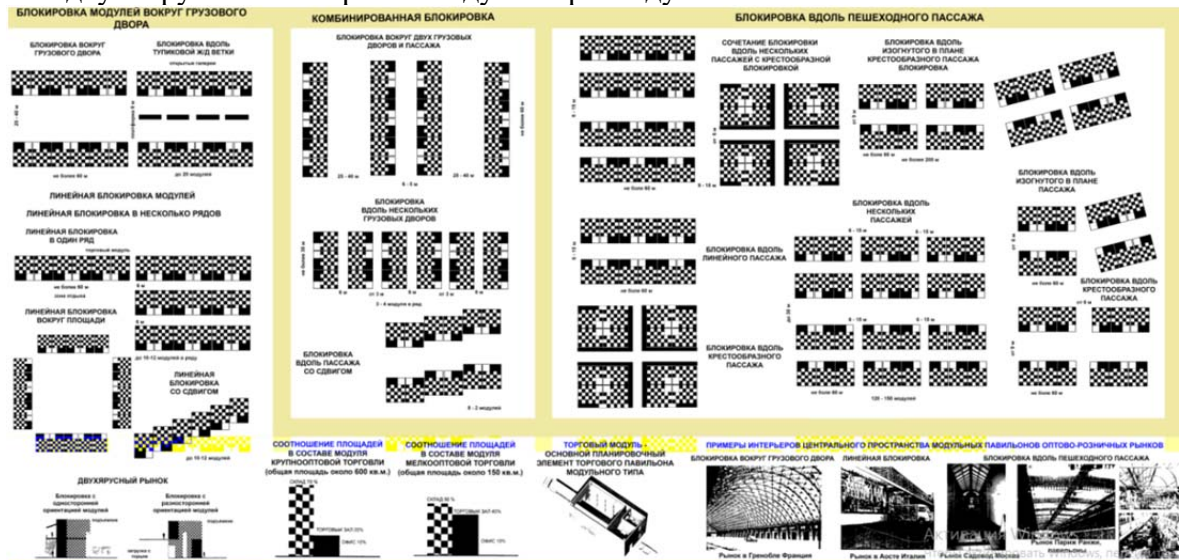


Рисунок 1 – Основные схемы объединения модулей в торговые ряды

В этом случае возможны 2 основные схемы:

- ориентация торговых модулей обоих ярусов одинакова, вход в модули второго уровня из галереи, который соединяется лестницами и пандусами. Необходимость галерей обуславливается созданием навеса над первым уровнем.
- торговые модули направлены на разные стороны, вход на обоих уровнях осуществляется с земли.

Кроме того, двухъярусная структура подходит павильонам мелкооптовой торговой деятельности с большим набором модулей. Поэтому, можно сделать вывод, что имеется три основополагающих метода объединения торговых модулей в торговый павильон по горизонтали и ряд композиционных решений на их основе.

Список использованных источников

1. Камочкин Г.А. Торговые пространства в русской архитектурной традиции // Ярославский педагогический вестник. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/torgovye-prostranstva-v-russkoy-arhitekturnoy-traditsii> (дата обращения: 10.03.2023).
2. Бредихина А.В. Исторические гостиные двory и торговые ряды. Возможности их реновации // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2020. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskie-gostinye-dvory-i-torgovye-ryady-vozmozhnosti-ih-renovatsii> (дата обращения: 10.03.2023).

МАЛОЭТАЖНАЯ ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЗАСТРОЙКА БОЛЬШОГО ГОРОДА КАК ОБЪЕКТ ЦИФРОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Куликов А.С.¹, Шуняев М.В.²

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», профессор кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, prokulikov@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистр кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, veter.shirot@yandex.ru

Ключевые слова: индивидуальная застройка, порайонная аналитика, мобильный инвентаризационный реестр, цифровой опорный план, конгломерация территории, параметрический проект планировки

LOW-RISE INDIVIDUAL DEVELOPMENT OF A LARGE CITY AS AN OBJECT OF DIGITAL DESIGN

Kulikov A.A.¹, Shuniaev M.V.²

¹Tambov State Technical University, Professor of the Department of Architecture and Town planning,
Russia, prokulikov@yandex.ru

²Tambov State Technical University, Master of the Department of Architecture and Town planning, Russia,
veter.shirot@yandex.ru

Keywords: individual development, district analysis, mobile inventory register, figures support plan
conglomerate of territory, parameter project of planning

Предпроектные исследования. Наш симпозиум проходит на Тамбовской земле. Поэтому проблемы общероссийской цифровизации архитектурно-строительного проектирования, компьютерного моделирования, целесообразно рассматривать с учётом тамбовской практики. Но прежде всего, хотелось обратить внимание на некоторые, казалось бы мелкие, но весьма жизненные, проблемы. Одна из них – малоэтажная индивидуальная застройка в больших и крупных городах.

В любом генеральном плане города предусматривается так называемый частный сектор. Это территория либо сохраняемой малоэтажной застройки, либо новые территории индивидуального строительства. Удельный вес этих территорий в общем балансе даже для больших и крупных городов внушительный. Составляет он 15-20 процентов. Например, при общей городской территории Тамбова 9132 га генеральным планом города выделяется под малоэтажную жилую застройку 1562 га, то есть более 17 процентов. Эти территории имеются во всех районах города, но их размеры очень разные: от 5 до 50 га. В Тамбове в трёх районах их насчитывается более семидесяти (крупных). Несмотря на низкую плотность населения (40-50 человек/га), они являются важным элементом планировочной структуры города.

Другая важнейшая, видимо неразрешимая, проблема – это так называемая заявочная форма получения разрешения на строительство индивидуального жилого дома. Каждый застройщик – сам себе архитектор. В частном секторе процветает «народная архитектура». Каких только нет надстроек, пристроек, самоделок. О какой красоте архитектуры кварталов индивидуальной застройки можно рассуждать? К тому же эта проблема породила неизбежные негативные последствия для практикующих архитекторов – потерю солидного объёма заказов! Очевидно, архитектурному сообществу следует попытаться изменить сложившийся порядок.

Целью настоящей работы является разработка новых форм и методов архитектурно-градостроительного проектирования малоэтажной усадебной застройки на основе научных исследований, связанных с цифровизацией творческой деятельности.

В этой связи необходимо решить следующие задачи:

1. Оптимизировать состав и объём предпроектных исследований;
2. Сформулировать понятия «индивидуальное жилищное строительство» и «малоэтажная жилая застройка» в связи с отсутствием их в Градостроительном кодексе РФ;
3. Определить форму мобильного инвентаризационного реестра;
4. Разработать форму цифрового опорного плана и его состав;
5. Сформулировать основные принципы конгломерации территории и среды обитания индивидуальных застройщиков;
6. Создать методику разработки параметрического проекта планировки и застройки на основе цифровых технологий с определением допустимых пределов свободы вариантов конгломерации территории;
7. Определить основные инфраструктурные параметры и нормативы территорий индивидуальной застройки: социальные, инженерные и градостроительные.

Разработке проекта реконструкции или реновации существующей индивидуальной застройки с применением цифровых технологий предшествуют оцифрованные предпроектные материалы, в состав которых входит краткая пояснительная записка, мобильный инвентаризационный реестр и цифровой опорный план.

В пояснительной записке необходимо привести исторические, природно-климатические, геологические, ландшафтные сведения, численность населения, инфраструктуру, состояние улично-дорожной сети и другие необходимые для проектирования данные.

Мобильный инвентаризационный реестр должен содержать подробные сведения о каждом приусадебном участке и его жителях: площадь и размеры участка, данные о жилых и хозяйственных сооружениях, возрастном и половом составе, плодово-ягодных насаждениях, классификации застройки по местонахождению, комфортности.

Цифровой опорный план – основа, с помощью которой разрабатывается проект планировки и застройки. Для его составления необходимо оцифровать данные мониторинга о статусе участков в органах Государственного реестра недвижимости. Территория, подлежащая разработке, может содержать участки различных категорий: находящиеся в частной собственности (приватизированные), арендованные, бесхозные, муниципальные и другие. «Лоскутные», пёстрые по своему статусу территории – характерная черта частного сектора. По – существу, это архитектурно-планировочный и правовой «конгломерат». Однако термин «конгломерация» означает не просто сложившееся состояние территории индивидуальной застройки, но в большей степени – вариантность её реконструкции, гармонизации и благоустройства. Чтобы получить цифровой опорный план высокого качества, следует максимально использовать материалы космической съёмки, беспилотные летательные аппараты и обследование территории в натуре.

Разработка параметрического проекта. Параметрические технологии – ведущее направление в градостроительстве будущего. Поэтому разработка методики параметрического проектирования территории, в том числе индивидуального сектора, является актуальной для российской градостроительной теории и практики.

Технология сетей – основа параметрической архитектуры. Из набора точек с определёнными координатами создаётся необходимая форма, потому что именно

форма и есть точная запись её точек. При этом полученная сетка далее может преобразовываться с помощью вытяжения, и сгибания или вдавливания.

Очень важно, что технология сетей даёт возможность методами параметрии, активно работать архитектору-проектировщику, не имеющему опыта программирования, и получать положительные творческие результаты проектирования.

Работая с формой в объёмной архитектурной или планировочной градостроительной сфере, архитектор в режиме реального времени вносит нужные параметры и получает на экране компьютера математическую (параметрическую) модель объекта.

Основной технологией, среди всех других, которая позволяет активно преобразовывать форму через составляющие её точки, является система NURBS – моделирование [1].

Конгломерация – не просто термин, это понятие, имеющее важное практическое значение. В связи с тем, что территории индивидуальной застройки развиваются в какой-то степени стихийно, требуется вариабельность планировочных решений, гибкость и изменяемость во времени. Необходим так называемый вероятностный проект, стратегический проект, являющийся программой движения в заданном направлении.

Академик архитектуры Гутнов А.Э. утверждал: «Чем более гибким, изменяемым во времени мы стремимся сделать объект, тем меньше область однозначного определения его параметров в проекте. Чем больше резервы адаптации, гибкого приспособления к меняющимся потребностям мы стремимся сообщить объекту на стадии проектирования, тем больше область неопределённости проекта, тем ниже, говоря условно, его разрешающая способность, тем в меньшей степени он является описанием искомого результата» [2].

Возможный состав параметрического проекта планировки:

1. Ситуационный план;
2. Цифровой опорный план;
3. План красных линий с ведомостью координат;
4. Вероятностный проект планировки в виде трёх-четырёх чертежей;
5. Сводный чертёж инженерных коммуникаций;
6. Схема улично-дорожной сети и передвижения пешеходов с поперечными профилями улиц;
7. Пояснительная записка.

Список использованных источников

1. Куликов А.С., Бурлов А.В. Технология сетей как метод параметрического проектирования. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции Устойчивое развитие региона: Архитектура, строительство и транспорт. Тамбов, 20-22 сент. 2021 г., Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2021.С. 305-309.
2. Гутнов А.Э. Города и люди. Избранные труды. М.: МП «Ладья», 1993. 320 с.

ОТ КОММУНЫ К КОЛИВИНГУ. В ПОИСКАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ЖИЗНИ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Леденева Г.Л.¹

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к. арх., проф. кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, Ledeneva27@yandex.ru

Ключевые слова: коммуна, кооперация, общественное пространство, среда жизнедеятельности, цифровизация

FROM COMMUNE TO KOLIVING. IN SEARCH OF THE OPTIMAL SPACE FOR LIVING IN THE ERA OF DIGITALIZATION

Ledeneva G.L.¹

¹Tambov State Technical University, Candidate of Architecture, Professor of the Department of Architecture and Urban Planning, Russia, Ledeneva27@yandex.ru

Keywords: commune, cooperation, public space, living environment, digitalization.

С развитием цифровых технологий меняются форматы жизни, а вместе с ними и само пространство жизнедеятельности [1]. Расширяется система координат – мест, в которых человек вынужден (хотел бы) обосноваться или же провести какое-то время. Мобильность поощряется на уровне государства. Современный человек в меньшей степени «привязан» к месту. Мировая пандемия ускорила этот процесс.

В новых условиях меняются требования к самой среде – ее параметры, характеристики, состав и проч. Формируются новые социальные программы, на которые архитектор ищет ответ.

Тенденция к кооперации, оптимизации ресурсов вызвала к жизни так называемый «коливинг» - тип сообщества, предоставляющий формат совместного проживания для людей с общими намерениями. Опыт кооперации накапливался с доисторических времен и опробован в форматах фаланстеров, кабуцы, домов-коммун, кино-вий и проч. В одних случаях основой для совместного проживания становилась общая деятельность, в других – идеология, коллективное домовладение, религиозные убеждения, интерес.

На территории Тамбовской области есть пример уникального поселения, признанного в свое время образцом – I сельскохозяйственная Коммуна из Америки, более известная как Ирская коммуна. Это был «волнующий эксперимент», посмотреть на который приезжал Б. Шоу, семейство Астор, многочисленные делегации, состоящие из американских сенаторов, публицистов, ученых [2]. Опыт организации жизни в коммуне широко освещался в литературе, кинолентах, начиная с 30-х годов и мог оказать влияние на формирование в дальнейшем идеи соцгорода, ее дезурбанистической ветви [3].

Цифровизация меняет современный город. Часть его опций уходит за границы проблемных территорий туда, где сообщества могут вернуться к мысли реализации дезурбанистических идей.

Список использованных источников

1. Россия 2050: Утопии и прогнозы/ 2-е изд.- М. : Новое издательство, 2021.- 600 с.
2. Ленинским курсом : (Сборник документов по истории ордена "Знак Почета" колхоза им. В.И. Ленина Кирсанов. района Тамб. обл.) / [Под ред. канд. экон. наук О. К. Сазоновой] ; [Предисл. канд. ист. наук Н. Окатова] ; Парт. архив Тамб. обкома КПСС. Гос. архив Тамб. обл. - 2-е изд., дораб. и доп. - Воронеж : Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1970. - 342 с.
3. Буденшатц Х., Пост К. Градостроительство в тени Сталина. Мир в поисках социалистического города в СССР/ Буденшатц Х., Пост К. - М. : КНАУФ, 2015. - 252 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ СЛОЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Макая Лионель Мавунгу¹, Зубков А.Ф.², Андрианов К.А.³

¹ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, gsiad_tambov@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, afzubkov2013@yandex.ru

³ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент,
зав. кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги», Россия, konst-68@yandex.ru

Ключевые слова: математическая модель, асфальтогранулобетонная смесь, деформация

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF COMPACTION PROCESSES ROAD LAYER

Makaya Lionel Mavungu¹, Zubkov A.F.², Andrianov K.A.³

¹ Tambov State Technical University, PhD student of the Department urban construction and roads,
Russia, gsiad_tambov@mail.ru

² Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department urban
construction and roads, Russia, afzubkov2013@yandex.ru

³ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the
Department urban construction and roads, Russia, , konst-68@yandex.ru

Key words: mathematical model, asphalt-granular concrete mixture, deformation

Заключительным этапом устройства дорожных одежд является процесс уплотнения слоя материала. Эффективность его уплотнения зависит от параметров уплотняющей машины и свойств уплотняемого материала. Под рабочим органом уплотняющей машины в слое материала возникают деформации (упругие, вязкие и пластические), величина которых зависит от параметров машины и свойств уплотняемого материала. Процесс уплотнения слоя материала можно представить в виде реологической модели, в которой устанавливается связь между силовыми и кинематическими параметрами, описываемыми математическими уравнениями, характеризующими состояние уплотняемого слоя [1-3]. Постоянные, входящие в реологические уравнения (модуль упругости, коэффициент вязкости и коэффициент жесткости), являются реологическими характеристиками уплотняемого материала, которые определяются на основании экспериментальных данных. Реологическая модель уплотнения слоя материала представлена на рис. 1.

Под действием нагрузки от уплотняющей машины в зоне контакта с материалом возникают напряжения, за счет которых возникает деформация слоя уплотняемого материала. Невесомая пробка (3) перемещается вместе с площадкой (2) и моделирует остаточную деформацию материала при действии нагрузки. Пробка (3) перемещается вместе с площадкой (2) вниз с условием, что $X_1 - X_2 = 0$. Перемещение площадки совместно с рабочим органом машины в пределах пробки моделирует упругую деформацию слоя материала. Скорость перемещения площадки определяется скоростью перемещения рабочего органа машины в вертикальной плоскости. Из представленной на рис. 1 реологической модели видно, что развитие деформации слоя материала зависит от свойств уплотняемого материала, которые характеризуются гранулометрическим составом, ко-

эффицентами жесткости, вязкости и модулем упругости.

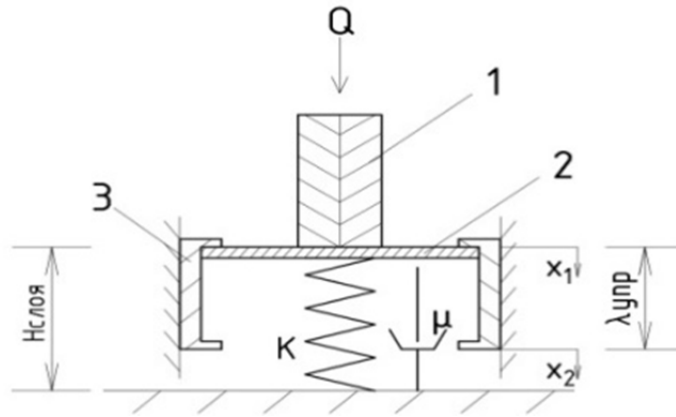


Рисунок 1 – Реологическая модель уплотнения слоя асфальтогранулобетонной смеси: 1-рабочий орган уплотняющей машины; 2-поверхность уплотняемой смеси; 3- невесомая пробка. Q - сила тяжести, передаваемая от транспортного средства на шину, кН; K_1 – коэффициент жесткости (коэффициент упругости) материала, Н/мм; η –коэффициент вязкого сопротивления (модуль вязкости), Нс/мм; $\lambda_{упр}$ – деформация (перемещение невесомой пробки), характеризующая упругую деформацию материала, мм; X_1 – перемещение поверхности покрытия выбоины под действием нагрузки, мм; X_2 – перемещение пробки, характеризующее остаточную деформацию или воздействие на материал вибрационной плиты, мм

Для применения данной реологической модели к процессу устройства дорожных одежд с использованием асфальтогранулобетонной смеси проведены исследования, в результате которых установлены реологические характеристики для слоев с разной толщиной асфальтогранулобетонной смеси при разном содержании битумной эмульсии и цемента. Установлено влияние нагрузки и свойств смеси на деформацию при разной толщине слоя дорожной одежды. Представленная реологическая модель, описываемая математическими уравнениями, позволяет установить влияние свойств уплотняемого материала и параметров уплотняющей нагрузки на развитие деформаций, от которых зависит качество уплотнения слоя.

Для исследования влияния характеристик уплотняемого материала и параметров уплотняющей нагрузки на развитие деформаций в слое материала использована программа для ЭВМ [4], позволяющая моделировать влияние свойств материала и параметров нагрузки на развитие деформаций в уплотняемом материале. В качестве примера на рис.2 представлены результаты расчета деформации асфальтогранулобетонной смеси при действии вибрационного вальца за один цикл нагрузки.

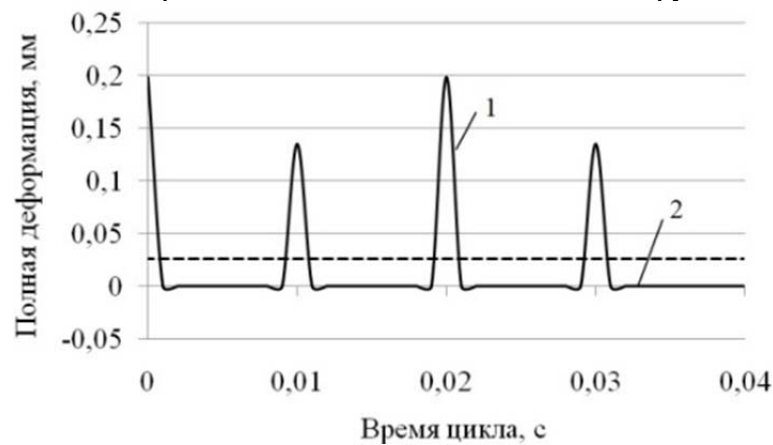


Рисунок 2 – Величина деформации слоя материала при уплотнении вибрационным вальцом за период одного цикла нагрузки: 1- полная деформация; 2- упругая деформация

По результатам проведенных исследований установлено:

- достигаемая плотность слоя материала в процессе уплотнения зависит от деформации слоя материала под действием приложенной нагрузки;
- величина деформации слоя материала зависит от действующей нагрузки, свойств уплотняемого материала и конструктивных параметров слоя;
- получены реологические характеристики асфальтогранулобенной смеси с добавками битумной эмульсии и цемента при разной толщине слоя;
- предложенная реологическая модель с учетом полученных экспериментальных данных позволяет разработать технологию устройства дорожных одежд с применением асфальтогранулобетонной смеси.

Список использованных источников

1. *Зубков, А.Ф.* Технология строительства и ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с учетом температурных режимов асфальтобетонных смесей / *А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, А.И. Антонов, В.Г. Однолько* // Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. - 300с.
2. *Зарапина, Л.С.* Влияние свойств материала, получаемого при холодном фрезеровании покрытий нежесткого типа, на деформацию слоя при устройстве дорожной одежды / *Л.С.Зарапина, К.А.Андрианов, А.Ф.Зубков* // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 1 (65). С. 85-95.
3. *Абанкин, А.А.* Влияние параметров уплотняемого слоя из асфальтогранулята на его прочностные характеристики / *А.А. Абанкин, Л.М. Макаря, А.Ф. Зубков* // В сборнике: Современная наука: теория, методология, практика. Материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции. 2022. С. 146-149.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2017663676. Расчет деформаций материала при действии динамической нагрузки / *М.Э.Пилецкий, А.Ф.Зубков, К.А. Андрианов, А.М. Макаров* – Заявка №2017660697; дата поступления 23.10.2017; зарегистрирована 08.12.2017г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ГРУНТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТАЦИИ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Мерзлякова А.Д.¹, Нестеров И.В.²

¹ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», старший преподаватель кафедры «Системы автоматизированного проектирования», Россия, *merzlyakova.aleksandra@inbox.ru*

² ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», Россия, *saprforever@gmail.com*

Ключевые слова: геотехнические расчёты, метод конечных элементов, густота сетки, массив грунта, адаптивные модели, упруго-пластическая стадия

SIMULATION OF INTERACTION OF ENGINEERING FACILITIES WITH SOIL USING FINITE ELEMENT MESH ADAPTATION

Merzliakova A.D.¹, Nesterov I.V.²

¹ Russian university of transport (MIIT), senior lector, of the Department of Computer aided design, Russia, *merzlyakova.aleksandra@inbox.ru*

² Russian university of transport (MIIT), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer aided design, Russia, *saprforever@gmail.com*

Key words: geotechnical calculations, finite element method, mesh density, soil mass, adaptive models, elastic-plastic stage

Результаты решения прикладных инженерных задач по методу конечных элементов (МКЭ) [1,2,3] зависят от густоты сетки конечных элементов. Методы адаптации сеток конечных элементов позволяют управлять точностью КЭ-аппроксимации, используя шаговые процедуры дискретизации КЭ-модели. При решении задач геотехники применение адаптивных алгоритмов изменения густоты сетки наиболее эффективно для расчётов в физически-нелинейной постановке. Проведены исследования по влиянию густоты сетки на результаты КЭ-анализа грунтовых сред в линейной и нелинейной постановке и разработаны программные модули, реализующие МКЭ на адаптивных сетках для геотехнических расчётов.

Для прочностного анализа инженерных сооружений наиболее удобным для практической реализации на ЭВМ является метод конечных элементов (МКЭ) [1,2,3]. На математической базе этого метода создано большое количество прикладных программ для расчётов на прочность. МКЭ – это численный метод решения задач математической физики, поэтому точность решения в нём зависит от густоты сетки конечных элементов [3]. Ручная корректировка густоты сетки, даже при наличии модулей генерации дискретных моделей МКЭ, процедура достаточно трудоёмкая, поэтому в последнее время широкое развитие получили методы автоматической адаптации сеток конечных элементов. Многие, достаточно популярные среди инженеров программы, оснащены программными блоками адаптации сетки КЭ. Некоторые промышленные системы прочностного анализа включают в себя блоки адаптивной генерации КЭ сеток.

Наиболее популярные методы адаптации: адаптация, адаптация с функцией градиента сгущение сетки, раадаптация, храадаптация.

Грунт – среда природная, поэтому погрешности расчета возникают уже на этапе определения физико-механических характеристик. При КЭ анализе грунтовых сред по гипотезе упругого полупространства, густота сетки незначительно влияет на точность расчета. Густота сетки оказывает влияние только при расчетах в физически-нелинейной постановке. В упругой постановке выполнять адаптацию не имеет смысла.

Обратим внимание на методику выбора критерия сгущения сетки.[4] Для решения задач линейной теории упругости часто используют критерий корректировки шага сетки по градиенту удельной потенциальной энергии деформации.

Для решения задач геотехники подходит критерий – градиент модуля сдвига, т.к. разрушение грунта происходит преимущественно от сдвиговых деформаций. При распределении потенциальной энергии деформации в углах получаются концентраторы. Адаптивный модуль построил сетку, который сгущает сетку в местах высоких градиентов потенциальной энергии деформации. Если учесть в грунтах нелинейность, то поверхность сгущения должна быть ориентирована на границу зоны пластических деформаций и стратегия сгущения сетки должна быть другая. Для шаговой функции лучше использовать модуль сдвига, который пересчитывается по ходу работы алгоритма метода секущих модулей [5] (сгущение производится по градиенту модуля сдвига). С использованием математической модели анализа градиента модуля сдвига был построен программный блок адаптивного сгущения сетки.

В статье рассматривается построение новой сетки на примере решения тестовой задачи. Решалась задача давления штампа на грунт. На первом этапе генерируется конечно-элементная сетка. Было выполнено два расчета: упругий и упруго-пластический и произведено сравнение полученных результатов. На редкой сетке разница между расчетами в упругой и упруго-пластической стадии составила 1.5%. Затем по зоне пластических деформаций была сгенерирована адаптивная сетка, которая сгущается в местах высоких градиентов модуля сдвига. Здесь разница составляет уже 14%. Далее было выполнено еще несколько шагов сгущения сетки. По результатам мы получили, изменение густоты сетки в упругой стадии незначительно влияет на точность расчета. Густота сетки серьезно влияет на расчеты грунтов в упруго-пластической стадии. При выполнении геотехнических расчётов с учётом упруго-пластических деформаций, необходимо внимательно относиться к густоте сетки, особенно при исследованиях напряжённо-деформированного состояния грунта на границе предельного равновесия.

Список использованных источников

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. *Дарков А.В., Шапошников Н.Н.*, Строительная механика: Учеб.для строи. спец вузов. - М.: Высш. Шк., 1986. – 607 с.
3. *Галлагер Р.* Метод конечных элементов. Основы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
4. *Лебедев, А.С., Лисейкин, В.Д., Хакимзянов, Г.С.* Разработка методов построения адаптивных сеток. // Вычислительные технологии. – 2002. Т.7. №3. С.29.
5. *Нестеров И.В., Мерзлякова А.Д.* Особенности формирования адаптивных сеток МКЭ для решения задач геотехники. // Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред. 2021. С. 356-361.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ УЧАСТКОВ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ

Парыгин Д.С.¹, Ясенецкий А.В.², Феклистов В.А.³

¹ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», к.т.н., в.н.с., заведующий кафедрой «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, dparygin@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», студент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, takeeuq@gmail.com

³ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», студент кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Россия, feklistov0v0ist20@gmail.com

Ключевые слова: цифровая модель, Unreal Engine, симуляция процессов, городская территория

DEVELOPMENT OF DIGITAL MODELS OF URBAN SPACE SECTIONS USING MODERN GAME ENGINES

Parygin D.S.¹, Yasenetsky A.V.², Feklistov V.A.³

¹Volgograd State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Head of Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, Russia, dparygin@gmail.com

²Volgograd State Technical University, Student of the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, Russia, takeeuq@gmail.com

³Volgograd State Technical University, Student of the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, Russia, feklistov0v0ist20@gmail.com

Key words: digital model, Unreal Engine, process simulation, urban area

Современное проектирование застройки вышло за пределы исключительно специализированного инструментария для решения спектра задач от предпроектных исследований до работы с моделью вновь создаваемых объектов [1, 2]. При этом создаваемые модели, это не только информационные базы, но и средства проверки проектируемых объектов на предмет их способности выполнять заявленные функции [3].

Появляется возможность провести моделирование различных ситуаций связанных с эксплуатацией объекта строительства, включая симуляцию внутренних процессов и взаимосвязей с окружающей городской средой. Для этих целей могут быть использованы такие информационные системы как Lumion, Unreal Engine, Unity. У каждого из продуктов есть свои преимущества применения и определенные системные требования для их работы [4, 5].

В рамках продолжающегося исследования по созданию информационного обеспечения задач комплексного развития урбанизированных территорий выполнялся очередной этап разработки подхода к построению цифровых моделей участков городского пространства. В ходе предшествующих исследований была рассмотрена возможность использования среды Unity для создания симуляции 3D-модели городского квартала на примере территории образовательного кампуса (модель создавалась в Blender) [6]. В текущей итерации был скорректирован как способ подготовки трехмерной модели, для

чего был использован программный пакет ArchiCAD, так и среда для создания симуляции, в качестве которой выступил движок Unreal Engine. Игровой движок Unreal Engine позволяет использовать трехмерную визуализацию архитектуры. Данные способы осуществляются встроенными функциями движка, а основные модели экспортируются извне. Помимо визуализации готовых объектов Unreal Engine позволяет создавать особые сценарии поведения для объектов внутри модели, в конечном итоге предоставляя пользователю возможность взаимодействовать с окружением.

Во время разработки модели были предприняты действия по ручному изменению некоторых объектов в связи с неровностью поверхности земли в реальном мире. Для исходной модели уже в среде Unreal Engine была сделана доработка по позиционированию и отлажены маршруты передвижения искусственного интеллекта.

Для работы с фасадами и сложными деталями кампусов по-прежнему был использован инструментарий приложения Blender, в котором проводилась доработка и увеличение четкости, путем скульптинга деталей фасада с их размножением, добавлением индивидуальных отличий (выветривание кирпичей, потеки на наружных стенах от кондиционера). Это позволит добавить фотореалистичность модели и оценить изменение состояния зданий после продолжительной эксплуатации.

Воссоздание специфических объектов потребовало использование детальных фотографий и технологии Lidar для их уточнения. Созданию росписей стен и барельефов из-за их размеров и сложности освещения потребовало дополнительной доработки моделей и их преобразования в плоские текстуры.

Приложение Blender 3D также было использовано для создания моделей деревьев и кустов. С его встроенным функционалом была реализована окружающая растительность в разные сезоны времени года.

Функционал моделируемого пространства позволяет перемещаться по строениям квартала. Также в возможности пользователя входит изменение погодных условий и времен года с учетом месяцев – в зависимости от этого будет меняться окружение и взаимодействия неигровых персонажей, а также трафик на дорогах. Реализована возможность динамической смены времени суток. С данным функционалом можно просматривать модель при наиболее частых случаях погоды.

В модели кампуса были реализованы специальные модели окружающей обстановки и растительности (деревья, кусты, цветы). Кроме непосредственно зданий и сооружений были добавлены модели транспортных средств различных типов и реализовано их поведение на дороге; создана рабочая модель светофора. Для перемещения машин по дорогам и взаимодействием со светофорами был реализован особый алгоритм с контрольными точками, по которым внутри движка строятся маршруты перемещения и остановок. Для расположенных на территории кампуса памятников была реализована специальная модель с возможностью увеличения текста.

Исследуемый подход к созданию среды для проведения экспериментов по оценке функционала и организации городского пространства основан на классических подходах к разработке точных трехмерных моделей объектов застройки и территорий, а также информационных моделей зданий. Однако применение современных игровых движков для визуализации и симуляции процессов, которые могут протекать на изучаемом участке города, позволяет перейти на качественно новый уровень исследования соотношения взаимосвязанных структур и событий. Динамические модели такого качества, основанные на вариативных сценариях поведения интеллектуальных агентов, могут быть платформой для оценки и совершенствования среды жизнедеятельности людей в условиях городской застройки в целом, и в частности с точки зрения сенсорной экологии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>. Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре "Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве" ИАиС ВолГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

Список использованных источников

1. Шемякина Т.Ю. Информационное моделирование строительных объектов: особенности применения и развития. Вестник ГУУ. 2020. № 7. С. 89–95.
2. Doukari O., Seck B., Greenwood D., Feng H., Kassem M. Towards an Interoperable Approach for Modelling and Managing Smart Building Data: The Case of the CESI Smart Building Demonstrator. Buildings. 2022. № 12. С. 362.
3. Micolier A., Taillandier F., Taillandier P., Bos F. Li-BIM, an agent-based approach to simulate occupant-building interaction from the Building-Information Modelling. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2019. № 82. С. 44–59.
4. Revit and IFC in Unreal Engine, Unity, Oculus. 2022. URL: <https://opendatabim.io/index.php/revit-and-ifc-in-unreal-engine-unity-oculus-visualization-rendering-metaverse-game-design/>
5. Susi J. Interactive Architectural Visualization Using Unreal Engine. 2022. URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/744685/Susi_Jaakko.pdf?sequence=2&isAllowed=y
6. Щербаков А.Г., Парыгин Д.С., Саушкин Д.А., Шиганов Р.Я., Горлов Д.А. Создание цифрового двойника образовательного кампуса на этапе эксплуатации: перспективы применения. Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2022. № 6 (61). С. 30–34.

К ВОПРОСУ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ИНДЕКСОВ КОМФОРТА МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Петров А.С.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н., доцент кафедры «Архитектура», Россия, ruarty@mail.ru*

Ключевые слова: индекс теплового комфорта, естественная освещенность, инсоляция, параметрическое проектирование, визуальное программирование

TO THE QUESTION OF ARCHITECTURAL DESIGN OF BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE COMFORT INDICES BY THE METHOD OF COMPUTER SIMULATION

Petrov A.S.¹

¹ *Kazan State University of Architecture and Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture, Russia, ruarty@mail.ru*

Key words: thermal comfort index, daylight factor, insolation, parametric design, visual programming

Согласно федеральному закону № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (статьи 20-29) к зданиям предъявляются требования к инсоляции и солнцезащите, освещению, защите от шума, микроклимату помещений и т.д. Данные требования можно отнести к показателям комфорта в помещениях зданий различного назначения. Анализ действующих стандартных методов расчета соответствующих позиций позволил установить, что достижение этих требований выполняется без проверки их взаимовлияния в годовом цикле эксплуатации. На текущий момент в нормативной литературе отсутствует расчетный показатель, обобщающий перечисленные требования в виде единого итогового уровня комфорта помещений зданий.

В исследовании приведены натурные измерения параметров микроклимата нескольких жилых помещений и общественного помещения в течение года, которые позволили установить характерные периоды дискомфорта, их длительность и причины, рисунок 1.

Результаты натурального исследования сопоставлены с расчетными величинами, которые получены путем компьютерного моделирования. Показано, что использование метода моделирования на основе визуального программирования позволяет прогнозировать длительность дискомфорта в помещении и их периоды в годовом цикле эксплуатации в зависимости от конструктивных, теплотехнических, объемно-планировочных и других параметров здания, а также особенностей климата региона строительства. Такой подход позволяет перейти к параметрическому проектированию зданий с целью минимизации длительности дискомфорта в помещениях в течение года.

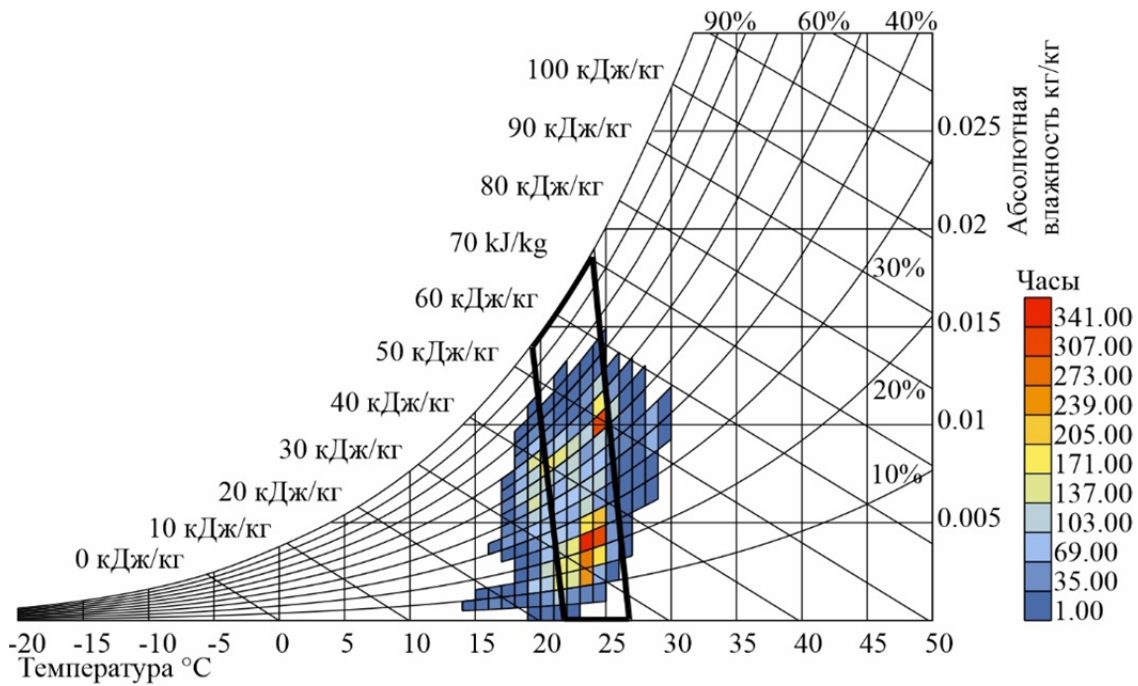


Рисунок 1 – Психрометрическая диаграмма длительности комфорта в общественном помещении, полученная по натурным измерениям в течение года. Черным полигоном отмечена зона комфорта

Значимость полученных результатов для архитектурно-строительной отрасли состоит в разработке единого показателя комфорта помещений, который позволяет методом параметрического проектирования зданий обеспечить минимизацию периодов дискомфорта на годовом периоде эксплуатации.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОДСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ ОДНОСВЯЗНЫХ, ПЛОСКИХ ОБЛАСТЕЙ С ВЫПУКЛЫМ КРИВОЛИНЕЙНЫМ КОНТУРОМ

Прокуров М.Ю.¹

¹*ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции», Россия, m.prokuroff@mail.ru*

Ключевые слова: односвязная плоская область, выпуклый криволинейный контур, коэффициент формы, алгоритм, программа

AUTOMATED CALCULATION OF THE SHAPE FACTOR OF SIMPLY CONNECTED FLAT AREAS WITH A CONVEX CURVED CONTOUR

Prokurov M.Yu.¹

¹*Bryansk State Engineering and Technological University, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Building Structures, Russia, m.prokuroff@mail.ru*

Key words: simply connected flat area, convex curved contour, shape factor, algorithm, program

В работах [1-3] теоретически доказано, что безразмерная интегральная характеристика плоской односвязной замкнутой области – коэффициент формы, является геометрическим аналогом ряда критериальных физических параметров в двумерных задачах теории упругости для пластинок и мембран: максимальный прогиб при поперечном изгибе; основная частота свободных колебаний; критическая сила в задачах устойчивости; разрушающая нагрузка для пластинок, находящихся в состоянии предельного равновесия; приведенная геометрическая жёсткость в задаче упругого кручения призматических стержней. Перечисленные задачи описываются дифференциальными уравнениями эллиптического типа второго и четвёртого порядков, что имеет геометрическую аналогию с указанной геометрической характеристикой [2].

В ряде инженерных задач, связанных с расчётом выпуклых пластинок и мембран, приходится сталкиваться с наличием у них криволинейно очерченного контура. Применительно к подсчёту коэффициента формы все возможные криволинейные области можно классифицировать следующим образом:

1) *Типичные формы областей, для которых возможно непосредственное вычисление значений коэффициентов формы.* К ним относится ограниченное число достаточно распространённых плоских областей, для которых возможно вычисление коэффициента формы по конечным формулам: произвольный эллипс, включая окружность; симметричная круговая луночка, представляющая собой пересечение двух дуг окружностей одинакового радиуса; оваллоид, представляющий собой комбинацию двух частей круга и прямоугольника.

2) *Типичные формы областей, для которых вычисление значений коэффициентов формы требует проведения итерационного поиска минимального значения.* К этой категории относится, например, очертание в виде несимметричной круговой луночки, представляющей собой пересечение двух дуг окружностей различного радиуса. С учётом специфики геометрии получаемой фигуры возможно построение частного итерационного алгоритма для вычисления значения искомого коэффициента формы для области, ограниченной её контуром.

3) *Нетипичные (произвольные заданные) выпуклые области с криволинейным контуром.* Контурные дуги таких областей могут описываться функциональными выражениями различного вида. Условия задания этих функций и их предполагаемое многообразие значительно усложняют задачу формализации подсчёта коэффициентов формы указанных областей по сравнению с областями полигонального контура. В последнем случае, при наличии прямолинейного контура, для описания формы области достаточно указать координаты вершин выпуклого полигона в декартовой системе отсчёта. Алгоритм подсчёта коэффициента формы для областей, очерченных полигональным контуром, приводится в [4].

Далее рассматривается задача подсчёта значений коэффициента формы для большого класса нетипичных (произвольно заданных) областей, ограниченных криволинейными элементами контура. Среди их разнообразия можно выделить области, обладающие определённым видом оси симметрии, а также области, не имеющие симметрии (или их возможная симметрия не учитывается). Отмечены типичные формы областей, в приближенной постановке задачи, могут также быть рассмотрены как нетипичные.

В качестве разработки универсального подхода к построению алгоритма автоматизированного подсчёта было предложено разбивать контур рассматриваемой области на отдельные участки, аппроксимируемые уравнениями логарифмических спиралей. Аппроксимирующие уравнения задаются в полярной системе координат, центр которой принимается соответственно в точке пересечения осей симметрии, в некоторой точке, принадлежащей оси единственной симметрии, или произвольно внутри рассматриваемой области. Применение полярной системы координат для первичного задания криволинейного контура выпуклых плоских областей было предложено ранее в работе [5].

С использованием уравнений логарифмических спиралей выражение для коэффициента формы, непосредственно реализуемое для областей с центром ортогональной симметрии, принимает вид:

$$K_f = \sum_{i=1}^n (1+c_i^2) \phi_i,$$

где n – принятое число элементов дуг, аппроксимирующих контур, c_i – коэффициент роста логарифмической спирали и ϕ_i – полярный угол, соответствующий i -той дуге.

Расчётные криволинейные области с учётом возможной симметрии показаны на рисунке 1.

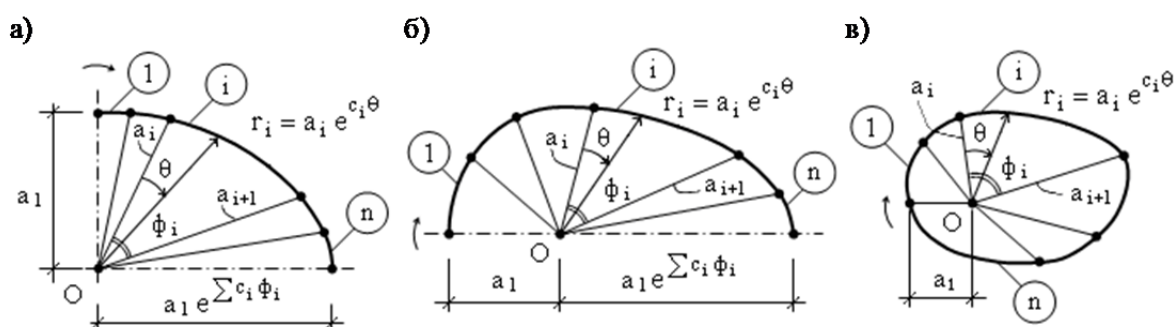


Рисунок 1 – Области, очерченные криволинейными элементами (дугами):
 а) с центром ортогональной симметрии; б) с одной осью симметрии; в) без осей симметрии

Для областей, имеющих одну ось симметрии или не имеющих таковых, от заданных аналитических параметров криволинейного очертания осуществляется переход к декартовой системе координат с представлением контура в виде аппроксимирующего полигона. При этом на каждый выделенный участок контура помещается 100 равноудалённых узлов. Далее осуществляется процедура итерационного поиска минимального значения коэффициента формы применительно к полученному полигональному очертанию.

Путём численных исследований было установлено, что выбранное количество узлов представляется достаточным, поскольку аппроксимирующий полигон будет иметь минимум 100 вершин. При аппроксимации окружности, заданной как произвольная криволинейная фигура с одним криволинейным участком, образуется замещающий стоугольник, для которого рассчитано значение $K_f = 6,285253$. Данная величина отличается от точного теоретического решения, которое составляет $K_f = 2\pi$, на 0,03 %.

Таким образом, разработана процедура автоматизированного подсчёта коэффициента формы для выпуклых областей произвольных криволинейных очертаний, аппроксимируемых с помощью уравнений логарифмических спиралей, заданных в полярной системе координат.

Список использованных источников

1. Коробко В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода. М.: Издательство АСВ, 1997. 390 с.
2. Коробко А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. М.: Издательство АСВ, 1999. 320 с.
3. Расчёт пластинок методом предельного равновесия / В.И. Коробко, А.В. Коробко, С.А. Морозов, М.Ю. Прокуров. Орёл: Типография «Труд», 2012. 360 с.
4. Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Автоматизированный подсчёт коэффициента формы односвязных плоских областей с выпуклым полигональным контуром // Строительство и реконструкция. 2016. № 6. С. 29 – 40.
5. Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Программа определения значения коэффициента формы плоской замкнутой области, ограниченной выпуклым контуром различного очертания // Строительство и реконструкция. 2013. № 4. С. 28-37.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ОТРАЖЕННОГО ТРАНСПОРТНОГО ШУМА В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ

Путинцева А. А.¹, Антонов А.И.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, anastas_84@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н, профессор кафедры
«Архитектура и градостроительство», Россия, aiant58@yandex.ru

Ключевые слова: транспортный шум, жилая застройка, шумовое поле, компьютерный расчет шума

COMPUTER ALGORITHMS FOR CALCULATING REFLECTED TRAFFIC NOISE IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Putintseva A. A.¹, Antonov A.I.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the
Department of Architecture and Urban Planning, Russia, anastas_84@mail.ru

² Tambov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of
Architecture and Urban Planning, Russia, aiant58@yandex.ru

Key words: traffic noise, residential development, noise field, computer noise calculation

Зашумление примагистральной территории происходит в результате непосредственного прихода на территорию застройки прямого звука от транспортной магистрали и образования отраженной составляющей шума в результате многократных отражений звука от различных поверхностей [1]. Расчёт отраженной составляющей шума представляет сложную и трудоемкую задачу. При автоматизированном проектировании применяются компьютерные программы, реализующие методы геометрической акустики и, в частности, метод прослеживания лучей [2].

Нами предлагается более простая методика расчета отраженного звука в городской застройке на основе модели рассеянного по закону Ламберта отражения звука от фасадов и других отражающих поверхностей сооружений [3]. Диффузному характеру отражению звука способствуют отличие профиля поверхности фасадов от идеальных плоскостей, наличие балконов и лоджий, сложный характер отражения звука от остеклённых элементов ограждений и др. В случае диффузного отражения звука от ограждений для расчета распределения отраженной звуковой энергии возможно использовать *интегральное уравнение Куттруфа* [4]

$$J = \int_s \frac{J(1 - \alpha) \cos(Q_i) \cos(Q_j) dS}{\pi r^2} + J_0, \quad (1)$$

где J – интенсивность звуковой энергии, Вт/м², поступающая на элемент ограждения, равная сумме интенсивностей, отраженных от всех участков ограждений dS , и интенсивности, приходящей непосредственно от источника шума J_0 ; α – коэффициент звукопоглощения элементарного элемента ограждения; r – расстояние между двумя участками ограждения, м; Q_i и Q_j – углы между нормальными к участкам ограждений и линиями их соединяющими, рад; S – общая площадь отражающих поверхностей, м².

Для расчета отраженного шума на значительных территориях предлагается использовать метод однородных Марковских цепей [5]. Согласно этому методу переход энергии от фасада i к фасаду j характеризуется условной вероятностью P_{ij} или матрицей \bar{P} , рассчитываемым также на основе модели диффузного отражения звука.

В начальный момент распределение мощности энергии по фасадам зданий $\bar{w}_0 = (w_{01}, w_{02}, w_{0n})$ задается с помощью вектора из результатов расчета прямого звука от источников шума на территории городской застройки. После k актов отражения происходит переход из первоначального энергетического состояния в текущее по формуле

$$\bar{w}_k = (w_{01}, w_{02}, w_{0n}) \cdot \left[\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} \dots & P_{2n} \\ P_{n1} & P_{n2} \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \cdot \beta \right]^k. \quad (2)$$

где $\beta = 1 - \alpha$ – средний коэффициент отражения звука фасадами зданий.

Итоговая мощность звуковой энергии, поступающая на фасады здания после K актов отражения звука, определяется суммированием значений мощности по (2)

$$\bar{W} = \bar{w}_0 \sum_{k=0}^{K-1} (\bar{P}\beta)^k. \quad (3)$$

Результаты расчета повышения уровней шума при диффузной модели отражения звука, рассчитанные на основе метода Марковских цепей, показаны на рисунке.

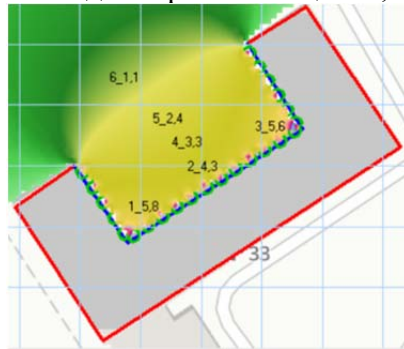


Рисунок 1 – Карта увеличения транспортного шума за счет отраженного звука

Разработанные методы расчета отраженного шума на примаргистральной территории позволяют быстро и с достаточной точностью выполнять расчет энергетических параметров поля при различных планировочных параметрах застройки, оценивать влияние различных факторов на шумовой режим и проектировать эффективные мероприятия шумозащиты.

Список использованных источников

1. *Николов Н.Д.* Теоретическое исследование звукового поля в пространстве улицы / *Н.Д. Николов* // Строительная физика в XXI веке: сб. материалов науч.– техн. конф. / под ред. И.Л. Шубина; НИИСФ РААСН. – М., 2006. – С.417-424.
2. *Овсянников С.Н.* Автоматизированный расчет и построение цифровых карт акустического загрязнения примаргистральных территорий городов / *С.Н. Овсянников, М.С. Овсянников* // Вестник ТГАСУ. 2011. № 3. Р. 108–115.
3. *Golovko A.* Measurement method of the reflected from highways noise in urban buildings/ *A. Golovko, V. Ledenev, A. Antonov* // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Т. 1116 AISC. С. 100-109.
4. *Kuttruff H.* Nachhall und effektive Absorption in Räumen mit diffuser Wandreflexion // *Acustica*. 1976. Vol. 35. no. 3. P.P. 141-153.
5. *Антонов А.И.* Расчет шума в городской застройке на основе однородных марковских цепей / *А.И. Антонов, В.И. Леденев, А.А. Сергеева* // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта. – Тамбов: ТГТУ. - 2019. - С. 260-265.

ИСТОКИ И СИМВОЛИЗМ АРХИТЕКТУРНОГО ОБРАЗА ЦЕРКВИ ВОСКРЕСЕНИЯ ХРИСТОВА В СЕЛЕ СТАРАЯ ОЛЬШАНКА

Старкова Т.В.¹, Мамонтова М.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», поч. арх. России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, *tstarkova1957@mail.ru*

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент, Россия, *mamontowa.v2016@yandex.ru*

Ключевые слова: храмовая архитектура, церковь, русско-византийский стиль, объект культурного наследия

ORIGINS AND SYMBOLISM OF THE ARCHITECTURAL IMAGE OF THE CHURCH OF THE RESURRECTION OF CHRIST IN THE VILLAGE OF STARAYA OLSHANKA

Starkova T.V.¹, Mamontova M.A.²

¹ Tambov State Technical University, post. arch. Russia, Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Russia, *tstarkova1957@mail.ru*

² Tambov State Technical University, student, Russia, *mamontowa.v2016@yandex.ru*

Key words: temple architecture, church, Russian-Byzantine style, object of cultural heritage

Целью работы является исследовательский интерес процесса зарождения русско-византийского стиля в архитектуре храмового зодчества, а также освещение с различных позиций истоков архитектурного образа церкви Воскресения Христова в селе Старая Ольшанка Уваровского района Тамбовской области.

*«Храм – грань, соединяющая землю с небом, или земное небо. В нем истинная стихия души наших; тут наша духовная пища...»
Святой праведный Иоанн Кронштадтский*

Храмы, церкви, колокольни и их ансамбли, как и любой другой результат архитектурного творчества, имеют свой художественный облик. Человечество унаследовало большое количество архитектурных ансамблей, большая часть из которых обладает культурной и архитектурной ценностью.

Зодчие и архитекторы тех времён владели умением воплотить свою идею в определённом заданном формате. Наши предки строили церкви, храмы, колокольни и другие сооружения в таком порядке, что могли описывать весь окружающий мир, все его взаимосвязи, порядок, меры и подобию. Здание излучало надёжность, спокойствие и гармонию в окружающее пространство, которые передавались человеку, настраивая его на соответствующий лад.

«Русско-византийский стиль» был основан на том, что именно из Византии Древняя Русь приняла христианство и именно оттуда пришёл канон крестово-купольного четырёхстолпного храма [1]. Сущность стиля заключается в создании архитектурного образа на основе симбиоза форм средневековой русской архитектуры и элементов византийской архитектуры. Основоположником русско-византийского стиля считается архитектор Константин Тон.

В направлении архитектуры взяты фрагменты характеристик с конца XVIII – XIX века по рубеж XIX–XX века, чтобы наглядно отследить и понять, какое направ-

ление архитектуры господствовало до русско-византийского стиля и после.

Середина XIX века архитектура эклектики, «русско-византийская»: использование мотивов архитектуры различных эпох; механическое использование элементов византийской и древнерусской архитектуры во внешнем оформлении.

Изучение процесса и принципов формирования архитектуры «русско-византийского стиля» церкви Воскресения Христова в с. Старая Ольшанка невозможно без рассмотрения истоков зарождения подобных сооружений в мировой практике архитектуры [2].

Анализ образцового строительства храмов в русско-византийского стиля [3].

Особенности русско-византийского стиля в объёмной компоновке храмов:

- четырехстолпный крестово-купольный тип храма с большим центральным куполом и четырьмя малыми куполами на углах;
- обязательность пятиглавия (для небольших храмов — одна глава);
- строгая центричность плана и фасадов;
- зеркальная симметрия фасадов;
- скульптурность фасадов – проработка всех деталей на фасадах

В детализовке храма данного стиля можно выделить такие характерные особенности:

- исчезновение портиков и других классических форм с фасадов;
- употребление характерных для византийского, а также русского зодчества допетровского времени архитектурных элементов (полуциркульные арки и арочные проёмы, килевидные закомары, ступенчатые порталы входов, массивные колонны и пилястры)
- массивность и весомость архитектурных форм.

У русских, православных людей во всём есть свой символизм.

На современном этапе наблюдается активное развитие архитектурной деятельности и подъем целой отрасли церковного строительства многих забытых культурных традиций в духовном возрождении страны.

Список использованных источников

1. МДС 31-9.2003 «Православные храмы. Том 2. Православные храмы и комплексы. Пособие по проектированию и строительству к СП 31-103-99».
2. *Котова Г.К.* Старая Ольшанка. // Тамбовская губерния: вехи истории: Сборник материалов историко-краеведческих чтений (К 260-летию со дня рождения Г.Р. Державина). Тамбов: Издательство ТГТУ, 2004. с. 24 – 27
3. Византийский стиль и первые русские храмы. Совсем не объективные размышления о стилях в архитектуре. URL: https://sobory.ru/lib/pervye_russkie_hramy.html (дата обращения 24.01.2023).

ПАРК В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Старкова Т.В.¹, Федосова Д.С.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», поч. арх. России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», Россия, tstarkova1957@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент, Россия, Dayanafedosova@mail.ru

Ключевые слова: городской парк, экология, ландшафтная архитектура, экосистема

PARK IN URBAN ENVIRONMENT

Starkova T.V.¹, Fedosova D.S.²

¹ Tambov State Technical University, post. arch. Russia, Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Russia, tstarkova1957@mail.ru

² Tambov State Technical University, student, Russia, Dayanafedosova@mail.ru

Key words: city park, ecology, landscape architecture, ecosystem

Целью работы является исследование влияния природных парков на человека в современном городе, а также определение их места, значения и функции в городской среде

*«В ряду высоких эстетических наслаждений человека лежит наслаждение природой.»
И.Н. Крамской.*

Любой современный город России, как и многие города мира, будь то крупный мегаполис или небольшой провинциальный городок, можно рассматривать как экосистему, в которой созданы наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности человека. Однако нельзя забывать, что общение человека с природой - это необходимая потребность. И именно такая потребность создается в среде парковых зон города, скверах и бульварах, набережных рек и прудов, дворов и заброшенных, пустых промышленных территорий - островках природной зелени, местах, где люди проводят свободное время, в безопасной обстановке отдыхают от городской суеты и просто наслаждаются природой - ландшафтной архитектурой.

Сама ландшафтная архитектура сложна и увлекательна, и ее строительными материалами являются растения - постоянно меняющие размеры, форму, цвет, фактуру. С помощью рек, каналов, участков рельефа разной высоты создаются различные ландшафты, и стоит лишь немного поменять положение - и уже открывается новый вид. Зима открывает разноцветные белые, зеленоватые, черные стволы деревьев, серые и красноватые веточки, лето - густой дикий лес, с деревьями с большой зеленой кроной, весна - цветущий, с природными ароматами сад, осень - многокрасочную тишину, ожидавшую покоя. Созерцание красот природы стимулирует жизненный тонус и успокаивает нервную систему. Растительные биоценозы, особенно зеленых насаждений, оказывают очень сильный оздоровительный эффект. Их прохлада, гармония различных звуков и красок, многообразие запахов особенно приятен человеку.

Зеленые насаждения не только создают благоприятные микроклиматические и санитарно-гигиенические условия, но и повышают художественную выразительность архитектурных ансамблей [1].

На сегодня идея, что в городе должен быть один центральный большой парк, устарела. Сейчас, по мнению специалистов, в разных районах города должны быть небольшие, так называемые, карманные парки. Парки, дающие людям уединенные пространства, где можно побыть наедине с собой, и общие пространства, где можно быть среди людей. Парки, дающие людям здоровье и физическую активность, культуру и образование, укрепление местных сообществ и экономическое развитие, эстетическое удовольствие и сохранение природных экосистем, дающие пользу для человека. Они должны быть полноценными общественными пространствами. Это место, которое открыто для разного рода людей, проходящих сюда с разными целями, потребностями и интересами [2].

Задача архитекторов, градостроителей, создателей таких парков в том, чтобы природу, ее экологическую ценность и утилитарную функцию, объединить в единую пользу для человека. Поэтому становятся другими и подходы к проектированию. Парки, проработанные в деталях, сохраняют социальные, природные и историко-культурные наследия, приобретают важное общественное пространство, где каждый может приятно провести время на природе. Учитывать интересы всех пользовательских групп – это социальная функция парка. В парках должно быть хорошее зонирование, которое разделяет шумные виды деятельности и тихие, объемные и плоскостные объекты, доминанты и видовые точки и т. д. [3]

Современный город - это экосистема, в которой созданы наиболее благоприятные условия для жизни, где человек должен быть не оторван от природы, а как бы растворен в ней. Поэтому общая площадь парков, скверов, зеленых насаждений в городе должна занимать больше половины его территории. Учитывая способность зеленых насаждений благоприятно влиять на состояние окружающей среды, их необходимо максимально приближать к месту жизни, работы, учебы и отдыха человека. Очень важно, чтобы город был биоценозом не абсолютно благоприятным, но хотя бы не вредящим здоровью людей. Парки, как элемент городского пространства, способствуют возникновению чувства комфорта, гармонии, удовлетворенности человеком окружающей средой. Приходя в парк, человек не покидает границ города, но при этом попадает на лоно природы, испытывает психоэмоциональную разгрузку, снятие раздражительности. Ухаживая за зелеными насаждениями, оберегая и умножая их, каждый житель города вносит свой вклад в улучшение экологии города.

Список использованных источников

1. *Горохов В. А.* Зеленая природа города: Учебное пособие для вузов / В. А. Горохов. — Издание 2-е дополненное и переработанное. — Москва: Архитектура-С, 2005. — 592 с., ил. — (Специальность «Архитектура»).
2. *Исмагилова С. Х.* Влияние ландшафтно-планировочного фактора на реорганизацию городской структуры / С. Х. Исмагилова, Е. А. Залетова, Л. О. Головкина. // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (33). С. 45–50.
3. *Сухинина Е.А.* Становление и особенности сертифицирования российских экологических стандартов в строительстве // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №2. С. 96–103.

СЕКЦИЯ 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ СЛОЖНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

УДК 691.539.216

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРБОНАТНЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ

Белов В.В.¹, Куляев П.В.², Баркая Т.Р.³

¹ ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия, д.т.н., профессор, советник РААСН, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, vladim-bel@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия, к.т.н., доцент кафедры конструкций и сооружений, p.kuliaev@yandex.ru.

³ ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия, к.т.н., заведующий кафедрой конструкций и сооружений, btrs@list.ru.

Ключевые слова: мелкозернистые карбонатные бетоны, деформативные свойства, ползучесть, моделирование, химические добавки, влияние

MODELING OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CARBONATE FINE-GRAINED CONCRETE WITH COMPLEX ADDITION

Belov V.V.¹, Kuliaev P.V.² and Barkaya T.R.³

¹Tver State Technical University, Tver, Russia, Doctor of Engineering, Professor, adviser of the Russian academy of architecture and building sciences, Head of Chair of Building Products and Structures Manufacture, vladim-bel@yandex.ru

²Tver State Technical University, Tver, Russia, Associate professor of the Department of the Construction materials and technologies, p.kuliaev@yandex.ru

³Tver State Technical University, Tver, Russia, Chairman of the Construction materials and technologies Department, btrs@list.ru

Key words: fine-grained carbonate concretes, deformation properties, creep, modeling, chemical additives, influence

Получение мелкозернистых карбонатных бетонов (МЗКБ) с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами связано с необходимостью разработки новых составов МЗКБ на разных уровнях воздействия [1, 2]. Снижения уровня деформаций МЗКБ сводится к реализации следующих процессов [3]: выравнивание гидратации за счет более равномерного распределения частиц цемента в объеме МЗКБ; физическое вытеснение воды из воздушных и капиллярных микропор, и частичный перевод ее в гелевую область. Необходимая степень дисперсности и технология введения добавок ведут к снижению деформаций МЗКБ, делая их более прочными и стойкими к агрессивным средам [4].

В работах [5, 6, 7] представлено влияние разнообразных факторов на его физико-механические свойства. Деформациями ползучести являются не менее важными эксплуатационными характеристиками МЗКБ [8]. На них влияют такие факторы, как водотвердое отношение, размер заполнителя, толщина помола вяжущего, влажность, возраст бетона к моменту приложения нагрузки, и величина нагрузки [9, 10].

Решение задачи повышения эксплуатационно-технологических свойств МЗКБ,

прежде всего их трещиностойкости и долговечности, требует регулирования зернового состава МЗКБ, использования мелкодисперсного наполнителя и пластифицирующих добавок, совместное применение которых позволяет создать синергетический эффект, а также математического моделирования при разработке оптимальных составов МЗКБ.

Одним из способов уменьшения деформаций ползучести является создание однородной и контактной структуры уплотненного типа, с минимальным количеством пустот на макро-, мезо- и микроуровнях, в том числе за счет применения известнякового микронаполнителя как заменителя части цемента.

При анализе влияния указанных компонентов на деформации ползучести МЗКБ в работе использован метод трехфакторного планированного эксперимента типа В-Д13. Получено следующее регрессионное уравнение для мгновенных деформаций:

$$Y = 295,9 + 63,51x_1 - 9,3x_2 + 10,12x_3 + 378,5x_1^2 - 158,5x_2^2 - 153,2x_3^2 - 92,9x_1x_2 - 67,49x_1x_3 + 106,85x_2x_3,$$

где x_1 – отношение микронаполнителя из известняка к цементу (%), x_2 – отношение суперпластификатора СП-1 к цементу, x_3 – процентное содержание частиц диаметром 0,08 мм в известняковом микронаполнителе.

Математические модели позволяют оптимизировать расход микронаполнителя и суперпластификатора по технологическим и эксплуатационным свойствам и проектировать бетоны с пониженным уровнем мгновенных, кратковременных и длительных деформаций.

Список использованных источников

1. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // Вестник Тверского государственного технического университета. Вып. 13 / Тверской гос. техн. ун-т. Тверь, 2008. С. 341-346.
2. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // Строительные материалы, 2016. С. 68-72.
3. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей // Стройпрофиль: строительные технологии и бетоны. № 2. 2012. С. 26-30.
4. Плугин А.А., Костюк Т.А., Салия М.Г., Бондаренко Д.А. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений // Сборник научных трудов института строительства и архитектуры МГСУ, 2012. С. 224-227.
5. Schutter G. De. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete/ Belgium Magnel laboratory of concrete research/36 Conference on Our World in concrete & Structures, Singapore, 14-16/08/2011.
6. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Определяющие соотношения показателей сопротивления разрушению цементных бетонов и параметров их структуры // Строительство и реконструкция. 2015. № 5. С. 167-174.
7. Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В. Комплексная оценка параметров качества структуры и механики разрушения цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 2. С.14-22.
8. Белов В.В., Субботин С.Л., Куляев П.В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 25-28.
9. Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Разработка составов высокопрочных мелкозернистых бетонов на природном и техногенном заполнителях и критериев оценки их эффективности // Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016). 2016. С. 19.
10. Chaid R., Jauberthiel R. et Boukhaled A. Effet de l'ajout calcaire sur la durabilite des betons // Lebanese Science Journal, Vol. 11, No. 1, 2010.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ «ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ» В КОНТЕКСТЕ БИОДЕСТРУКЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Гончарова М.А.¹, Заева А.Г.²

¹ ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», Россия, magoncharova777@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», аспирант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», Россия, nastenkast08@mail.ru

Ключевые слова: чистые помещения, биодеструкция, минеральная вата, сэндвич-панели, модульные конструкции.

OPERATION OF "CLEAN ROOMS" IN THE CONTEXT OF BIO-CONSTRUCTION OF BUILDING STRUCTURES

Goncharova M.A.¹, Zaeva A.G.²

¹ *Lipetsk State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials Science and Road Technologies, Russia, magoncharova777@yandex.ru*

² *Lipetsk State Technical University, graduate student, Department of Building Materials Science and Road Technologies, Russia, nastenkast08@mail.ru*

Key words: clean rooms, biodegradation, mineral wool, sandwich panels, modular construction.

В настоящее время мировой рынок чистых помещений составляет около 12 миллиардов долларов в год. Общий рост выручки в отрасли чистых помещений несколько ниже, тем не менее, сегмент продолжает расширяться на 8-10 процентов в год. Этот несколько более низкий темп роста частично связан с акцентом на повышение эффективности в отрасли, что может привести к созданию чистых помещений меньшего размера, способных максимизировать производительность в существующих пространствах.

Соответственно возникает задача определения оптимальных эксплуатационных характеристик строительных материалов чистых зон, в том числе и выявление биодеструкции, что является критически важными для стерильных зон и технологических операций [1].

Для этих целей была проведена комплексная оценка биодеструкции целевого материала, определение факторов, влияющих на биодеструкцию минеральной ваты, как основного материала для сэндвич-панелей, путем различных типов исследований материала в составе панелей, а также эксперименты по определению целевых свойств данного материала.

В ходе исследований были предложены и исследованы основные виды биодеструкции сэндвич панелей; опытным путем были установлены отсутствие значимости биодеструкции от выполнения основных барьерных функций для чистых помещений; оценено влияние биодеструкции основного материала на состояние сэндвич-панелей.

В целом, полученные результаты испытаний свидетельствуют о том, что при внесении суспензии спор микроорганизмов (капель) в минеральную вату может происходить постепенное накопление биодеструкторов между волокнами. При этом минеральная вата способна поддерживать лишь незначительное развитие плесневых гри-

бов. Однако при добавлении питательных веществ в область инокуляции наблюдается активный рост грибов в зоне дополнительного питания [2].

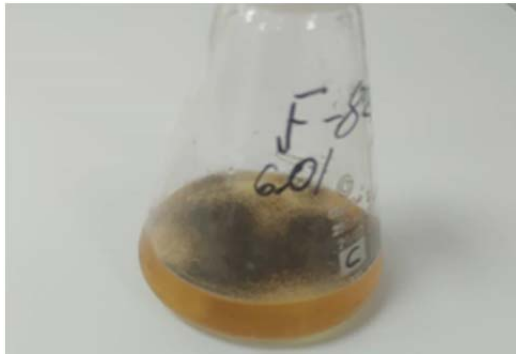


Рисунок 1 – Сплошной рост микроорганизмов на твердых питательных средах (минеральной вате)

Микроскопия показала сплошной рост грибов и бактерий внутри минеральной ваты спустя 6 лет эксплуатации. Следует отметить, что биодеструкция сэндвич-панелей происходит из-за нарушения регламента монтажа-демонтажа чистых помещений.

Исходя из вышеизложенного можем резюмировать, что в соответствии с принципами мобильности намного выгоднее использовать модульные блоки.

Экономическая эффективность модульных сборных чистых помещений в значительной степени зависит от размера помещения, мероприятий по предварительной квалификации, документации и типа помещения. Модульные/сборные чистые помещения обычно содержат модульные компоненты с более стандартизированными комплектами, которые стоят больше, чем сборные, но снижают трудозатраты на установку на месте и скрытые расходы, такие как временная парковка и т. д.

Еще одним преимуществом модульных сборных конструкций является тот факт, что их можно повторно использовать или перемещать в другое место. Конструкции из сэндвич-панелей обычно можно использовать только в течение одного жизненного цикла, а модульные сборные можно восстанавливать и использовать повторно. В целом, традиционная основная структура останется постоянной, в то время как оборудование, размещенное в модульных блоках, будет, как правило, одноразовым, при этом мобильные модульные блоки могут быть перемещены на другие технологические линии или объекты. Модульное сборное строительство выполняется инженерами в заводских условиях. Такие контролируемые условия на производственном участке обычно обеспечивают более высокое качество и более воспроизводимые результаты, которые часто намного превосходят результаты, получаемые в традиционных чистых помещениях, построенных из сэндвич-панелей, которые завершаются на строительной площадке.

Выделим следующие факторы, влияющие на выбор модульной конструкции: качество материалов чистых помещений; простота строительства с меньшими затратами; масштабирование производственных площадей без остановки существующих процессов; передвижной, многоразовый актив чистого помещения; экономическая целесообразность/рентабельность.



Рисунок 2 – Модульное чистое помещение

Преимущества модульной системы заключаются в увеличении спроса и смещении тенденции к модульным системам, причем этот сдвиг или тенденция уже очевидны на большинстве основных рынков.

Внедрение модульных чистых помещений в развивающихся регионах ускоряется, а также внедряется крупными фармацевтическими компаниями. Следующим шагом в эволюции биотехнологии, скорее всего, станет модульное и модульное биотехнологическое оборудование; разделение технологического оборудования на отсеки и герметизацию. Размещение биотехнологического оборудования в собственных изолирующих шкафах или ограждениях или даже в отдельно стоящих зданиях может значительно снизить риск загрязнения и затраты, в том числе позволяет использовать более дешевые чистые помещения более низкого класса, в которых размещается это оборудование [3].

Истинная мобильность модульных чистых помещений более актуальна для направлений, таких как биозащита и производство противозидемических/пандемических вакцин, где существует острая потребность в быстрых производственных ответных мерах.

Список использованных источников

1. Гончарова М. А., Заева А.Г. Биологические аспекты эксплуатации комплекса чистых помещений // Строительные материалы. – 2023. – № 1-2. – С. 18-23.
2. Уайт В. Технология чистых помещений: основы проектирования, испытаний и эксплуатации. Москва :Клинтрум, 2002. – 304 с.
3. Гончарова М. А., Дергунова Е.С., Мраев А.В. Биоповреждение строительных материалов и защита от биокоррозии. Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2021. – 91 с.
4. Rader R.A. The next decade of cleanrooms [Электронный ресурс] // Pharma Manufacturing. – 2019. – № 6. – URL: <https://www.pharmamanufacturing.com/articles/2019/the-next-decade-of-cleanrooms/> (датаобращения: 09.12.2022).

ОТДЕЛОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Горохов Т.И.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, gorohowt@yandex.ru*

Ключевые слова: гипс, древесный композит, матрица планирования, плотность, уравнения регрессии

FINISHING MATERIAL BASED ON GYPSUM BINDER AND WOOD WASTE

Gorokhov T.I.¹

¹ *Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, gorohowt@yandex.ru*

Key words: gypsum, density, planning matrix, regression equations, wood composite

Рынок отделочных материалов в настоящее время разнообразен, однако ежегодно на нем появляются все новые и новые материалы [1]. Современные реалии и государственная повестка требуют разработки материалов с одной стороны экологичных, а с другой – конкурентно способных по себестоимости производства. Таким образом, разработка нового экологичного и более дешевого материала является актуальной темой.

Основным компонентом разрабатываемого композитного материала является гипсовое вяжущее, получаемое из природного гипсового камня, способного после помола и термической обработки химически взаимодействовать с водой. Своей незаменимостью данный материал обязан наличию хорошим свойствам, таким как устойчивость к механическим воздействиям и высоким температурам, относительно высокое термическое сопротивление.

К недостаткам гипса относят в том числе относительно высокую стоимость и теплопроводность. Решением данных проблем может быть добавление древесных опилок, что позволит удешевить производство гипсовых изделий, а также повысить экологичность и теплопроводность при сохранении на требуемом уровне необходимых эксплуатационных характеристик.

В процессе проведения исследования по определению оптимального состава использовался гипс марки Г16, который является оптимальным для изготовления декоративных элементов. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации к готовому гипсовому изделию могут предъявляться требования по обеспечению необходимой прочности.

Одним из показателей качества гипсового раствора является его нормальная густота, которая характеризуется распылом гипсового теста и необходим для контроля водогипсового отношения, так как количество воды определяет свойства гипсового изделия: предел прочности на сжатие и растяжение при изгибе, расход гипса, водопоглощение, время начала и конца схватывания, плотность, а, следовательно, и теплопроводность. В ходе исследования было определено оптимальное водогипсовое отношение, равное 43 % при расходе гипсового вяжущего около 1,36 кг/м³. Насыпная

плотность гипса составила 50,89 кг/м³.

Для изучения свойств композита на гипсовом вяжущем необходимо учитывать дисперсность наполнителя (древесных опилок) – величина, обратно пропорциональна среднему диаметру частиц. Для контроля данной величины опилки из сосны второго сорта с нормальной влажностью просеивались через сито с диаметром отверстий 5 мм. Насыпная плотность древесных опилок составила 6,16 кг/м³ [2].

Для сокращения количества опытов при подборе оптимального соотношения исходных компонентов композитного материала (гипсовое вяжущие, древесные опилки, вода) было выполнено математическое планирование эксперимента [3,4].

Оптимальным получился состав с следующим соотношением компонентов по массе: вода – ≈ 39 %; гипс – ≈ 45 %; древесные опилки – ≈ 0,16 % [5].

В табл. 1 представлены теоретические (ожидаемые) и реальные характеристики [6,7] полученного древесно-гипсового композита. Полученные результаты показывают, что оптимальный состав композитного материала подобран верно, а поставленная задача по оптимизации состава композита методом математического планирования является достигнутой.

Таблица

Анализ полученных характеристик

Параметр	Изделия из полученного композитного материала	Изделия из гипса марки Г16
Теплопроводность, λ , Вт/(м · К)	0,18	0,37
Прочность на растяжение при изгибе, $\sigma_{изг}$, МПа	2,44	6,21
Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	1,93	5,51
Плотность, ρ , кг/м ³	735,61	1384,00
Расход гипса, кг/м ³	597,66	1358,56

Список использованных источников

1. Станко Стефан, Ерофеев А.В., Михайлов В.А. Использование искусственного камня для отделки зданий агропромышленного комплекса // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Тамбов, 21-23 октября 2020 г. – Тамбов: Изд. центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – С. 125-128.
2. Ерофеев А.В., Михайлов В.А. Способы производства гипсовых изделий и придание им требуемого цвета // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2020. – № 9-10 (260-261). – С. 25-31.
3. Горохов, Т.И. Математическое планирование эксперимента при подборе оптимального состава композитного материала на основе гипсового вяжущего, наполненного древесными опилками / Т.И. Горохов, А.В. Ерофеев, Б.А. Бондарев, О.А. Корнеева // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3 (67). С. 53–60.
4. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.
5. Ковалев Н.С. Принципиальная технологическая схема производства WOODГИПСa / Н.С. Ковалев, А.А. Морковин, Н.В. Леонов, С.И. Горохов, Т.И. Горохов/ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ Материалы IX-ой Международной науч.-практ. конф., посвященной памяти академика РААСН Чернышова Е.М. – 2022. – с. 183-186
6. Горохов, Т.И. Математическое планирование эксперимента при подборе оптимального состава композитного материала на основе гипсового вяжущего, наполненного древесными опилками / Т.И. Горохов, А.В. Ерофеев, Б.А. Бондарев, О.А. Корнеева // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3 (67). С. 53–60.
7. Леонов Н.В. Определение величины отклика с помощью уравнения регрессии при экспериментальных испытаниях на плотность для гипса // Н.В. Леонов, Т.И. Горохов, А.В. Севостьянов // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе Сборник научных трудов по материалам X Международной науч.-практ. конференции // 2022.-с. 140-146

OPTIMIZATION OF BIOMINERALIZATION TECHNOLOGY FOR CEMENT SYSTEMS

Dergunova E.S.¹, Goncharova M.A.², Zaeva A.G.³

¹ *Lipetsk State Technical University, Department of Building Materials Science and Road Technologies, Russia, dergunova14@yandex.ru*

² *Lipetsk State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials Science and Road Technologies, Russia, magoncharova777@yandex.ru*

³ *Lipetsk State Technical University, graduate student, Department of Building Materials Science and Road Technologies, Russia, nastenkast08@mail.ru*

Keywords: biomineralization, Portland cement, hardening, urease microorganisms

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Дергунова Е.С.¹, Гончарова М.А.², Заева А.Г.³

¹ *ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, dergunova14@yandex.ru*

² *ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», д.т.н., профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», Россия, magoncharova777@yandex.ru*

³ *ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», аспирант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», Россия, nastenkast08@mail.ru*

Ключевые слова: биоминерализация, портландцемент, упрочнение, уреазные микроорганизмы

Concrete, one of the most important building materials, has been used for almost two hundred years and is likely to remain the dominant building material for the foreseeable future. Therefore, its role in the global economy is crucial. However, cracks are almost unavoidable in fresh and hardened concrete for reasons independent of the load or related to the load. In addition, it is often difficult to detect and eliminate these cracks and they pose a threat to the safety and durability of concrete infrastructure, especially in those where strict sealing requirements are imposed [1].

Thus, bacterial-based restoration using microorganisms is a promising solution both for repairing cracks without manual intervention and for constant maintenance of concrete. In this regard, this study discusses in detail the influence of parameters such as biomineralization processes and environmental conditions, types of bacteria, type of inclusion in the system, nutrient medium, crack width, microbiological properties and durability of bacterial concrete on the indicators of self-healing of microorganisms.

The addition of carbonate-precipitating bacteria to cementing systems is a new natural, environmentally friendly, sustainable method and has recently become an object of interest to researchers due to its good compatibility with the concrete matrix [2]. Bacteria are introduced into the cementing system using three different methods. These methods include adding bacteria directly to the mixture, encapsulating the bacteria so that they remain dormant until activated, and spraying or injecting the bacteria onto the concrete surface. It has also been established that additional sources of calcium should be added together with bacteria to cause CaCO₃ reduction, since in the presence of sufficient nutrients and oxygen in the nutrient medium, bacteria are activated and consume oxygen in the environment,

feeding on a source of calcium [3].

In our work, biomineralization technology was optimized for cement systems. Cements of grades PC-400-D0, PC-500-D5 corresponding to GOST 10178-85 were used as a binder in the standard mixture. As a fine filler for ordinary mortar mixtures, polyfraction sand corresponding to GOST 6139-2003 was used. In the mortar mixture, technical water was used, corresponding to GOST 23732-2011. Physical tests of the samples were carried out according to GOST 10180-2012. Frost resistance was determined according to GOST 10060-2012. The optimal dosage of the supplement was taken in such an amount that the consistency of the cement dough is provided, determined by the spread of the mini-cone of at least 250 ... 255 mm. Isolated strains of bacteria *Sp. pasteurii* (D1), *B. Sphaericus* (D2), *B. Pseudofirmus* (D3) were used as a dietary supplement. To determine urease activity, a Christensen medium with urea was used (composition, g/l: peptic digestion of animal tissue – 1.00; glucose – 1.00; sodium chloride – 5.00; sodium hydrophosphate – 1.20; potassium dihydrophosphate – 0.80; Phenolic red – 0.012; agar-agar – 15.00) [1].

The concentration of ammonia formed during the hydrolysis of urea was determined spectrophotometrically by the absorption of indophenolic blue in the Berthelot reaction at a wavelength of 578 nm on a UV-1800 bi-beam spectrophotometer (SHIMADZU, Japan). CFU was determined using test tools "MicroBio" (Russia). Encapsulation of urease bacteria was carried out using carboxymethylcellulose (Russia). Control of the immobilization process is based on the residual urease activity of microorganisms in the mother liquor.

To study the regularities of the new phase growth process, data obtained by atomic force microscopy, AFM (scanning probe microscope Solver P47-PRO of Nanotechnology-MDT CJSC, Russia), optical microscopy — DigiMicroSkale microscope (DNT, Germany) were used. The influence of such factors as the type of cement, the composition of the cement mixture, the water-cement ratio, the type of bioadditive, the method of immobilization of biomass, the concentration of active biomass, the activity of urease in the bioadditive on the strength of cement stone, its frost resistance, acid resistance, water permeability was evaluated.

The general trend in the results obtained by introducing bacteria into the cementing system shows that a system based on microorganisms, measured by pore closure, crack healing, increased strength, corrosion resistance of reinforcing steel, reduced water permeability and mobility of chlorides, can become an alternative approach to the manufacture of durable concrete. However, high concentrations of cells have a negative effect on increasing the compressive strength of microbial concrete. Therefore, it is necessary to take into account the optimal concentration of bacteria to increase compressive strength. In addition, the calcite deposition rate depends on the type of bacteria and their concentration.

Список использованных источников

1. Гончарова М. А., Дергунова Е. С. Особенности применения процесса биоминерализации для улучшения структурно-прочностных свойств бетона // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 25-33.
2. Строкова В.В., Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В., Духанина У.Н., Балицкий Д.А. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 83-103.
3. Ashraf M. S., Shah M. H., Bokhari A., Hasan M. Less is more: Optimising the biocementation of coastal sands by reducing influent urea through response surface method // Journal of Cleaner Production. 2021. V 315. 128208.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВЯННЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

Дмитриева Т.Л.¹, Подшивалова К.А.²

¹ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», д-р техн. наук, доцент, Россия, dmitrievat@list.ru

²ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», аспирант, Россия, 1295536@mail.ru

Ключевые слова: деревянные каркасные здания, динамические характеристики, частоты собственных колебаний

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF WOODEN FRAME BUILDINGS

Dmitrieva T.L.¹, Podshivalova K.A.²

¹*Irkutsk National Research Technical University, Dr.Sc. Sciences, Associate Professor, Russia, dmitrievat@list.ru*

²*Irkutsk National Research Technical University, post-graduate student, Russia, 1295536@mail.ru*

Keywords: wooden frame buildings, dynamic characteristics, natural oscillation frequencies

Строительство зданий и сооружений с деревянным несущим каркасом в настоящее время находит все более широкое применение как в мировой, так и в отечественной практике. Отмечена тенденция к увеличению этажности деревянного каркасного домостроения. Серьезным преимуществом каркасных сооружений является тот факт, что, обладая небольшим весом, высокой пространственной прочностью и устойчивостью, они позволяют возводить здания на фундаментах облегченного типа.

Актуальность представленного исследования обусловлена потребностью дальнейшего снижения себестоимости каркасного строительства при соблюдении норм конструктивной надежности, безопасности и энергоэффективности за счет совершенствования конструктивных схем на основе углубленного исследования характера и степени влияния элементов каркаса и обшивок на пространственную прочность и жесткость зданий и сооружений. Безусловную практическую значимость для зданий и сооружений, возводимых в сейсмически активных зонах, имеют экспериментальные и теоретические исследования динамических характеристик таких конструкций.

Основу несущего остова таких зданий составляет деревянный каркас, образованный стойками, обвязками и балками перекрытий, которые объединяются в единую пространственную схему с помощью различных элементов жесткости в виде подкосов, обшивок, диафрагм и пр. Пространственная прочность и неизменяемость системы может быть реализована в разных конструктивных вариантах: за счет совместной работы основных элементов каркаса с раскосными связевыми элементами в плоскости стен и перекрытий, либо, за счет совместной работы каркаса и обшивок, при отсутствии подкосных связей. Возможны и комбинированные варианты, сочетающие совместную работу всех элементов – раскосов, обшивок в виде плит или наборных щитов из досок, профилированного листа и пр.

Между тем, следует отметить, что одна из основных проблем в проектировании

подобных сооружений связана с моделирования деревянных каркасных зданий в расчётных комплексах, а именно, затруднение анализа и учета факторов, влияющих на их напряженно-деформированное состояние, поскольку дерево как конструкционный материал, в силу природной анизотропии, имеет существенно больший разброс механических характеристик по сравнению с такими материалами, как сталь и бетон. Дополнительными и очень важными параметрами при моделировании и расчете в программно-вычислительных комплексах являются деформационные характеристики соединений. Чаще всего узловые соединения собирают на соединениях нагельного типа, которые являются податливыми связями.

Проводимые в данной работе исследования сводятся к изучению особенностей конструирования деревянных каркасных сооружений и анализу характера и степени влияния отдельных конструктивных элементов на работу каркаса в целом на основе сопоставления экспериментальных и теоретических данных. Результаты исследований с оценкой показателей собственных колебаний лежат в основе корректного моделирования конструктивных систем при выполнении статических и динамических расчетов.

Список использованных источников

1. Бурова О.А., Лабудин Б.В., Мелехов В.И., Царев Е.Г. Малоэтажное деревянное домостроение на пути выхода из кризиса // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. №24.
2. Смирнова Н. В. Развитие строительства каркасных домов и рекомендации по их возведению // Наука, техника и образование. 2016. №8 (26).
3. Алendorф Э.В. О состоянии каркасного деревянного домостроения в России // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008. №2.
4. Шакирзянов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Динамика и устойчивость сооружений: Учебное пособие. – 2-е перераб. изд. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2015. – 120 с.
5. T.L.Dmitrieva, K.A.Podshivalova, D.O.Molchanov, K.M.Beloborodov – Current approaches to the modeling and calculation wood frame building, taking into account the joint work of the load-bearing elements of the frame and cladding. Baikal Forum 2020.IOP Conf. Series: Earth and Environmental.

БИОЦИДНАЯ ФИБРОБЕТОННАЯ СМЕСЬ НА ОСНОВЕ СТАЛЬНОГО И ПОЛИПРОПИЛЕНОВОГО ВОЛОКНА

Ельчищева Т.Ф.¹, Ерофеева И.В.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство», Россия, elschevat@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», к.т.н., старший преподаватель кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций», Россия, ira.erofeeva.90@mail.ru

Ключевые слова: биоцидные добавки, вяжущее, заполнители, армирующие волокна, фибробетон

BIOCIDAL FIBER-CONCRETE MIXTURE BASED ON STEEL AND POLYPROPYLENE FIBER

Elchishcheva T.F.¹, Erofeeva I.V.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department "Architecture and urban planning", Russia, elschevat@mail.ru

² Moscow State University of Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Fundamentals of Architecture and Artistic Communications", Russia, ira.erofeeva.90@mail.ru

Key words: biocidal additives, binder, aggregates, reinforcing fibres, fibrous concrete

Наружные ограждающие конструкции зданий подвергаются воздействию различных нагрузок и компонентов окружающей среды. Армирование стальными каркасами и сетками не всегда дает требуемый эффект вследствие специфического влияния агрессивной среды, вызывающей коррозию цементного камня и арматуры, что влияет на безопасную эксплуатацию ограждающих конструкций зданий и сооружений. Фибробетон по сравнению с железобетоном имеет большую прочность на растяжение и долговечность [1]. На основе патентного поиска было рассмотрено 18 составов фибробетонной смеси, в процессе работы выявлялись технические и эксплуатационные недостатки каждого состава. Фибробетонная смесь в наиболее общем случае включает песок, цемент, воду, фибру и другие компоненты.

Состав №1 – содержит также проволоку длиной 25 и диаметром 0,3 мм, имеет оптимальную рецептуру по показателям прочности и плотности, но низкие показатели технологических свойств и биостойкости.

Составы №2 и №3 содержат стекловолокно. Недостатками материалов являются: низкая прочность на изгиб и сжатие, низкие показатели сопротивления удару; низкая щелочестойкость стекловолокна.

Состав №4 показал повышение плотности бетона при использовании в его составе заполнителя прерывистой гранулометрии (с пропуском хотя бы одной промежуточной фракции), что дает прирост прочности на 5–7%.

Состав №5. Способ приготовления фибробетонной смеси обеспечивает равномерное распределение фибры по всему объему, возможность регулировать скорость подачи фибры.

Состав №6 – фибробетонная смесь на основе стекловолокна, приготовление которой отличается порядком перемешивания компонентов.

Состав №7 отличается использованием турбулентного смесителя для перемешивания воды, синтетических волокон, цемента, песка и стальной фибры с последующим формованием и тепловлажностной обработкой материала.

Состав №8 – легкий фибробетон, приготовленный из смеси, включающей микро-сферы, пластифицирующую добавку, стабилизирующую добавку (микрокремнезем), и фиброволокно.

Состав №9 отличается наличием мелкого пористого заполнителя (керамзитового песка), неметаллических армирующих волокон (смесь полипропиленовых и базальтовых волокон) и суперпластификатора.

Состав №10 содержит стальную проволоку с анкерами на концах и комплексную добавку (пластифицирующая добавка; модифицирующая добавка, включающая технический углерод и многослойные углеродные нанотрубки). Недостаток – необходимость специального оборудования и трудоемкость приготовления добавки.

Состав №11 с высокомодульными волокнами трех разных диаметров. Недостаток – низкое сцепление волокон с бетонной матрицей на границе раздела фаз и выдергивание фибры при невысоких напряжениях.

Состав №12. Содержит песок 2-х фракций и токарную фибру. Недостаток – низкая прочность на растяжение (низкое сцепление фибры с матрицей композита).

Состав №13 содержит отходы производства базальтового волокна. Имеет недостаточную прочность на изгиб, сжатие, раскалывание и низкую морозостойкость.

Состав №14 содержит отрезки базальтового ровинга и полифункциональный модификатор бетона МБ 10-01. Недостатки: высокий расход кремнеземсодержащей модифицирующей добавки для повышения коррозионной стойкости базальтового волокна; высокая себестоимость базальтового ровинга.

Состав №15 включает базальтовое волокно, кремнеземсодержащую добавку, нанодисперсный порошок диоксида кремния.

Состав №16 – суперпластификатор, микрокремнезем, фибра стального металлокорда, базальтовые и углеродные волокна. Недостаток – низкая биостойкость.

Состав №17. В составе имеет микрокремнезем, суперпластификатор, базальтовое волокно, фракционированный кварцевый песок. Недостатки: высокая стоимость фракционированного песка, высокий расход цемента и базальтового волокна.

Состав №18 (прототип). Включает микрокремнезем, гиперпластификатор, полипропиленовое волокно. Недостаток – низкая биостойкость.

На основе прототипа разработан состав фибробетона. Включает микрокремнезем, микрокварц, фракционированный песок, гиперпластификатор, стальную фибру, полипропиленовое волокно и биоцидный препарат. Получен Евразийский патент на изобретение № 040168 [2]. Обладает высокими эксплуатационными показателями качества. Сопоставление результатов испытаний фибробетонной смеси и прототипа показало, что его прочность при сжатии выше на 12%, морозостойкость – в 1,7 раз, экономия цемента и микрокремнезема – в 1,5 раза и волокна – в 10–30 раз (по массе). Составы фибробетона обладают фунгицидными свойствами.

Список использованных источников

1. Боровков А.В., Овчинникова С.В. Техничко-экономическое сравнение эффективности применения фибробетона на основе фибры различного происхождения // Инженерный вестник Дона. 2020. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6664/ (дата обращения: 20.04.2022).

2. Ерофеев В.Т., Пухаренко Ю.В., Светлов Д.А. и др. Фибробетонная смесь // Евразийский патент на изобретение № 040168 от 24.09.2021. Оpubл. бюл. Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» №4 от 25.04.2022 г.

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Ельчищева Т.Ф.¹, Ерофеева И.В.²

¹ *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство», Россия, elschevat@mail.ru*

² *ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», к.т.н., старший преподаватель кафедры «Основы архитектуры и художественных коммуникаций», Россия, ira.erofeeva.90@mail.ru*

Ключевые слова: строительные материалы, биоцидные добавки, композиционное вяжущее, бетон, раствор

COMPOSITE BINDER FOR MANUFACTURING CONCRETE AND MORTAR

Elchishcheva T.F.¹, Erofeeva I.V.²

¹ *Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department "Architecture and urban planning", Russia, elschevat@mail.ru*

² *Moscow State University of Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Fundamentals of Architecture and Artistic Communications", Russia, ira.erofeeva.90@mail.ru*

Key words: building materials, biocidal additives, composite binder, concrete, mortar

При разработке новых строительных материалов (бетонов, кладочных и штукатурных растворов, сухих строительных смесей и т.д.) для наружных ограждающих конструкций зданий весьма актуальным является использование перспективных вяжущих на основе портландцемента, отвечающих современным требованиям строительного материаловедения.

В результате патентного поиска исследованы пять составов композиционных вяжущих, имеющих наиболее близкие характеристики к разработке. В качестве прототипа был принят состав вяжущего, содержащий следующие компоненты, в % по массе: портландцемент – 26, кварцевый песок – 74, агар – 0,5, вода – 14.

Авторским коллективом разработан состав композиционного вяжущего и получен Евразийский патент на изобретение № 040942 [1], которое может быть использовано для изготовления изделий и конструкций из бетонов и других цементных композитов различных видов в гражданском и транспортном строительстве, в том числе, специального назначения.

Технический результат разработки заключается в повышении физико-механических характеристик цементного камня, что ведет к повышению прочности и увеличению долговечности бетонов на его основе, а также в снижении расхода портландцемента путем замены его активированным наполнителем минерального происхождения на основе смеси порошков кварца и доломита и применении в рецептуре водной суспензии.

Разработанный состав композиционного вяжущего включает: портландцемент М500-Д0 Н (производство «Ульяновский цементный завод», г. Ульяновск), ГОСТ 31108 [2], сухой суперпластификатор «Melflux 5581F» (производство BASF Construction Additives, Германия), смесь кварцевого и доломитового порошков (3:1) дисперсностью, соответственно, 300 и 600 м²/кг, биоцидную наномодифицирован-

ную добавку РОСИМА GT (НМ) в виде водной суспензии, состоящей из РОСИМА GT (производство The Dow Chemical Company, США) – смесь хлорметил-/метилизотиазолинона, четвертичного аммониевого соединения, формальдегида и производных формальдегида) и нанодисперсных форм неорганических и органических соединений (смесь наполнителя, суперпластификатора и углеродных кластеров фуллероидного типа, улучшающих технологические и функциональные свойства добавки РОСИМА GT). Наполнитель является носителем фуллероидных кластеров и представляет собой смесь наночастиц в виде попутных продуктов синтеза фуллероидных кластеров – 3–5 % (масс.) и минеральной добавки (например, шунгитового порошка) – 95–97 % (масс.).

Состав разработанного композиционного вяжущего, в % по массе: портландцемент – 45,0–52,0; сухой суперпластификатор «Melflux 5581F» – 0,2–0,22; кварцевый порошок на основе песка Смольнинского карьера (пос. Смольный, Республика Мордовия) с удельной площадью поверхности $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ – 35,0–39,0; доломитовый порошок с $S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$ (химический состав, %: CaO – 30,4, MgO – 21,7, CO₂ – 47,9) – 11,8–13,98; водная суспензия – 1,0–1,8; вода по ГОСТ 23732-2011 [3] – составляет остальной процент.

Изготовление образцов проходило по следующей схеме. В работающий смеситель вводились все сухие компоненты, подавалась вода затворения с растворенными в ней пластифицирующей и биоцидной добавками. Далее проводилось формование образцов. Набор прочности композитов происходил в нормальных условиях в течение 28 суток, затем определялись их физико-механические характеристики – прочность при изгибе, сжатии, раскалывании и выявлялась биологическая стойкость.

Преимущества состава по сравнению с прототипом: повышение прочности на изгиб и сжатие, биологическая стойкость цементного камня; экономический эффект за счет снижения расхода портландцемента путем его замены реакционно-реологическим наполнителем минерального происхождения и применением в рецептуре биоцидной добавки.

Прочность изготовленных образцов цементных композитов определялась [4, 5] в зависимости от соотношения компонентов в составе композиционного вяжущего, и, по сравнению с составом-прототипом, при изгибе выше на 13,7–68,8 %, при сжатии – на 2–33,7 %, при раскалывании – на 70,0–130,0 %. Развития плесневых грибов [6] на поверхностях образцов не наблюдалось, они обладают фунгицидными свойствами, радиус зоны ингибирования роста грибов составляет 1,0–10,0 мм.

Список использованных источников

1. Ерофеев В.Т., Пухаренко Ю.В., Ерофеева И.В. и др. Композиционное вяжущее // Евразийский патент на изобретение № 040942 от 22.08.2022. Оpubл. бюл. Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» №8 от 19.08.2022 г.
2. ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 19 с.
3. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.
4. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. М.: МНТКС, 2002. 30 с.
5. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2018. 32 с.
6. ГОСТ 9.049.91. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. М.: Изд-во стандартов, 1992. 11 с.

ТЕРМОНАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Ильичев В.А.¹, Никифорова Н.С.², Коннов А.В.³

¹ *Российская академия архитектуры и строительных наук, академик РААСН, д.т.н., профессор, Россия, ilyichev@bk.ru*

² *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, с.н.с., д.т.н., профессор кафедры Механики грунтов и геотехники, Россия, n.s.nikiforova@mail.ru*

³ *Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, Россия, artem.konnov@gmail.com*

Ключевые слова: термонапряженно-деформированное состояние, численные методы расчета, преобразованные основания, струйная цементация, криолитозона

THERMAL STRESS STRAIN STATE OF IMPROVED BASES IN PERMAFROST

Ilyichev V.A.¹, Nikiforova N.S.², Konnov A.V.³

¹ *Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, RAACS academic, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Russia, ilyichev@bk.ru*

² *National Research Moscow State University of Civil Engineering, senior researcher, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Soil mechanics and geotechnics, Russia, n.s.nikiforova@mail.ru*

³ *Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Candidate of Sciences (Engineering), Russia, artem.konnov@gmail.com*

Key words: thermal stress strain state, numerical calculation methods, improved bases, jet grouting, permafrost

Преобразование грунтовых оснований зданий и сооружений широко распространено в геотехнической практике. Исследования авторов статьи [1] показывают, что преобразование оснований можно рассматривать как конструктивное мероприятие, позволяющее возводить здания и сооружения в криолитозоне на слабых грунтах и обеспечивать их эксплуатационную пригодность в условиях потепления климата. Перспективной технологией преобразования оснований в криолитозоне является технология струйной цементации, которая уже имеет случаи практического применения в многолетнемерзлых грунтах (ММГ) [2, 3]. Для дальнейшего внедрения технологии необходим расчетный прогноз термонапряженно-деформированного состояния (ТНДС) преобразованных оснований для оценки влияния на многолетнемерзлые грунты в длительной перспективе с учетом потепления климата.

На основании полученных авторами в лаборатории теплофизических характеристик грунтоцементав программном комплексе Frost 3D было произведено численное моделирование термонапряженно-деформированного состояния преобразованного по струйной технологии многолетнемерзлого основания, растепленного до глубины 3 м при устройстве плитных фундаментов промышленного объекта, преобразованного грунтоцементными элементами до глубины залегания ММГ в целях стабилизации осадки фундаментов. Решалась нестационарная задача температурного распределения в грунтовом массиве с учетом (рисунок 1) и без учета теплового влияния здания на промежуток времени 50 лет при повышении температуры воздуха вследствие потепления климата. Для анализа ТНДС был вычислен коэффициент температуропро-

водностигрунтоцемента и окружающего крупнообломочного грунта.

Доказано, что в преобразованных по технологии струйной цементации основаниях наблюдается незначительное уменьшение толщины СТС и понижение температуры многолетнемерзлых грунтов. Установлен период без осадочной эксплуатации здания на преобразованных основаниях при растеплении ММГ вследствие теплового влияния здания (II принцип строительства на ММГ) и потепления климата.

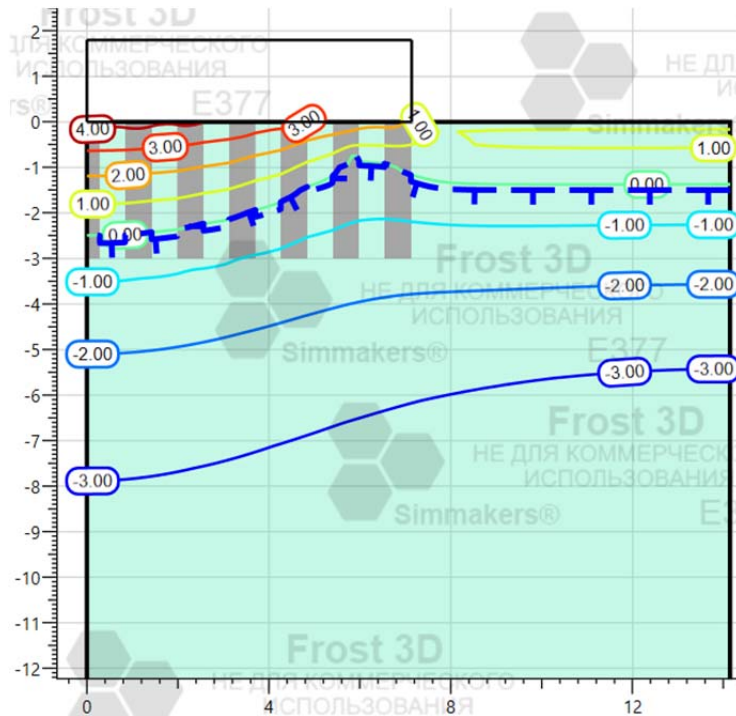


Рисунок 1 – Температурное распределение в массиве грунта в летний период (август) через 10 лет после преобразования основания

Список использованных источников

1. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Коннов А.В. Влияние преобразования грунтов криолитозоны на их температурное состояние в основании здания // Жилищное строительство. 2022. № 9. - С. 12-17.
2. Маковецкий О.А., Рубцова С.С. Особенности применения технологии Jet grouting в многолетнемерзлых грунтах // Фундаменты. 2022. № 1. С. 6–7.
3. Зувев С.С., Каменских Е.М., Маковецкий О.А. О возможности применения технологии струйной цементации грунта в зоне многолетнемерзлых грунтов // Жилищное строительство. 2022. №9. С. 1-8.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА НА ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ. ПОЛНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Каримуллин И.С.¹, Алехин В.Н.², Ушаков О.Ю.³

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», аспирант кафедры «САПРОС», Россия, ivankarimullin@yandex.ru

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», к.т.н., профессор кафедры «САПРОС», Россия, referetsf@yandex.ru

³ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», к.т.н., доцент кафедры «САПРОС», Россия, ushakovoleg@yandex.ru

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая нагрузка, подпорные стены, квазистатический метод, динамический метод, обратная засыпка

SEISMIC PRESSURE OF SOIL ON RETAINING WALLS. FULL-SCALE DYNAMIC ANALYSIS

Karimullin I.S.¹, Alekhin V.N.², Ushakov O.Y.³

¹ Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Candidate of Technical Sciences, PhD student, Department of the Systems of computer-aided design of construction objects, Russia, ivankarimullin@yandex.ru

² Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Systems of computer-aided design of construction objects, Russia, v_pereferetsf@yandex.ru

³ Voronezh State Technical University Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, PhD student, Department of the Systems of computer-aided design of construction objects, Russia, ushakovoleg@yandex.ru

Key words: earthquake, seismic load, retaining walls, pseudo static method, continuous method, backfill

Актуальность учета сейсмического воздействия на строительные конструкции возрастает с каждым годом. Землетрясения, произошедшие в марте 2023 года в Турции, также подтверждают актуальность данной темы. В настоящее время разработаны нормы и методики учета сейсмического воздействия на надземные здания и сооружения. Однако, помимо надземных сооружений необходимо учитывать сейсмическое влияние на подземные сооружения, в частности на консольные подпорные сооружения. Исследования сейсмического давления грунта начались еще в 1923 году и не прекращались по сей день.

Общепринятый квазистатический метод определения сейсмического давления грунта на подпорные сооружения применяется до сих пор. Но с развитием технологий и расчетных комплексов появилась возможность исследования данного вопроса. Исследователи моделируют ситуации, которые наиболее приближены к действительности, однако не все еще вопросы были озвучены и отражены в исследованиях.

Например:

1) схемы разрабатывались для моделирования только ствола подпорной стены, по умолчанию не учитывалось инерционное движение всей подпорной стены консольного типа;

2) записи колебаний грунта, включенные во многие исследования недостаточны для оценки истинного сейсмического поведения;

3) аналитические и численные модели были предложены без проверки событий

движения грунта с точки зрения магнитуды землетрясения, типа разломов, расстояния от источника до площадки и характеристик движения грунта (амплитуда, продолжительность и частотный состав).

Реалистичный подход к оценке сейсмической нагрузки на консольную подпорную стену должен основываться на полном моделировании конструктивных элементов подпорной стены (ножки и пяты), точном определении грунтовых условий и динамических параметров грунта, а также на корректном моделировании граничных условий с надлежащим учетом характера сейсмических движений.

В данном докладе представлено сейсмическое поведение подпорной стенки консольного типа с использованием численного метода конечных элементов в программном комплексе PLAXIS 2D. Настоящее исследование дает количественную оценку сейсмического давления грунта на стенку и моменту вдоль стволовой и пяточной частей стены на протяжении каждого землетрясения. В исследовании также представлены перемещения подошвы стены вызванное сейсмическим воздействием. Количественная оценка сейсмического бокового давления грунта, связанного с сильным движением четырех различных землетрясений, в виде уникального срединного отклика. Медианный ответ сравнивается с имеющимися предложениями, полученными с помощью аналитических решений, квазистатических численных решений и физических моделей.

Несмотря на то, что многие исследователи изучали сейсмическое поведение подпорных конструкций, лишь немногие обратились к интегральным консольным подпорным стенам (стволу и основанию) и подвергли их сейсмическим воздействиям на основе истории достаточного количества землетрясений в реальном времени. Недостатки некоторых из этих исследований заключаются в том, что не используются записи реальных землетрясений или используется недостаточное количество кандидатов на землетрясения.

В этом исследовании представлен полный динамический анализ. Сейсмический анализ консольной подпорной конструкции с использованием двумерного анализа. Особое внимание было уделено правильному моделированию реального поведения консольной подпорной стены как в статических, так и в сейсмических условиях. Следовательно, был рассмотрен правильный выбор параметров грунта-конструкции, определяющих моделей, граничных условий, размера модели, демпфирования и взаимодействия грунт-конструкция.

Список использованных источников

1. *Abdelwahhab, N. S.* Seismic loading on cantilever retaining walls: Full-scale dynamic analysis / N. S. Abdelwahhab, Y.E. Omar, I.A. Mahamed // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. – 2019. – Vol. 130 № 105962 – P. 1-18. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105962> (датаобращения 16.09.2022).
2. Calculation of earth pressure on rigid retaining walls with considerations to the seismic load and soil stress-deflection / *L.Y. Zhu, J. Yu, J. F. Zhou, B. X. Tu, Y. Y. Cai* // *Journal of Vibroengineering*. – 2018. – Vol. 20 №3 – P. 1488-1500. – URL: <https://doi.org/10.21595/jve.2017.19298> (датаобращения 14.04.2022).
3. *Keykhosropour, L.* Experimental studies of seismic soil pressures on vertical flexible, underground structures and analytical comparisons / *L. Keykhosropour, A. Lemmitzer* // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. – 2019. – Vol. 118 – P. 166-178. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.12.012> (датаобращения 16.09.2022).
4. *Mononobe, N.* On the determination of earth pressure during earthquakes / N. Mononobe, H. Matsuo // *In Proc. Of the World Engineering Conf.* – 1929. – Vol. 9, str. 176
5. *Бирбраер, А.Н.* Расчет конструкций на сейсмостойкость / А.Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург: Наука, 1998 – 253 с.
6. СП 381.13330.2018 Сооружения подпорные. Правила проектирования

ПОСТРОЕНИЕ ОРТОТРОПНОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ДЛЯ ОБЩЕГО СЛУЧАЯ ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Корсун В.И.¹

¹ *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, д.т.н., профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций, Россия, korsun_vi@mail.ru*

Ключевые слова: бетон, объемное напряженное состояние, ортотропная модель деформирования

CONSTRUCTION OF ORTHOTROPIC MODEL OF CONCRETE DEFORMATION FOR THE GENERAL CASE OF VOLUME STRESS STATE

Korsun V.I.¹

¹ *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Russia, korsun_vi@mail.ru*

Key words: concrete, volumetric stress state, orthotropic deformation model

Основным фактором, затрудняющим развитие методов расчета сложно напряженных железобетонных конструкций, является деформационная анизотропия (ортотропия), обусловленная направленными процессами уплотнения и разуплотнения структуры бетона (эффектов сжимаемости и дилатации) вследствие микротрещинообразования при нагружении.

Представлено построение соотношений ортотропной модели деформирования бетона для общего случая объемного напряженного состояния. В качестве исходных приняты соотношения дилатационной модели Г.А. Гениева [1]. Развитие модели осуществлено для общего случая объемного напряженного состояния в трех составляющих:

- предложен трансформируемый, в зависимости от вида напряженного состояния, закон изменения модулей деформаций бетона (трансформируемые диаграммы деформирования);

- составляющая псевдопластических деформаций, обусловленная микроразрушениями в структуре бетона, представлена суммой объемных разнонаправленных деформаций сдвигового уплотнения Θ_{pc} и сдвигового разуплотнения Θ_d ;

- параметры ортотропии деформирования бетона, обусловленные направленным процессом микроразрушений в его структуре, получены из соотношений предложенной пространственной модели сдвига-отрывного механизма разрушения бетона [2] и представлены соответствующими соотношениями компонент тензора-девиатора напряжений (при $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$).

В разрабатываемом модифицированном варианте дилатационной модели деформирования бетон представлен моделью ортотропного тела, ортотропные свойства которого обусловлены направленным развитием микроразрушений в его структуре, проявляющимися в виде эффектов сжимаемости и дилатации. Основные соотношения ортотропной модели деформирования бетона представлены соединением решений механики деформирования условно сплошного тела и элементов механики разрушения.

Тензор полных деформаций бетона представлен суммой тензора деформаций условно сплошного тела (E^I) и тензора псевдопластических деформаций (E^{II}), обусловленных микроразрушениями в структуре бетона: (E) = (E^I) + (E^{II}). То же, в развернутой форме:

$$[\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \Delta\gamma_{12}, \Delta\gamma_{23}, \Delta\gamma_{31}]^T = \frac{1}{E} \cdot \begin{vmatrix} \sigma_1 & -\mu_0\sigma_2 & -\mu_0\sigma_3 \\ -\mu_0\sigma_1 & \sigma_2 & -\mu_0\sigma_3 \\ -\mu_0\sigma_1 & -\mu_0\sigma_2 & \sigma_3 \end{vmatrix} + [\Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2, \Delta\varepsilon_3, \Delta\gamma_{12}, \Delta\gamma_{23}, \Delta\gamma_{31}]^T$$

где $\Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2, \Delta\varepsilon_3, \Delta\gamma_1, \Delta\gamma_2, \Delta\gamma_3$ – псевдопластические деформации, не связанные непосредственно с напряжениями и обусловленные микротрещинообразованием в структуре.

Линейные компоненты полных деформаций:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E} - \frac{\mu_0}{E} \cdot (\sigma_j + \sigma_k) + a_i \cdot \Theta_d + b_i \cdot \Theta_{pc}; \quad (i, j, k = 1, 2, 3).$$

$a_i, b_i (i = 1, 2, 3)$ – коэффициенты ортотропии, определяемые, исходя из сдвиго-отрывного механизма разрушения структуры бетона по типу «зигзаг-трещин» [2]:

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1; \quad b_1 + b_2 + b_3 = 1$$

Объемные псевдопластические деформации Θ_{pc} и Θ_d определяются по модифицированным выражениям [4], модуль дилатации – по известной формуле Е.С. Лейтеса [5].

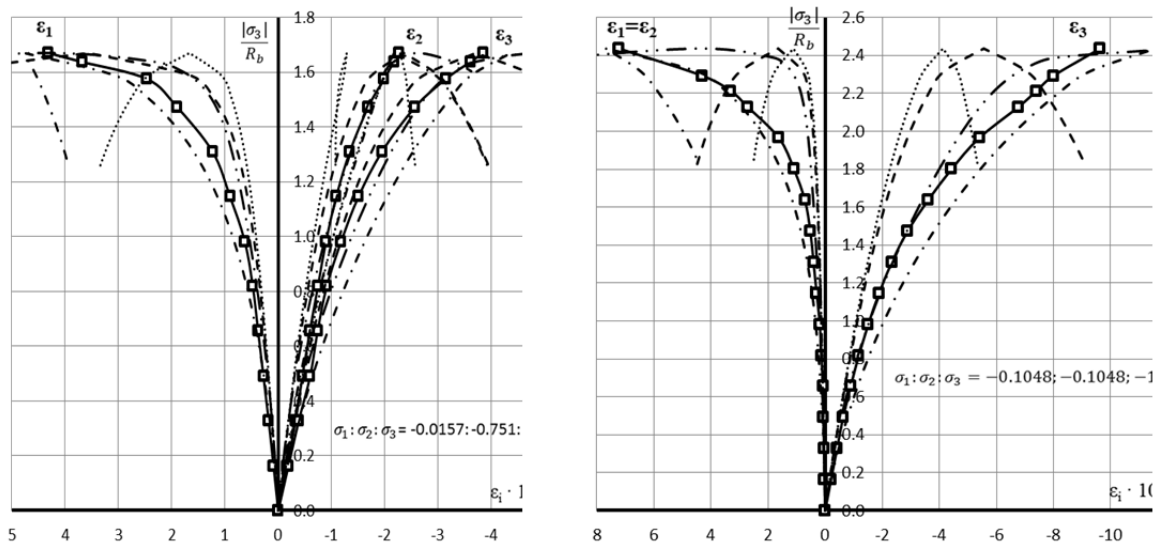


Рисунок 1 – Диаграммы деформирования бетона в условиях простого (пропорционального) трехосного сжатия:

- опытные данные А.В. Яшина [6] при $\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3 = -0.0157:-0.751:-1$ и $\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3 = -0.1048:-0.1048:-1$;
- теоретические значения по моделям Г.А. Гениева [1], Н.И. Карпенко [3] и по модифицированным вариантам ортотропных моделей [2], [4]

Выводы:

1. Предложены аналитические выражения для описания составляющих полных деформаций бетона: упругопластических деформаций, не связанных с разрушением его структуры и псевдопластических деформаций, обусловленных процессами мик-

ро- и макротрещинообразования в структуре бетона.

2. Сопоставление расчетных величин деформаций бетона с опытными свидетельствует об их хорошем соответствии во всех характерных областях плоских напряженных состояний и близком соответствии в областях трехосных напряженных состояний, приближенных к плоским ($|\sigma_1| \leq 0,3 \cdot |\sigma_2|$).

3. Применительно к современным высокопрочным бетонам параметры расчетной модели подлежат уточнению по результатам экспериментальных исследований по специальным программам одно-, двух- и трехосных напряженных состояний.

Список использованных источников

1. *Гениев Г.А., Кислюк В.Н., Тюпин Г.А.* Теория пластичности бетона и железобетона. - М.: Стройиздат, 1974 - 316с.
2. *Корсун В.И.* Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. – Макеевка: ДонГАСА, 2004. – 153 с.
3. *Карпенко Н.И.* Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
4. *Корсун В.И., Недорезов А.В.* Вариант описания закономерностей упруго-пластического и псевдопластического деформирования бетона в условиях объемного напряженного состояния //Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2014. –№ 2. – С. 147-168.
5. *Лейтес Е.С.* К построению теории деформирования бетона, учитывающей нисходящую ветвь диаграммы деформаций материала. - В кн.: Новые исследования элементов железобетонных конструкций при различных предельных состояниях. - М.: НИИЖБ, 1982. - С. 24-32.
6. *Яшин А.В.* Рекомендации по определению прочностных и деформационных характеристик бетона при неосесимметричных напряженных состояниях. – М.: 1985.- 72с.

ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ОТСЧЕТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ К ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ СЛОИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Мамонтов А.А.¹, Мамонтов С.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, *sansanich1409@yandex.ru*

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, *kardinal61@mail.ru*

Ключевые слова: армирующие слои, интенсивность напряжений, метод отсчетных поверхностей, пенополистирол беспрессовый, слоистая структура.

APPLICATION OF THE METHOD OF REFERENCE SURFACES TO THE ASSESSMENT OF THE STRESS-STRAIN STATE OF POLYSTYRENE FOAM LAMINATED PRODUCTS

Mamontov A.A.¹, Mamontov S.A.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department «Structures of buildings and constructions», Russia, *sansanich1409@yandex.ru*

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department «Structures of buildings and constructions», Russia, *kardinal61@mail.ru*

Key words: reinforcing layers, stress intensity, reference surface method, expanded polystyrene foam, layered structure.

На отечественном рынке полимерных теплоизоляционных материалов до 50% от общего объема занимают изделия из беспрессового пенополистирола. Они производятся путем вспенивания гранул полистирола, которые спекаются друг с другом в высокоэластическом состоянии с образованием контактных зон и межгранульных пустот. Действие механических нагрузок и окружающей среды нарушает контакт гранул, увеличивает дефектность макроструктуры материала, ухудшает его физико-механические свойства вплоть до разрушения изделий, что обуславливает низкую долговечность не только самого утеплителя, но и изолируемых им систем.

Увеличить долговечность беспрессовых пенополистирольных изделий возможно путем формирования их слоистой структуры склеиванием армирующих слоев из стеклотканевых материалов. Возникающие при этом адгезионные связи уменьшают величину внутренних напряжений и разгружают контактную зону пенополистирольных гранул, сокращая вклад механического поля в термоактивационный процесс разрушения полистирола. Образующиеся дополнительные поверхности раздела тормозят развитие трещин в структуре и увеличивают вязкость разрушения материала [1].

Аналитическое исследование характера распределения внутренних напряжений производилось путем адаптации конечно-элементного метода отсчетных поверхностей [2] на модели механически нагруженной балки, состоящей из беспрессовых пенополистирольных слоев толщиной $h_n = 10$ мм армирующих стеклотканевых слоев толщиной $h_f = 0,55$ мм. Ширина прямоугольного поперечного сечения балки принималась равной $b = 30$ мм, расчетный пролет – $L = 100$ мм. Рассматривались следующие модели пенополистирольных балок: неармированная; с армирующей прослойкой (рисунок 1); с армирующими покрытиями; с армирующими покрытиями и прослойкой.

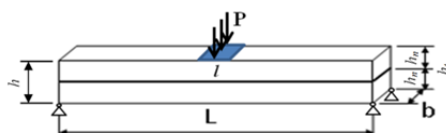


Рисунок 1 – Модель балки с пенополистирольными и армирующим стеклотканевым слоями

В расчете принимались следующие значения упругих характеристик материалов [3]:

- беспрессовый пенополистирол: $E_1^{(l)} = E_2^{(l)} = E_3^{(l)} = 14$ МПа; $G_{12}^{(l)} = G_{13}^{(l)} = G_{23}^{(l)} = 4,7$ МПа; $\nu_{12}^{(l)} = \nu_{13}^{(l)} = \nu_{23}^{(l)} = 0,49$ при $l = 1,3$;

- стекловолокно: $E_c = 7200$ МПа; $\nu_c = 0,3$;

- клей на основе сополимеров винилацетата: $E_k = 170$ МПа; $G_k = 58,62$ МПа; $\nu_k = 0,45$;

- стеклотканевая сетка, пропитанная клеем: $E_1^{(m)} = E_2^{(m)} = 2655,32$ МПа; $E_3^{(m)} = E_k = 170$ МПа; $G_{12}^{(m)} = 918,8$ МПа; $G_{13}^{(m)} = G_{23}^{(m)} = G_k = 58,62$ МПа ; $\nu_{12}^{(m)} = 0,445$; $\nu_{13}^{(m)} = \nu_{23}^{(m)} = \nu_k = 0,45$ при $m = 2$.

При выполнении программного расчета использовались конечно-элементные сетки размером 50x10 с выбором в каждом слое 5 отсчетных поверхностей, которые располагались на расстояниях от срединной поверхности, определяемых корнями многочлена Чебышева [2]. По результатам расчета строилась картина распределения напряжений в слоях балки и определялась величина их интенсивности (рисунок 2) [3].

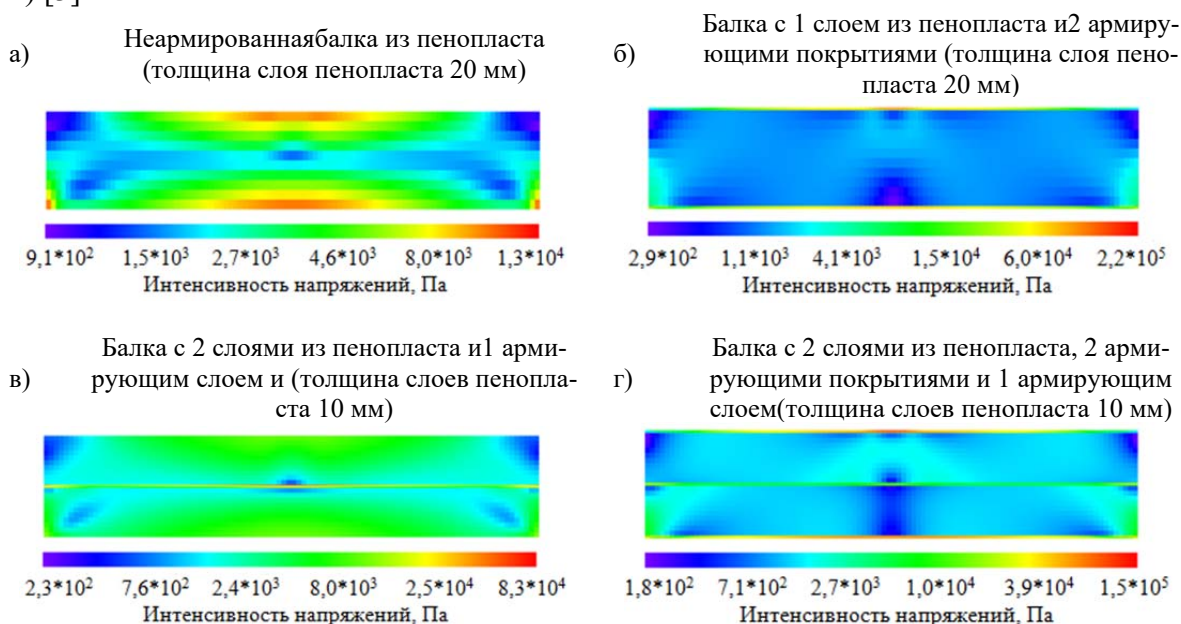


Рисунок 2 – Поля интенсивности напряжений в расчетных моделях неармированных и армированных пенополистирольных балок

Из рисунка 2а видно, что у модели неармированной пенополистирольной балки наблюдается концентрация напряжений в пенопласте. Вклеивание одной армирующей прослойки (рисунок 2в) способствует распределению напряжений, разгрузке контактного слоя в области армирования и снижению интенсивности напряжений в пенопласте в 1,5 раза. Наибольший эффект обнаружен в модели пенополистирольной балки с армирующими покрытиями и прослойкой (рисунок 2г). При этом интенсивность напряжений в пенопласте 30 раз меньше, чем в модели неармированной балки.

Механическими испытаниями пенополистирольных образцов-балочек с указанными схемами армирования стеклотканевыми сетками выявлена сходимость результатов физического и численного экспериментов, подтверждена адекватность принятых в расчетных моделях условий и допущений, доказана применимость конечно-элементного метода отсчетных поверхностей к анализу напряженно-деформированного состояния беспрессовых пенополистирольных слоистых изделий.

Список использованных источников

1. *Ярцев В.П., Монастырев П.В., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А.* Долговечные теплоизоляционные пенополистирольные слоистые изделия // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 7(751). – С. 50-63.
2. *Куликов Г. М., Плотникова С.В.* Решение трехмерных задач для толстых упругих оболочек на основе метода отсчетных поверхностей // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2014. – № 4. – С. 54-64.
3. *Мамонтов А. А., Ярцев В.П., Куликов Г.М.* Численный анализ напряженно-деформированного состояния теплоизоляционных пенополистирольных плит, армированных стеклотканевыми сетками // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летию юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ, Тамбов, 22–25 мая 2019 года. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2019. – С. 350-354.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ В УСЛОВИЯХ НАТУРНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Низин Д.Р.¹, Низина Т.А.², Станкевич А.С.³, Спириин И.П.⁴

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», к.т.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз, Россия, nizindi@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», д.т.н., профессор кафедры «Строительные конструкции», Россия, nizinata@yandex.ru

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», аспирант кафедры «Строительные конструкции», Россия, ar.stankevich@gmail.com

⁴ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», магистрант кафедры «Строительные конструкции», Россия, spirinil2000@yandex.ru

Ключевые слова: эпоксидные полимеры, температура поверхности, машинное обучение, временной ряд.

PREDICTION OF THE EPOXY POLYMERS SURFACE TEMPERATURE UNDER THE NATURAL CLIMATIC IMPACT USING MACHINE LEARNING

Nizin D.R.¹, Nizina T.A.², Stankevich A.S.³, Spirin I.P.⁴

¹National Research Mordovia State University, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Research Laboratory of Ecological and Meteorological Monitoring, Construction Technologies and Expertise, Russia, nizindi@yandex.ru

²National Research Mordovia State University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Structures, Russia, nizinata@yandex.ru

³National Research Mordovia State University, Postgraduate student of the Department of Building Structures, Russia, ar.stankevich@gmail.com

⁴ National Research Mordovia State University, Master's student of the Department of Building Structures, Russia, spirinil2000@yandex.ru

Key words: epoxy polymers, surface temperature, machine learning, timeseries.

Климатическое старение полимерных материалов, в т.ч. композиционных, различного функционального назначения, представляет собой комплексный процесс, достоверное воспроизведение которого в лабораторных условиях в настоящий момент не представляется возможным [1-3]. В свою очередь, оценка натурной климатической стойкости материалов не только зависит от климатической зоны проведения испытаний, но и характеризуется высокой длительностью, что, в совокупности, ограничивает широкое применение данного подхода. Альтернативным направлением оценки изменения свойств полимерных материалов под действием натуральных климатических факторов является использование в качестве входных данных количественных значений факторов окружающей среды, в т.ч. суммарной солнечной радиации, ультрафиолетового излучения диапазонов А и В, атмосферных осадков, давления, температуры, относительной и абсолютной влажности воздуха, концентрации за-

грязняющих веществ и др. Учитывая огромное число возможных сочетаний рассматриваемых параметров, меняющихся в зависимости от климатической зоны, сезонности и, безусловно, антропогенного воздействия, сопровождаемых синергетическими и нейтрализующими эффектами, наиболее оптимальным инструментом прогнозирования изменения свойств, а также получения новых знаний о процессах климатического старения полимерных материалов является машинное обучение.

Очевидно, что процесс климатического старения не может рассматриваться в отрыве от характеристик исследуемого материала. Как следствие, при оценке климатической стойкости материала в качестве исходных параметров следует также рассматривать его эксплуатационные характеристики – линейные размеры изделия и их соотношение, влажностное состояние, температуру и влажность поверхности и т.д.

Известно [1, 3], что в процессе натурального экспонирования полимерных изделий и конструкций в сезоны с высокими значениями суммарной солнечной радиации температура поверхности может превышать температуру окружающего воздуха на 30 и более градусов. В работе [4] продемонстрировано, что подобный перегрев в ряде случаев может превышать температуру стеклования эпоксидных полимеров, что, в свою очередь, сопровождается кратным ускорением процессов термовлажностного старения. Однако, фиксация температуры поверхности полимерных материалов в режиме реального времени не всегда представляется возможной в виду необходимости использования дополнительного и, в ряде случаев, специализированного оборудования.

В работе представлены модели машинного обучения, прогнозирующие температуру и влажность поверхности образцов эпоксидных полимеров в зависимости от количественных значений факторов окружающей среды.

В качестве объектов исследования выступили образцы эпоксидных полимеров на основе эпоксидной смолы Этал-247 и отвердителей Этал-1472 и Этал-45М производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Для сбора значений температуры и влажности поверхности образцов использовались логгеры температуры и влажности DS1923-FS; шаг фиксации – 1 час. Предобработка данных, обучение, валидация и тестирование модели осуществлялись в среде разработки Jupyter Notebook.

В ходе исследования проанализированы различные наборы входных признаков, определено оптимальное число лаг-признаков (при прогнозировании температуры и влажности поверхности как части временного ряда), а также выполнено ранжирование входных признаков по наибольшему вкладу в предсказание целевого признака.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00206, <https://rscf.ru/project/22-79-00206/>*

Список использованных источников

1. Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р. Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография. Саранск : Изд-во Мордов. Ун-та, 2020. 188 с.
2. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 11. С. 19–27.
3. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравномерности и градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 12. С. 40–46.
4. Низин Д.Р. Климатическая стойкость защитно-декоративных покрытий на основе модифицированных эпоксидных связующих : дис. канд. техн. наук. Саранск, 2017. - 216 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОНЕСУЩИХ СООРУЖЕНИЙ С ВМЕЩАЮЩИМ ГРУНТОВЫМ МАССИВОМ ПРИ НЕОРДИНАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

*Перминов Н.А.*¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения», к.т.н.,
доцент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса», Россия, perminov-n@mail.ru

Ключевые слова: моделирование взаимодействие, подземные сооружения, грунтовый массив, неординарные воздействия

MODELING OF INTERACTION OF SPATIALLY COUPLED UNDERGROUND WATER-BEARING STRUCTURES WITH A HOST SOIL MASS UNDER EXTRAORDINARY INFLUENCES

*Perminov N.A.*¹

¹St. Petersburg State University of Railway Transport, Associate Professor of the Department
"Construction of Roads of the transport complex", Russia, perminov-n@mail.ru

Key words: modeling interaction, underground structures, soil massif, extraordinary impacts

Сопряженные и сборные водонесущие сооружения характеризуются особыми условиями работы во вмещающем грунтовом массиве при неординарных воздействиях. Проявление этих условий особо ощутимо для длительно эксплуатируемых сборных водопропускных сооружений находящихся в теле двухпутного земляного полотна и сопряженных канализационных тоннелей с шахтными стволами. Для первого случая известно, что само двухпутное земляное полотно проявляет специфику напряженно - деформированного состояния (НДС) в условиях вибродинамического воздействия от подвижной нагрузки. Водопропускные сооружения из сборных элементов взаимодействует с телом двухпутного земляного полотна в условиях силового воздействия статической и вибродинамической нагрузки от встречного движения поездов. Эти воздействия носят разнонаправленный, динамический и знакопеременный характер. При этом исследованиями зафиксировано от 1,5 до 2-х кратного увеличение разнонаправленных горизонтальных составляющих амплитуд колебаний грунтов земляного полотна в зоне осей и междупутья. Экспериментально характер этого нестационарного воздействия зафиксирован на глубине до 2,5м от уровня основной площадки. В случае взаимодействия сопряженных тоннельных сооружений и шахтных стволов с вмещающим грунтовым массивом наблюдается нестационарный режим их работы при статических и динамических воздействиях. Геотехническое моделирование взаимодействия пространственно сопряженных линейных и точечных сооружений с грунтовым массивом обеспечивает конструкционную безопасность и бездефектность их совместной работы в условиях знакопеременных и разнонаправленных статических и динамических воздействий [1, 2].

Поскольку грунты земляного полотна достаточно однородны и имеют высокую степень распределительной способности за счет природной геотехнической зернистости, позволяющей осуществлять перераспределение напряжений в грунтовым массиве [3, 4], то факт наложения вибродинамического воздействия при встречном движении поездов не вызывает нарушения прочности и деформативности земляного полотна. Иная картина формирования напряженно-деформированного состояния наблюдается в зоне взаимодействия земляного полотна с контактирующими с ним или включенными в его тело конструктивными элементами с отличающимися на

несколько порядков (от 25 до 150МПа для грунтов насыпи и от 17000 до 32000МПа для бетонных сопряжений и включений) величинами упругих деформаций. Это относится к физически цельным бетонным конструкциям искусственных сооружений, например, устоям мостов и бетонными водопропускным трубам. При контактном взаимодействии «разноупругих» материалов тела насыпи и устоя моста происходит «скачек жесткости». Этот вопрос достаточно изучен при действии поездных нагрузок в условиях двухпутного движения поездов. Даны рекомендации для предотвращения деформаций насыпи земляного полотна в зоне контакта с устоем моста путем устройства различных конструкции переходной жесткости [5,6].

При встречном движении поездов в зоне расположения сборной водопропускной трубы в двухпутном земляном полотне так же, как и в выше рассмотренных случаях имеет место ситуация воздействия разнонаправленной горизонтальной составляющей поездной нагрузки, в том числе с вибродинамической составляющей, на систему «тело сборной железобетонной трубы - тело насыпи двухпутного земляного полотна». Последствия этого отрицательного воздействия отмечено многочисленными исследованиями, в том числе выполненными автором статьи [7, 8]. Анализ опытно-экспериментальных исследований показал, что основными дефектами сборных водопропускных труб длительно эксплуатируемых в двухпутных участках земляного полотна, приводящими к нарушению целостности тела трубы в зонах «скачка жесткости». При неравнопрочных стыковых соединениях циклические знакопеременные воздействия являются причиной их нарушения однородности работы линейного сооружения во вмещающем грунтовом массиве, разрушения неравнопрочных соединений в сопряженных звеньях и приводящие к смещению секций тела трубы. В силу особенностей сборной конструкции железобетонных водопропускных труб в статье делается попытка рассмотреть характер их работы в теле двухпутного земляного полотна для случая одновременного разнонаправленного воздействия поездной нагрузки при встречном движении поездов. На основе численного моделирования взаимодействия сопряженных линейных и точечных подземных сооружений между собой и со вмещающим грунтовым массивом приводятся рекомендации по повышению устойчивости их совместной работы в условиях неординарных воздействий.

Список использованных источников

1. *Ильичев В.А., Никифорова Н.С.* Методы определения кривизны и разницы между уклонами фундаментов как критериев деформации оснований зданий и сооружений // *Механика грунтов и устройство фундаментов.* 2018. Т. 55. № 3. С. 168-172.
2. *Травуш В.И., Шулятьев О.А.* Анализ результатов геотехнического мониторинга башни "Лахта Центр" // *Механика грунтов и устройство фундаментов.* 2019. Т. 56. № 2. С. 98-106.
3. *Карасев М.А., Тай Тянь Н., Вильнер М.А.* Прогноз напряженно-деформированного состояния сборных перекрытий подземных тоннелей криволинейного поперечного сечения // *Вестник Уральского государственного горного университета.* 2019. № 4 (56). С. 90-97.
4. *Лебедев М.О., Безродный К.П., Ларионов Р.И.* Обеспечение безопасности при строительстве двухпутных тоннелей метрополитена в четвертичных отложениях // В сборнике: *Туннели и подземные города: инженерия и инновации в археологии, архитектуре и искусстве - Материалы Всемирного туннельного конгресса ITA-AITES 2019. 45th.* 2019. Р. 941-951.
5. *Перминов Н.А.* Моделирование бездефектного жизненного цикла уникальных подземных сооружений канализационной системы на этапе их строительства в сложных грунтовых условиях // *Международный журнал вычислительной гражданской и строительной инженерии издательства ASV, LTD (Москва).* 2019. Т. 15. № 1. С. 119-130.
6. *Мангушев Р.А., Осокин А.И.* Опыт подземного строительства комплекса зданий на мягком грунте в центре Санкт-Петербурга // *Международный журнал вычислительной гражданской и строительной инженерии.* 2020. Т. 16. № 3. С. 47-53.
7. *Перминов Н.А.* Моделирование нестационарного взаимодействия большой оболочки с неоднородной грунтовой средой для постепенно увеличивающейся конструкции // *Серия конференций IOP: Издательство Института материаловедения и инженерии физики.* 2018. Р. 012059.
8. *Протосеня А.Г., Карасев М.А., Беляков Н.А.* Упругопластическая задача для некруглых отверстий по критерию Кулона // *Журнал горной науки.* 2016. № 52. № 1. С. 53-61.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОЗИТНОЙ ПРЕГРАДЫ И СТАЛЬНОГО УДАРНИКА

Пляскин А.С.¹, Белов Н.Н.², Югов Н.Т.³, Бабарыкина А.И.⁴

¹ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», к.т.н.,
заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций, Россия, *plyaskinandrei@mail.ru*

² ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», д.т.н.,
профессор кафедры высшей математики, Россия, *n.n.belov@mail.ru*

³ ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»,
д.т.н., профессор кафедры математики, Россия, *n.t.yugov@mail.ru*

⁴ ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», инженер
лаборатории конструкций низкой материалоемкости из композитных материалов, Россия,
babarykina.anna.i@yandex.ru

Ключевые слова: высокоскоростной удар, бетон, углекомпозит, ударник, математическое моделирование

MATHEMATICAL SIMULATION OF HIGH-SPEED INTERACTION OF A COMPOSITE OBSTACLE AND A STEEL IMPACT

Plyaskin A.S.¹, Belov N.N.², Yugov N.T.³, Babarykina A.I.⁴

¹ Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Head
of Department of Metal and Wooden Structures, Russia, *plyaskinandrei@mail.ru*

² Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Higher Mathematics, Russia, *n.n.belov@mail.ru*

³ Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Mathematics, Russia, *n.t.yugov@mail.ru*

⁴ Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, engineer of the laboratory of structures
of low material consumption from composite materials, Russia, *babarykina.anna.i@yandex.ru*

Key words: high-speed impact, concrete, carbon composite, striker, mathematical modeling

В современном мире сложно представить изучение поведения объекта или явления без применения математического моделирования, сочетающего в себе достоинства теории и эксперимента. Математический аппарат особенно незаменим при исследовании высокоскоростных процессов ударного взаимодействия, характеризующихся малой длительностью. Адекватная математическая модель, верифицированная с результатами физического эксперимента, дает возможность подробной интерпретации процесса, а также оценки влияния численных значений параметров модели на конечный результат [1-3]. Моделирование поведения конструкционных материалов в условиях динамического нагружения позволяет сформулировать необходимые требования к физико-механическим характеристикам вновь разрабатываемых конструкционных материалов и гибридных сечений строительных конструкций зданий и сооружений. Совместное проведение лабораторного эксперимента и математического моделирования дает возможность глубже понять протекающие процессы, дать верную интерпретацию полученных экспериментальных данных

В рамках предложенной математической модели поведения конструкционных материалов в условиях высокоскоростного удара был проведен расчет ударного взаимодействия стального цилиндрического ударника с конической головной частью и

композитной преграды при скорости встречи 602 м/с угле подхода 90° [4]. Толщина слоистой бетонной преграды 50 мм, на расстоянии 20 мм от лицевой поверхности выполнено армирование слоем углекомпозита толщиной 1 мм. Диаметр стального ударника $D_0 = 11$ мм, длина $L = 51$ мм ($L/D_0 = 4.68$). Начальная масса ударника равна 31,5 г. Параметры математической модели приведены в [5]. Расчет проведен до момента времени 190 мкс соответствующему сквозному пробитию композитной преграды стальным ударником.

По результатам проведенных численных исследований получены картины ударного взаимодействия композитной преграды с ударником. К моменту времени равному 50 мкс произошло внедрение ударника в тело преграды на глубину 19,2 мм с образованием кратера на лицевой поверхности диаметром 24,6 мм и снижением скорости ударника до 404 м/с. Картина ударного взаимодействия на момент времени 190 мкс приведена на рис. 1.

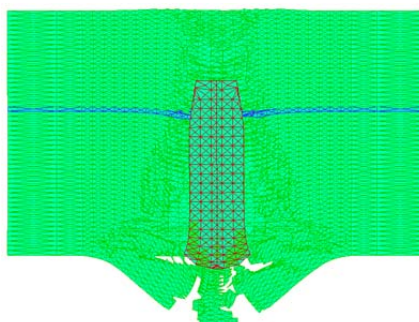


Рисунок 1 – Картина ударного взаимодействия стального ударника с композитной преградой на момент времени 190 мкс

В результате ударного взаимодействия композитной преграды и стального ударника при скорости встречи 602 м/с происходит сквозное пробитие с образованием откольной пробки. Диаметр кратера с тыльной с тыльной стороны преграды равен 55 мм. Запреградная скорость стального ударника после сквозного пробития составила 212 м/с, масса 27,95 г. Предложенная математическая модель поведения композитной преграды при высокоскоростном ударе даёт возможность создавать эффективные гибридные конструкции специальных зданий и сооружений, подверженных высокоинтенсивным воздействиям удара и взрыва.

Работа выполнена при поддержке госзадания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2022-0004.

Список использованных источников

1. Jianzhong Lai, Xujia Guo, Yaoyong Zhu. Repeated penetration and different depth explosion of ultra-high performance concrete. International Journal of Impact Engineering Volume 84 (2015): pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2015.05.006>.
2. Cao Y.Y.Y., Qingliang Yu, W.H. Tang, H.J.H. Brouwers. Numerical investigation on ballistic performance of coarse-aggregated layered UHPFRC //Construction and Building Materials, 2020№250. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820308722>. (дата обращения: 07.03.2023).
3. Shiu, W.; Donzé, F.V.; Daudeville, L. Discrete element modelling of missile impacts on a reinforced concrete target. International Journal of Computer Applications in Technology Volume 34, № 1 (2009):pp.33–41. doi:10.1504/IJCAT.2009.022700
4. Белов Н.Н., Буньков В.Е., Пляскин А.С., Югов Н.Т., Югов А.А. Исследование прочности бетонных, железобетонных и сталефибробетонных плит на высокоскоростной удар модельным снарядом // Современное промышленное и гражданское строительство. 2020. Т. 16. № 2. С. 41-51.
5. Belov N.N., Plyaskin A.S., Klopotov A.A., Yugov A.A. Deformation and fracture of sandwich concrete structures reinforced with carbon fiber under shock-wave loading. Russian Physics Journal. Volume 64, № 10 (2022): pp. 1977-1983.

ВЕРИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ НЕЛОКАЛЬНОГО ВО ВРЕМЕНИ ДЕМПФИРОВАНИЯ БАЛОЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА

Сидоров В.Н.¹, Бадьина Е.С.², Детина Е.П.³, Карташев Г.В.⁴

¹НИУ МГСУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики, Россия, sidorov.vladimir@gmail.com

²НИУ МГСУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», к.т.н., с.н.с. научно-образовательного центра компьютерного моделирования уникальных зданий, сооружений и комплексов, Россия, shepitko-es@mail.ru

³НИУ МГСУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», ст. преподаватель кафедры информатики и прикладной математики, Россия, detinaep@mgsu.ru

⁴НИУ МГСУ «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», инженер лаборатории динамики сооружений, gk091097@yandex.ru

Ключевые слова: модель нелокального демпфирования, колебания балки, материалы со сложной структурой, композит, наследственная механика, метод конечных элементов, временная нелокальность

VERIFICATION OF THE NUMERICAL MODEL OF NONLOCAL IN TIME DAMPING OF A BEAM ELEMENT ACCORDING TO THE RESULTS OF THE EXPERIMENT

Sidorov V.N.¹, Badina E.S.², Detina E.P.³, Kartashev G.V.⁴

¹Moscow State University of Civil Engineering, Head of the department of Informatics and Applied Mathematics, Russia, sidorov.vladimir@gmail.com

²Moscow State University of Civil Engineering, Senior Researcher of Scientific and Educational Center of Computer Simulation of Unique Buildings, Structures and Complexes, Russia, shepitko-es@mail.ru

³Moscow State University of Civil Engineering, Senior Lecturer of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Russia, detinaep@mgsu.ru

⁴Moscow State University of Civil Engineering, Engineer of Structural Dynamics Laboratory, Russia, gk091097@yandex.ru

Key words: non-local damping model, beam oscillations, materials with a complex structure, composite, hereditary mechanics, finite element method, temporal non-locality

В настоящее время при решении прикладных задач механики деформируемого твердого тела всё чаще применяются универсальные программные системы анализа. В этих системах, при моделировании колебаний механических систем по классическим методикам, внутреннее демпфирование материала описывается, как правило, в соответствии с принципами *локальной* механики. Исследуемая в работе модель колебаний изгибаемых балочных элементов конструкций основывается на концепциях наследственной механики считается *нелокальной* во времени моделью демпфирования. В рамках алгоритма метода конечных элементов уравнение равновесия механической системы, деформируемой в движении, представляется в матричном виде и записывается в перемещениях:

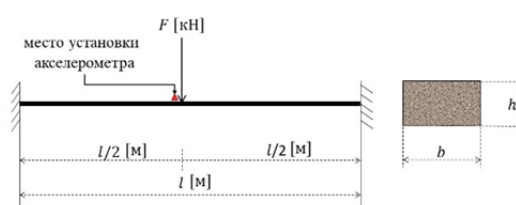
$$M \cdot \ddot{V}(t) + \alpha \cdot D \cdot \dot{V}(t) + (1 - \alpha) \cdot D \cdot \left[\int_{t_0}^t G(\mu, t - \tau) \dot{V}(\tau) d\tau \right] + K \cdot V(t) = \bar{F}(t), \quad (1)$$

где t_0, t – начальный и рассматриваемый моменты времени колебательного са; $G(\mu, t - \tau)$ – аналитическое представление функции ядра нелокального демпфирования, причем $\int_{t_0}^{t_i} G(\mu, t - \tau) d\tau = 1$; μ – параметр нелокальности демпфирования модели; $0 < \alpha < 1$ – весовой коэффициент нелокальности модели.

Эффективность нелокальной модели и ее преимущество перед классическими гипотезами *локальной* механики показаны на примере динамического анализа балки из материала со сложной структурой. Ключевые параметры модели нелокального демпфирования определяются по методике [1]. Испытуемые балки изготовлены из композитных материалов нового поколения, разработанных в лаборатории НОЦ Нанотехнологии НИУ МГСУ, с прочностью материалов от 40 до 106 МПа при плотности 1900-1300 кг/м³, [2]. С целью верификации параметров исследуемой модели проведён эксперимент по методике [3] при поддержке лаборатории динамики сооружений НИУ МГСУ. Импульсное возбуждение балки осуществлялось воздействием ударного молотка для модальных испытаний. Для регистрации ускорений конструкции в середине пролета использовали одноосевой акселерометр. Сигнал синхронизировался многоканальной измерительной системой с частотой дискретизации до 12 кГц. На рисунке 1 приведены экспериментальная установка (1.а) и расчетная схема балки (1.б) с отображением положения датчика акселерометра и точки приложения ударной нагрузки.



1.б)



1.а)

Рисунок 1 – Экспериментальная установка (с жестким защемлением по краям) с датчиками акселерометра в середине пролета (1.а); расчетная схема с отображением места установки датчика акселерометра и места приложения внешней нагрузки (1.б)

Результаты сравнения экспериментальных данных с расчетными приведены в таблице 1.

Разработанная численная модель демпфирования, адаптируемая к конечно-элементному динамическому анализу механических систем. Полученные результаты могут быть применены для дальнейшего проведения численных экспериментов над конструкциями из подобных материалов.

Таблица 1

Сравнение результатов расчета ускорений в начальный момент действия мгновенно приложенной силы с использованием локальной и нелокальной во времени моделей внутреннего демпфирования с экспериментальным ускорением балки

Наименование образца	Физические характеристики материала		Ускорения среднего сечения балки в начальный момент действия силы			Относительный коэффициент демпфирования	Параметры затухания нелокальной модели, верифицированной экспериментом
	ρ [кг/м ³]	E [МПа]	экспериментальное, $v''_{exp}(t_0)$ [м/сек ²]	локальной модели демпфирования, $v''_{loc.mod}(t_0)$ [м/сек ²]	нелокальной модели демпфирования, $v''_{nonloc.mod}(t_0)$ [м/сек ²]		
1900К	1862	41.4	-18.2295	-27.9980	-18.8706	0.090	0.0039; 0.61
1900С	1605	30.8	-4.5103	-4.4305	-4.9417	0.068	0.0040; 0.60
1900СФ	1602	37.7	-23.5027	-24.7726	-23.5083	0.170	0.0054; 0.46
1700К	1600	78.5	-15.582	-15.7716	-15.6326	0.077	0.0028; 0.41
1700С	1319	106.0	-23.1943	-20.0980	-23.4886	0.053	0.0021; 0.39

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 21-19-00634 (грант РФФ №21-19-00634)

Список использованных источников

1. Сидоров В.Н., Детина Е.П., Бадьина Е.С. Модифицированный метод Ньюмарка при динамическом расчете композитных элементов с учётом демпфирования с памятью, Механика композиционных материалов и конструкций, 2022, DOI: 10.33113/mkmk.ras.2022.28.01.098_111.05
2. Иноземцев А. С., Королев Е. В. Высокопрочные лёгкие бетоны: монография, Санкт-Петербургский государственный архитектурностроительный университет. – Санкт-Петербург, 2022. – 192 с.: ISBN 978-5-9227-1265-1
3. Smirnov V.A., Smolyakov M.Yu. Experimental Method for Structural Concrete Damping Properties Evaluation. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, v. 18 № 4 (2022), pp. 14-22.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПУСТОТНОСТИ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ СТЕН, ПОЛУЧЕННЫХ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Славчева Г.С.¹, Левченко А.В.², Шведова М.А.³, Каракчи-Огли Д.Р.⁴, Бабенко Д.С.⁵,
Юров П.Ю.⁶

^{1,2,3,4,5,6}ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

¹Д.т.н., профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Россия,
gslavcheva@yandex.ru

²К.т.н., старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов
им. проф. Ю.М. Борисова, Россия, alevchenko@vgasu.vrn.ru

³Младший научный сотрудник высшей школы строительного материаловедения, Россия,
marishwedowa@mail.ru

⁴Младший научный сотрудник высшей школы строительного материаловедения, Россия,
karakchiogli.david@mail.ru

⁵Инженер высшей школы строительного материаловедения, Россия, teleperedoz@mail.ru

⁶Аспирант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Россия,
yurov.py@yandex.ru

Ключевые слова: строительная 3Д-печать, прочность, стена, экспериментальная модель

3D-PRINTED WALLS BEARING CAPACITY EXPERIMENTAL MODEL WITH THE USE A HOLLOW PARAMETER

Slavcheva G.S.¹, Levchenko A.V.², Shvedova M.A.³, Karakchi-Ogli D.R.⁴, Babenko D.S.⁵,
Yurov P.Y.⁶

^{1,2,3,4,5,6} Voronezh State Technical University,

¹ Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction materials, Products and
Structure Technology, Russia, gslavcheva@yandex.ru

² Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department of Building Structures and
Foundation Engineering named after Professor Yu.M. Borisov, Russia, alevchenko@vgasu.vrn.ru

³ Junior Researcher at the Higher School of Building Materials Science, Russia, marishwedowa@mail.ru

⁴ Junior Researcher at the Higher School of Building Materials Science, Russia, karak-
chiogli.david@mail.ru

⁵ Engineer at the Higher School of Building Materials Science, Russia, teleperedoz@mail.ru

⁶ PhD student, Department of Construction materials, Products and Structure Technology,
Russia, yurov.py@yandex.ru

Key words: 3D-build printing, strength, wall, experimental model

Во всех реализованных проектах 3Д-печати строительных объектов возведение стен включает следующие этапы:

- 3Д-принтер печатает оболочку стены;
- полости стены армируются вручную,
- полости стены заполняются конструкционным бетоном и (для наружных стен) утеплителем.

Такой подход является общим и для изготовления элементов конструкций сложной криволинейной геометрии [1,2]. Важно отметить, что большинство операций, кроме печати несъемной опалубки, выполняются вручную. В работе [3] отмечается, что фактически вместо инновационной технологии печати реализуется традиционная технология монолитного бетонирования в опалубке. Это определяет высокую трудо-

емкость процесса в настоящее время. Такой подход является вульгаризацией идеи 3D-печати как роботизированной, интеллектуальной строительной технологии и может привести к ее дискредитации. С экономической точки зрения использование печатной оболочки только как несъемной опалубки также является неэффективным из-за ее очевидной дороговизны по сравнению с традиционными видами опалубки.

При этом в ряде исследований [4] доказано, что полая печатная стена без заполнения ее конструкционным бетоном имеет достаточную несущую способность благодаря высокой прочности применяемого материала и более однородным прочностным свойствам полученной конструкции по сравнению с традиционной каменной кладкой.

Целью исследования является обоснование требований к эффективной площади сечения пустотелой 3D-печатной стены по критерию обеспечения ее несущей способности на основе экспериментальных исследований и моделирования.

Объект исследования - пустотелая 3D-печатная стена с синусоидальной перегородкой (рисунок 1). Эксперимент проводился на двух сериях образцов, модельных и полноразмерных. В качестве варьируемого параметра выбрана относительная эффективная площадь сечения A_e/A_{cs} -отношение площади бетона (A_c) к сечению стены ($A_{cs} = a \times b$).

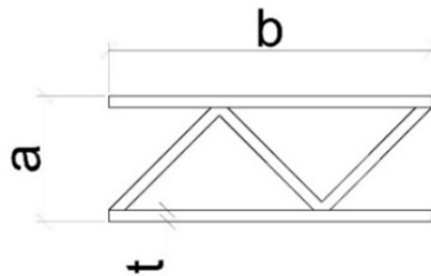


Рисунок 1 – Поперечное сечение стены

Для построения экспериментальной модели значения прочности испытанных фрагментов стен обобщены в зависимости от параметра их пустотности (рисунок 2).

$$K = 1 - A_e/A_{cs} \quad (1)$$

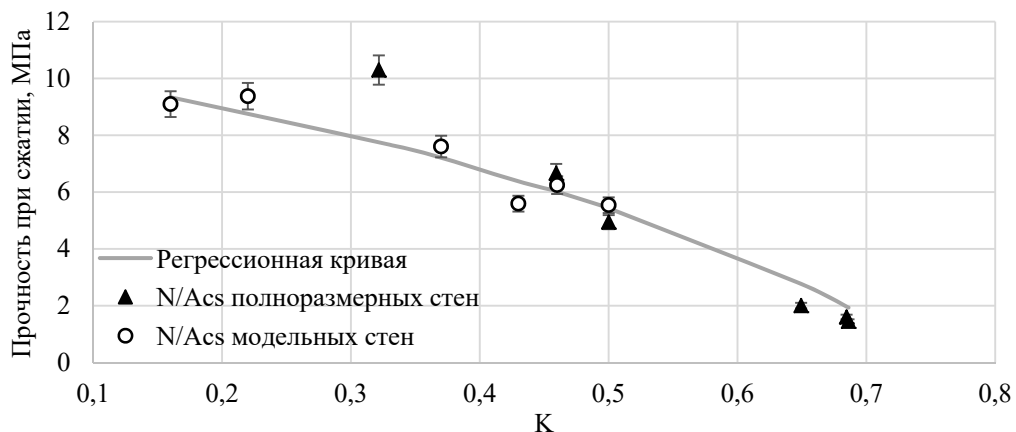


Рисунок 2 – Несущая способность 3D-печатных фрагментов стен с учетом параметра пустотности

На основании регрессионного анализа экспериментальных данных было получено уравнение, прогнозирующее изменение несущей способности аддитивных стеновых конструкций в зависимости от их пустотности.

$$N = \ln(1-K)^{7.94 A_{cs}} + 10.89 A_{cs} \quad (2)$$

Коэффициент достоверности аппроксимации экспериментальных данных полученной регрессионной кривой (2) составляет 0.9, тем самым подтверждая работоспособность экспериментальной модели, описываемой уравнением (2).

На основании этого можно утверждать, что полученная экспериментальная модель позволяет прогнозировать несущую способность 3D-напечатанной стены при центральном нагружении в зависимости от площади пустот в сечении. Решение данного уравнения также позволяет определить допустимую границу пустотности стен с учетом обеспечения достаточной их несущей способности при центральном сжатии. С учетом корня уравнения (2) справедливо неравенство:

$$0 \leq K < 0.75, \quad (3)$$

Таким образом было установлено предельное значение параметра пустотности для обеспечения несущей способности самонесущих и ненесущих аддитивных стеновых конструкций.

Список использованных источников

1. CyBe construction announces that 3D printing is complete for Dubai's R&Drone Laboratory. URL: <https://3dprint.com/176561/cybe-3d-printed-dubai-laboratory>
2. *Khoshnevis B., et al.* Mega-scale fabrication by contour crafting. *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, 2006. №1. P. 301-320. <http://dx.doi.org/10.1504/IJISE.2006.009791>
3. *Молодин В.В., Гасенко И.И., Тими П.Л.* Технология 3d-печати одностадийным полистиролбетоном. *Наука и Инновационные технологии*, 2020. № 1(14). С. 278-287. DOI: 10.33942/sit.nes033
4. *Ferretti E., et al.* Mechanical Properties of a 3D Printed Wall Segment made with an Earthen Mixture. *Materials (Basel)*, 2022. № 15(2). P. 438. DOI: 10.3390/ma15020438

АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НАДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА С ДВУМЯ ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ В ПРОЛЕТЕ

Тазеев Н.Т.¹, Потапов А.Н.²

¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», аспирант кафедры
«Строительное производство и теория сооружений», Россия, *tazeev.nail@gmail.com*

² ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», д.т.н., профессор кафедры
«Строительное производство и теория сооружений», Россия, *potapov.alni@gmail.com*

Ключевые слова: надземный газопровод, автоколебания, гашение колебаний, односторонняя связь, собственная форма, матрица жесткости, перемещение

ANALYSIS OF AERODYNAMIC VIBRATIONS OF AN ABOVEGROUND GAS PIPELINE WITH TWO ONE-WAY CONNECTIONS IN THE SPAN

Tazeev N.T.¹, Potapov A.N.²

¹ South Ural State University, PhD student, Department «Construction industry and theory
of structures», Russia, *tazeev.nail@gmail.com*

² South Ural State University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Construction
industry and theory of structures», Russia, *potapov.alni@gmail.com*

Key words: aboveground gas pipeline, auto-oscillations, vibration damping, one-way connection, natural mode, stiffness matrix, displacement

Колебания гибких конструкций, таких как надземные газопроводы, часто возникают в результате аэродинамической неустойчивости из-за ветрового резонанса. Такие колебания могут вызвать разрушение конструкций или сход газопровода с опор. Для их гашения предлагается использовать устройство, работающее по принципу односторонней связи (ОС). Применение односторонних связей делает систему конструктивно нелинейной, так как в процессе колебаний расчетной модели газопровода происходит изменение ее расчетной схемы [1].

Был проведен эксперимент, в котором гибкая однопролетная шарнирная балка с ОС подвергалась вибрационной нагрузке от легкого электродвигателя, с помощью которого моделировалось аэродинамическое воздействие. Цель эксперимента – выяснить реальную форму деформирования балки в момент активации ОС. Экспериментальные исследования показывают, что в процессе колебаний модели «Балка – трос» при включении ОС реальная форма деформирования соответствует симметричной конфигурации упругой линии вследствие отсутствия поворотов центрального сечения в точке крепления ОС к балке (рис. 1). Поскольку в состоянии базовой модели собственная форма колебаний оси балки является симметричной, то при переходе в состояние с дополнительной связью собственная форма колебаний из-за кратковременности пребывания модели также останется симметричной. Иначе говоря, вследствие инерции движения балки в новом состоянии система не успевает сменить тип симметрии формы колебаний.

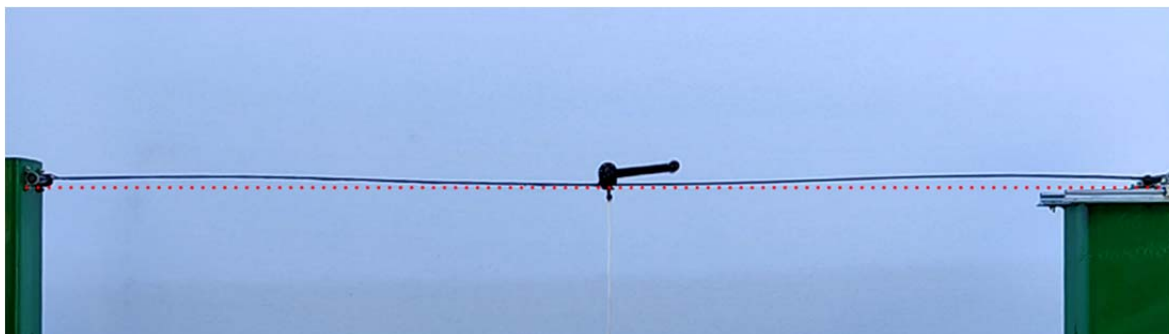


Рисунок 1 – Экспериментальная установка «Балка – трос» в момент активации ОС (красным пунктиром показана горизонтальная ось балки)

Для исследования проблемы была разработана математическая модель колебаний системы с одной и двумя односторонними связями и возможностью симметричного и несимметричного размещения их в пролете. В модели реализована возможность широкой настройки входных расчетных параметров, таких как количество пролетов, число степеней свободы и положение точек крепления ОС в центральном пролете. Это позволяет рассматривать работу системы в различных состояниях: базовая модель (БМ – без ОС), модели с одной и двумя дополнительными ОС (МДС-1 и МДС-2).

Уравнение движения упругой дискретной диссипативной системы (ДДС) в рамках линейной модели вязкого сопротивления (1) и начальные условия (2) динамической задачи представлены в виде:

$$M\ddot{Y}(t) + C\dot{Y}(t) + KY(t) = P(t) \quad (1)$$

$$Y_0 = Y(t_i), \dot{Y}_0 = \dot{Y}(t_i) \quad (2)$$

где $M = \text{diag}(m_1, \dots, m_n)$, $C_j = C_j^T$, $K_j = K_j^T \square M_n(\mathbf{R})$ – матрицы масс, демпфирования и жесткости; $Y(t)$, $P(t)$ – вектора перемещений и внешней нагрузки. Индекс $j = 0, 1, \dots$ учитывает состояние модели на временном интервале $t \in [t_i, t_{i+1}]$, при этом нулевой индекс j соответствующих матриц опускается. Здесь t_i – время включения / выключения ОС.

Компьютерное моделирование задачи аэродинамических колебаний надземного газопровода подтвердило тот факт, что отстрой системы от резонансной частоты на основе симметричной формы колебаний является более эффективным (на 20-30%) по сравнению с кососимметричной формой, которая использовалась в ранних исследованиях. Это объясняется более высокими частотными характеристиками используемой формы колебаний и приводит к более эффективному ограничению резонансных амплитуд [2].

Также была проведена серия сравнительных расчетов систем с одной ОС (РДМ-1) и двумя (РДМ-2) в пролете. Значения максимальных перемещений сведены в таблицы (табл. 1). Номер строки соответствует номеру узла, к которому крепится левая ОС, номер столбца соответствует номеру узла крепления правой ОС. По главной диагонали таблицы, где номера строк и столбцов совпадают, расположены значения максимальных перемещений в системах РДМ-1. В ячейках побочной диагонали (значения от 1,662 до 1,029) записаны значения максимальных перемещений систем РДМ-2 с симметричным расположением ОС.

Таблица 1

Максимальные перемещения систем РДМ-1 и РДМ-2 (см) при различных положениях ОС и при податливости троса 0,002 м/кН

		Номер правой ОС														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер левой ОС	16	2.530	1.514	1.234	1.196	1.224	1.098	1.036	1.028	1.018	1.060	1.172	1.157	1.123	1.326	1.662
	17		1.590	1.166	1.204	1.209	1.101	1.009	1.024	1.013	1.008	1.094	1.133	1.034	1.066	
	18			1.251	1.235	1.194	1.101	0.997	1.001	1.010	0.998	1.029	1.091	1.098		
	19				1.226	1.161	1.086	1.001	0.977	0.991	0.993	0.992	1.032			
	20					1.234	1.050	0.979	0.956	0.970	0.980	0.987				
	21						1.103	0.937	0.954	0.965	0.967					
	22							1.044	0.964	0.974						
	23								1.029							

Наибольшие максимальные перемещения развиваются в системе РДМ-1 (16), это самое неблагоприятное расположение ОС. В этой системе максимальное перемещение наблюдается в серединах крайних пролетов. Наилучшее ограничение резонансных амплитуд показывает система РДМ-2 (21-22) с максимальным значением перемещения в узле №44 (середина крайнего правого пролета).

Список использованных источников

1. Бисплингхофф, Р.Л. Аэроупругость: монография / Р.Л. Бисплингхофф, Х. Эшли, Р.Л. Халфман. – М.: ИЛ, 1958. – 799 с.
2. Потапов, А.Н. Анализ колебаний надземного газопровода при ветро-вом резонансе / А.Н. Потапов, Н.Т. Тазеев, Р.Р. Амирова, О.Г. Орлова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 13–21.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И БИОСТОЙКОСТИ БЕТОНА МЕТОДАМИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Шарафутдинов К.Б.¹, Кашеварова Г.Г.², Ерофеев В.Т.³, Сарайкина К.А.⁴

¹ ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", аспирант кафедры строительных конструкций и вычислительной механики, Россия, kamil_sh@bk.ru

² ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", д.т.н., профессор кафедры строительных конструкций и вычислительной механики, Россия, ggkash@mail.ru

³ ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва", д.т.н., профессор кафедры строительных материалов и технологий, Россия, fac-build@adm.mrsu.ru

⁴ ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", к.т.н., доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Россия, ksenya_s2004@mail.ru

Ключевые слова: прочность бетона, биостойкость, нейронные сети

PREDICTION OF THE STRENGTH AND BIOSTABILITY OF CONCRETE BY USING METHODS OF NEURAL NETWORKS

Sharafutdinov K.B.¹, Kashevarova G.G.², Erofeev V.T.³, Saraykina K.A.⁴

¹ Perm National Research Polytechnic University, PhD student of the department of Building Constructions and Computational Mechanics, Russia, kamil_sh@bk.ru

² Perm National Research Polytechnic University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Constructions and Computational Mechanics, Russia, ggkash@mail.ru

³ Ogarev Mordovia State University, Professor of the Department of Building materials and technologies, Russia, fac-build@adm.mrsu.ru

⁴ Perm National Research Polytechnic University, Associate Professor of the Department of Construction Engineering and Materials Science, Russia, ksenya_s2004@mail.ru

Key words: concrete strength, biostability, neural networks

В современном строительстве наблюдается тенденция к повышению качества строительных материалов при минимальных затратах на их производство. В процессе изготовления железобетонных конструкций возникает необходимость более точно задавать их характеристики, соответствующие условиям эксплуатации. Для этого в состав строительных материалов добавляют специальные добавки, влияющие на свойства получаемого материала. В современном мире появляется и используется большое количество новых строительных материалов или добавок для уже известных строительных материалов, но для определения влияния каждой добавки на свойства материала необходимо проводить экспериментальные исследования. Особенно это касается биоцидных добавок, способных увеличивать не только биостойкость, но и одновременно влиять на прочность бетона [1].

Одним из перспективных и актуальных направлений является использование наномодифицированных добавок, которые при введении в состав материала даже в незначительном количестве влияют на получаемые характеристики. Их влияние на свойства строительного материала малоизучено, в связи с чем прогнозирование долговечности материала затруднено. Иногда наномодифицированные добавки представляют собой гибридный материал, совмещающий в себе свойства как носителя (суперабсорбент, карбонат кальция, соль, глюкоза), так и наночастиц металла (медь, серебро). Сложный состав таких добавок затрудняет прогнозирование долговечности

получаемой конструкции. Наночастицы способны воздействовать на клеточном уровне, например, подавляя рост и развитие микроорганизмов и увеличивая долговечность [2,3].

Прогнозирование характеристик материалов строительных конструкций по-прежнему проводится экспериментальными методами с применением традиционного подхода – регрессионного анализа, предполагающего использование в явном виде формул для аппроксимации зависимости свойств материала от значений конкретных параметров.

Современные цифровые и интеллектуальные технологии, и, в частности, нейронные сети оказались очень хорошо приспособленными для прямых корреляций «структура—свойство», т.е. для получения зависимостей между разными добавками и теми свойствами строительного материала, которые в дальнейшем предполагается прогнозировать.

В рамках доклада определена эффективность такого метода, который позволяет определять прочность и долговечность бетона, подбирать оптимальное количество биоцидной добавки, состав строительного материала и определять экономическую эффективность и целесообразность применения тех или иных добавок.

Применение нейросетевых технологий позволяет значительно повысить точность прогнозирования долговечности строительного материала, остаточного ресурса эксплуатируемых и вновь возводимых зданий и сооружений на основе проведенных экспериментальных лабораторных исследований образцов. Уже существуют успешные разработки в области прогнозирования характеристик, работающие на основе машинного обучения заранее собранной базе статистических экспериментальных данных.

Список использованных источников

1. *Родин А.И., Ерофеев В.Т., Пустовгар А.П., Еремин А.В., Пашкевич С.А., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Адамцевич А.О.* Кинетика набора прочности биоцидных цементов // Вестник МГСУ. 2014. №12. С. 88-96.
2. *Шарафутдинов К.Б, Сарайкина К.Б, Кашееварова Г.Г., Ерофеев В.Т.* Применение наномодифицированного карбоната кальция в качестве бактерицидной добавки для бетона. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. №18(2), 143–155. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155>
3. *Dergunova A., Pksaykina A., Bogatov A., Salman Al.D.S.D., Erofeev V.* The economic damage from biodeterioration in building sector. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Volume 698(7), 2019, 077020

СЕКЦИЯ 8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 69.059.626

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Бирюков А.Н.¹, Бирюков Ю.А.², Таутиев И.М.³

¹Военный институт (инженерно-технический) ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва», д.т.н., заведующий кафедры технологии, организации и экономики строительства, Россия, aleks_bir@mail.ru

²Военный институт (инженерно-технический) ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва», к.т.н., заместитель начальника кафедры управления строительством и эксплуатацией объектов военной инфраструктуры, Россия, uabiryukov@mail.ru

³Военный институт (инженерно-технический) ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва», адъюнкт кафедры технологии, организации и экономики строительства, Россия, islam7777.90@mail.ru

Ключевые слова: экономическая эффективность, мониторинг, техническое состояние, восстановление, здания и сооружения

MODERN APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF A SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Biryukov A.N.¹, Biryukov Y.A.², Tautiev I.M.³

¹ Military Institute (Engineering and Technical) "Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev", Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Technology, Organization and Economics of Construction, Russia, aleks_bir@mail.ru

² Military Institute (Engineering and Technical) "Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev", Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Department of Construction and Operation Management of Military Infrastructure Facilities, Russia, uabiryukov@mail.ru

³ Military Institute (engineering and technical) "Military Academy of Logistics named after the General Army of A.V. Khruleva", Associate Professor of the Department of Technology, Organization and Economics of Construction, Russia, islam7777.90@mail.ru

Keywords: economic efficiency, monitoring, technical condition, restoration, buildings and structures

В настоящее время в отсутствует единый подход к пониманию и правильному осуществлению контроля технического состояния зданий и сооружений. Мониторинг зданий и сооружений, на современном этапе сводится к периодическому регламентированному контролю органами эксплуатации зданий и сооружений и наблюдению за сохранностью строительных конструкций рассматриваемых объектов, что не позволяет прогнозировать техническое состояние объекта, как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

В представленной работе решена проблема обеспечения контроля технического состояния зданий и сооружений, на основе использования результатов исследо-

ваний, позволяющих оптимизировать процесс организации восстановления зданий и сооружений.

Целью исследования является повышение технико-экономической эффективности восстановления зданий и сооружений на основе разработанной системы мониторинга их технического состояния.

Сущность представленной работы заключается в автоматизации системы мониторинга технического состояния зданий и сооружений для их восстановления на основе математико-статистических методов регрессионного анализа, интегрированного подхода и эффективности целенаправленных вопросов.

Авторами разработан способ мониторинга технического состояния сохраняемых конструкций зданий и сооружений и методика оценки технико-экономической эффективности восстановления зданий и сооружений, комплексное применение которых позволяет автоматизировать системы поддержки принятия решений и мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

Структура мониторинга технического состояния зданий и сооружений в виде схемы представлена на рисунке 1.

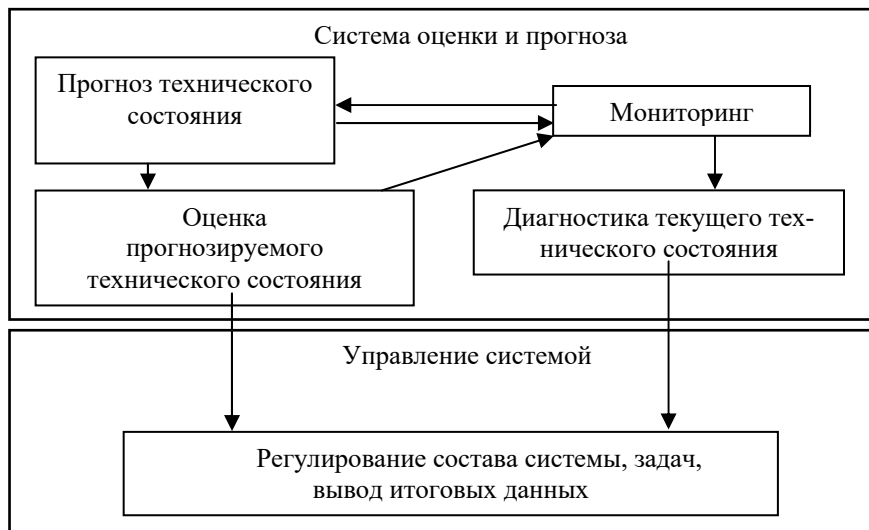


Рисунок 1 – Структура системы мониторинга технического состояния зданий и сооружений

Список использованных источников

1. Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А. Восстановление объектов военной инфраструктуры при ликвидации последствий вооруженных конфликтов: монография. – СПб., ВИ(ИТ) ВА МТО. 2019. – 338 с.
2. Бирюков Ю.А. Обследование технического состояния зданий и сооружений при ликвидации последствий вооруженных конфликтов и основные рекомендации по его результатам//Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники // Сборник статей, 1 Том/ ВКА им. А.Ф. Можайского. – СПб. 2016.
3. ГОСТ 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
4. Гроздов В.Т. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений. – СПб., 2006. – 42 с.
5. Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Апробированная методика проведения мониторинга в зданиях и сооружениях // Вестник НИЦ «Строительство». 1(28). 2021. С. 110-123.

ДАТЧИК ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Евтушенко С.И.¹, Кучумов М.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», Россия, evtushenkosi@mgsu.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., аспирант кафедры «Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве», Россия, m.kuchumov.1996@mail.ru

Ключевые слова: системы мониторинга инженерных конструкций, магнитный датчик, датчик линейных перемещений, трещины, мосты

LINEAR DISPLACEMENT SENSOR FOR USE IN MONITORING SYSTEMS OF ENGINEERING STRUCTURES OF CIVIL INFRASTRUCTURE OBJECTS

Evtushenko S.I.¹, Kuchumov M.A.²

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Professor of the Department of Information systems, technologies and automation in construction, Russia, evtushenkosi@mgsu.ru*

² *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Postgraduate of the Department of Information systems, technologies and automation in construction, Russia, m.kuchumov.1996@mail.ru*

Key words: Structural Health Monitoring, magnetic sensor, linear sensor, cracks, bridges

Важным вопросом технического состояния строительных конструкций являются дефекты, возникающие в результате агрессивных техногенных и природных воздействий, эксплуатационных нагрузок и климатических явлений. Эти негативные факторы приводят к изменению эксплуатационных характеристик конструкций и снижению их эксплуатационных свойств, в том числе несущей способности. В связи с этим точная и своевременная оценка различных дестабилизирующих факторов, безусловно, может способствовать безопасности и снижению экономических рисков. Для этих целей в инженерную практику уже давно внедрены системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК). Однако такие системы далеко не всегда используются при строительстве и эксплуатации объектов гражданской инфраструктуры.

McGuire и др. [1] обратили внимание, что основным ограничением практики мониторинга мостов является отсутствие подробной информации о поврежденных участках. Существующие методы обследования, по-видимому, не совсем адекватны для точного отражения истинного состояния конструктивных элементов моста [2], а информация о состоянии, полученная в результате проверок, часто не имеет прямого отношения к общему состоянию всей конструкции [3]. Fu M. и др. сообщают, что исследований по мониторингу и раннему предупреждению рисков при реконструкции существующих мостов мало, а точных методов оценки и прогнозирования состояния строительства все еще нет [4]. Эта ситуация, вероятно, связана с необходимостью сбора относительно большого количества данных при мониторинге конструкций, чтобы правильно судить о техническом состоянии и повреждениях моста.

Исходя из вышеизложенного, большинство методов обследования и оценки технического состояния объектов гражданской инфраструктуры до сих пор используют относительно простую инструментальную базу с ограниченными функциональными возможностями [5]. Кроме того, процесс мониторинга может быть очень трудоемким и, следовательно, неэффективным при выполнении задач на технически сложных объектах.

Одним из решений существующих проблем могут стать современные разработки в области электромагнетизма. Большое количество исследований посвящено новым усовершенствованным датчикам положения, перемещений [6] и контроля трещин [7] на основе магнитных эффектов.

В качестве метода измерения линейных перемещений был выбран магнитный, как наиболее предпочтительный, поскольку он превосходит электрические и оптические по всем ключевым показателям: простота, стоимость, надежность. Высокая линейность и стойкость к вибрациям, создаваемым другими рабочими органами, делают магнитные датчики более предпочтительными.

Функциональная схема прототипа линейного датчика предполагает наличие двух отдельных конструктивных элементов: измерительной части с датчиком Холла и электронной платы управления (ЭПУ) в герметичном корпусе. Измерительная часть формирует выходной сигнал при возникновении в системе входного воздействия и передает его на аналоговый вход ЭПУ. Далее производится операционная обработка аналогового сигнала, содержащего информацию о линейном перемещении, результатом которой является передача данных по беспроводному каналу связи.

Измерительная часть состоит из двух линейно перемещающихся друг относительно друга рельсов с пазами, на одном из которых установлен датчик Холла, а на другом с воздушным зазором менее 1 мм расположен магнит прямо под датчиком.

ЭПУ прототипа линейного датчика представляет собой диэлектрическую печатную плату, включающую в себя ряд электронных компонентов и измерительный блок, соединенные электронной измерительной схемой. Основная функция ЭПУ заключается в приеме, обработке и передаче сигнала, формируемого преобразователем (датчиком Холла), с информацией о линейном перемещении исследуемого объекта. Основные электронные компоненты платы: программируемый операционный усилитель со встроенным АЦП, микроконтроллер, блок питания: аккумулятор, GSM-модуль, датчик температуры и влажности. Результаты проектирования измерительной части для его дальнейшего изготовления методом FDM-печати представлены на рисунке 1.

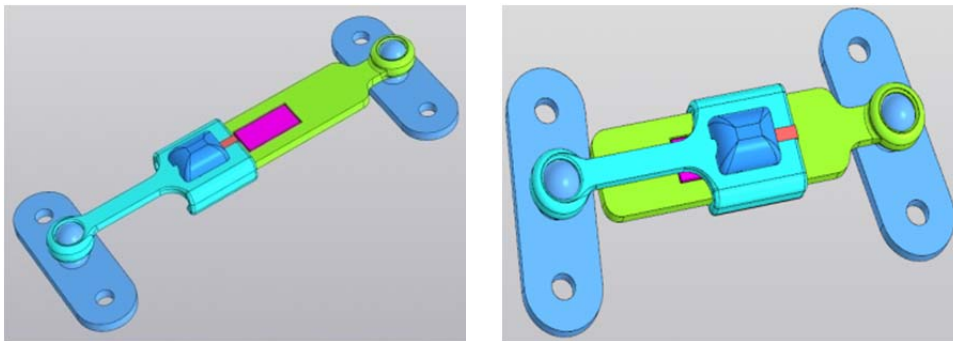


Рисунок 1 – Модель измерительной части датчика

Стоит отметить, что обработка, сокращение и хранение данных являются принципиальными проблемами СММК, в частности наличием большого количества датчиков, установленных на контролируемой конструкции. Доступность процедур, спо-

собных уменьшить объем передаваемых данных, является ключевым аспектом надежности и устойчивости систем. Предложенное решение, в котором датчик выполняет еще и функции регистратора данных, объединяет сразу две подсистемы СМИК: собирающую и передающую данные. Это может снизить необходимую мощность системы для анализа данных, затраты на развертывание и повысить надежность и оптимизацию ресурсов, что имеет решающее значение для современных систем мониторинга [8].

Список использованных источников

1. *McGuire B.M., Atadero R., Clevenger C., Ozbek M.* Using Building Information Modeling to Track and Assess the Structural Condition of Bridges / Mountain-Plains Consortium, 2016 – p. 12
2. *Zhou, G.-D.; Yi, T.-H.* Recent developments on wireless sensor networks technology for bridge health monitoring. *Math. Probl. Eng.* 2013, p. 2
3. *Rafiq M.I.* Structural health monitoring for maintenance management of deteriorating structures: Current practice and state of the art / In Proceedings of the 2nd International and 6th National Conference on Earthquake & Structures, Kerman, Iran, 14-15 October 2015 - pp. 1-19
4. *Meizhen Fu, Yuxiong Liang, Qingsong Feng.* Research on the Application of Multi-Source Data Analysis for Bridge Safety Monitoring in the Reconstruction and Demolition Process / *Buildings* 2022, 12, 1195. <https://doi.org/10.3390/buildings12081195> – p. 2-3
5. *Rodriguez G., Casas J.R., Villaba S.* Cracking assessment in concrete structures by distributed optical fiber / 2015 *Smart Mater. Struct.* 24 035005
6. *Zhang J., Shi Y., Huang Y. A.* Displacement Sensing Method Based on Permanent Magnet and Magnetic Flux Measurement / *Sensors* 2022, 22(12), 4326; <https://doi.org/10.3390/s22124326>
7. *Gkantou, M., Muradov, M., Kamaris, G.S., Hashim H., Atherton, W., Kot P.* Novel electromagnetic sensors embedded in reinforced concrete beams for crack detection / *Sensors (Switzerland)* 19(23), 5175.
8. *Nong S.-X., Yang D.-H., Yi T.-H.* Pareto-Based Bi-Objective Optimization Method of Sensor Placement in Structural Health Monitoring / *Buildings* 2021, 11(11), 549; <https://doi.org/10.3390/buildings11110549>
9. *Health Monitoring in Multi-Story Buildings* / *Buildings* 2021, 11(6), 263; <https://doi.org/10.3390/buildings11060263>

ПРОБЛЕМАТИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЗИЦИЙ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННОЙ КОНЦЕПЦИИ

Ерофеев А.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, av.erofeev@yandex.ru

Ключевые слова: долговечность, прогнозирование, работоспособность, термофлуктуация

THE PROBLEM OF PREDICTING THE PERFORMANCE OF BUILDING MATERIALS FROM THE STANDPOINT OF THE THERMAL FLUCTUATION CONCEPT

Erofeev A.V.¹

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, PhD student, Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, av.erofeev@yandex.ru

Key words: durability, forecasting, operability, thermal fluctuation

В последнее десятилетие Российская Федерация сталкивается с постоянно растущими большими вызовами. Одним из инструментов для эффективного ответа на них является принятая Правительством Российской Федерации Программа фундаментальных научных исследований на долгосрочный период с 2021 по 2030 гг. (распоряжение № 3684-р от 31 декабря 2020 г.). Основанием принятия указанной Программы послужил Федеральный закон «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Одной из задач включенной в план исследований в области строительства является «обеспечение надежности, безопасности, долговечности» [1]. Для выполнения задачи по обеспечению долговечности необходимо иметь в своем распоряжении инструментарий, позволяющий корректно и адекватно определять долговечность строительных материалов и изделий.

В силу наличия температурно-временной силовой эквивалентности прогнозирование работоспособности твердых тел целесообразно осуществлять с позиций термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел [2]. Основоположником концепции является Серафим Николаевич Журков. Свое развитие концепция получила в работах Соломона Борисовича Ратнера, Георгия Михайловича Бартнева, Вадима Робертовича Регеля. Валентина Евгеньевича Гуль, Энгеля Евгеньевича Томашевского, Александра Ильича Слуцкера, Виктора Петровича Ярцева. Однако в последние два десятилетия развитие термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел практически остановилось, а ее практическое применение из-за ряда спорных вопросов и ограничений сокращается.

К основным претензиям, предъявляемым к термофлуктуационной концепции, относятся возможность определения только прочностной долговечности, высокие трудозатраты определения термофлуктуационных констант, недостаточная точность прогноза, ограниченные возможности учета реальной эксплуатации материала и другие.

В подавляющем большинстве случаев исследователями рассматривается прочностная долговечность. Однако существуют такие классы материалов, для которых прочностная характеристика не является показательной. Срок службы утеплителей как конструкционных материалов может быть выше, чем как теплоизоляционных. Таким образом, для теплоизоляционных материалов критерием долговечности будет являться потеря им теплоизоляционных качеств.

Еще к одному такому классу материалов, для которых прочностная долговечность не является показательной, относятся декоративно-защитные материалы. Практика показывает, что у таких классов материалов, в силу своего назначения, изначально наблюдается потеря декоративной функции: происходит осыпание материала декоративного слоя, выцветание поверхности, образование на ней дефектов и т.п.

Условия эксплуатации, при которых твердое тело работает только в температурно-механическом поле, можно считать идеальными. На практике в связи с наличием иных эксплуатационных параметров, таких как влажность, атмосферные и антропогенные факторы, эксплуатация в идеальных условиях невозможна. Для ряда материалов, в первую очередь полимеров, для которых действие атмосферных и антропогенных факторов приводит к изменению их структуры (старение), отказ от учета реальных условий эксплуатации приведет к завышению теоретически определенной долговечности по сравнению с реальной.

Отдельной проблемой стоит вопрос возможности применения термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования для прогнозирования долговечности композитных материалов. Хотя процессы их разрушения и подчиняются температурно-временной зависимости, не в полном объеме понятен физический смысл термофлуктуационных констант.

Единственно возможной основой получения термофлуктуационных констант обобщенного уравнения Журкова на данный момент являются экспериментально полученные значения долговечности при определенных напряжениях и температурах. Следовательно, именно эксперимент является основным методом научного познания в данном случае. Проведение любого эксперимента сопряжено с погрешностями измерения. Любая погрешность, возникающая в ходе проведения эксперимента, а тем более их наложение, влечет отклонение экспериментально полученных значений долговечности от их реальных значений. С учетом того, что методика определения термофлуктуационных констант предполагает работу в полулогарифмических координатах, даже незначительные погрешности в области малых долговечностей (области проведения эксперимента) при значительной экстраполяции приводят к существенным отклонениям расчетных сроков службы от реальных, которые могут достигать нескольких лет и даже десятилетий. Таким образом, минимизация погрешностей определения термофлуктуационных констант является важной методологической задачей.

Список использованных источников

1. Программа фундаментальных научных исследований на долгосрочный период с 2021 по 2030 гг.
2. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел. / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, А. И. Томашевский. - М.: Наука, 1974. - 560 с.

ОБСЛЕДОВАНИЕ КОРПУСА ТГТУ И ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

*Жукова Я.И.¹, Хулина М.С.², Митина У.А.³, Тюкова А.А.⁴, Овсянникова В.А.⁵,
Умнова О.В.⁶, Мамонтов А.А.⁷*

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
yazhukovaa@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
ritakhulina2@gmail.com

³ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
m.ulyana2002@yandex.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
linatyukova05@mail.ru

⁵ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
leraoo@gmail.com

⁶ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
заведующая кафедрой конструкций зданий и сооружений,
umnova.ov@mail.tstu.ru

⁷ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
доцент, *mamontov.aa@mail.tstu.ru*

Ключевые слова: обследование зданий, энергоэффективность, BIM-модель, тепловизионная съемка

EXAMINATION OF THE TSTU BUILDING AND JUSTIFICATION OF THE NEED TO INCREASE ITS ENERGY EFFICIENCY

*Zhukova Ya.I.¹, Khulina M.S.², Mitina U.A.³, Tukova A.A.⁴, Ovsyannikova V.A.⁵,
Umnova O.V.⁶, Mamontov A.A.⁷*

¹ Tambov State Technical University student, *yazhukovaa@yandex.ru*

² Tambov State Technical University, student, *ritakhulina2@gmail.com*

³ Tambov State Technical University, student, *m.ulyana2002@yandex.ru*

⁴ Tambov State Technical University, student, *linatyukova05@mail.ru*

⁵ Tambov State Technical University, student, *leraoo@gmail.com*

⁶ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Structures of Buildings and Structures, *umnova.ov@mail.tstu.ru*

⁷ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, docent
mamontov.aa@mail.tstu.ru

Key words: building survey, energy efficiency, BIM model, thermal imaging.

Сегодня внимание проблемам энергосбережения уделяется на самом высоком уровне. Президент РФ в Указе от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» отметил, что энергетическая безопасность для России является одной из важнейших составляющих экономической безопасности страны. В достижение этой цели входят задачи по обеспечению повышения энергетической эффективности экономики и эффективности государственного управления в сфере топливно-энергетического комплекса [1, 2]. Проблема при решении этих задач усугубляется тем, что на настоящий момент требуются серьезные вливания денежных средств в эту сферу экономики. На протяжении последних десятилетий инвестиции в основные фонды отечественной инженерной инфраструктуры, несмотря

на существенный рост нагрузок на неё, поступали в недостаточном объеме.

Высоким потенциалом отдачи от энергосбережения по данным независимой ассоциации АВОК обладают учреждения бюджетной сферы, в том числе образовательные, которые находятся на третьем месте по энергоёмкости, в среднем 38% существующего уровня потребления [3].

В связи с этим выбор здания актуален. Наибольшие расходы электроэнергии приходятся на отопление здания (более 70) % от общих. Здание 4-х этажное с подвалом и чердаком, с перепадами высот, каркасное с навесными железобетонными ограждающими конструкциями без утепления, с деревянными оконными блоками, находится в эксплуатации более 30 лет. За эти годы для повышения его энергоэффективности были частично заменены деревянные оконные блоки на металлопластиковые, входные в здание дверные блоки, установлен калорифер на входе, для повышения температуры воздуха внутри помещений корпуса в холодное время года установлена бойлерная система, что привело к чрезмерному повышению температуры в отопительном периоде в помещениях левого крыла первого этажа.

По результатам обследования, проведенного в 2014 году научно-техническим центром в области строительства ТГТУ, корпус соответствует самому нижнему классу энергоэффективности для таких объектов - D.

Для обоснования необходимости повышения энергоэффективности корпуса ТГТУ командой авторов проведено повторное термографическое обзорное обследование. За один из геометрических реперов было установлено расстояние между левой и правой границами четырех оконных блоков в уровне 2 этажа, чтобы можно было сравнить результаты, полученные нами в феврале и марте 2023 года с результатами 2014 года.

Тепловизионное обследование проведено в соответствии с действующими нормативными документами и методиками, согласно требованиям ГОСТ 54852-2021 [4]. Температурный напор (разность температур между внутренним $t_v = (+21,5...+25,0)$ °С и наружным воздухом $t_n = (+1,5...-8,0)$ °С) на момент проведения съемки составлял $\approx 15...20$ °С, при отсутствии прямых и отраженных солнечных лучей, значении коэффициента излучения обследуемой поверхности во всех вариантах был $\varepsilon = 0,93 > 0,7$.

При обследовании использовано современное оборудование: тепловизионная камера TESTO 880-3 (№ 38573-08 в Госреестре СИ); измеритель температуры ТК-5.11; зонд воздушный: диапазон измерения (-50...+150) °С; зонд влажности: диапазон измерения 3...97%.

Были получены качественные и количественные результаты обзорного термографирования. Выявлены качественные дефекты ограждающих конструкций, через которые происходит потеря тепла: через стыки между железобетонными панелями и по их поверхности, в виду отсутствия в них теплоизоляции; потеря тепла через деревянные оконные блоки как по их светопрозрачной части, так по контуру; по контуру металлопластиковых оконных блоков, в связи с их некачественной установкой, что послужило появлению мостиков холода.

По результатам термографирования была выполнена компьютерная обработка термограмм для получения распределения температуры по поверхности объекта, теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, для сравнения по термограммам 2014 и 2023 годов реперных участков ограждающих конструкций здания выделены линии профиля температуры, вычислены t_{max} , t_{min} и средние значения колебаний температуры, привязка обнаруженных температурных аномалий к конструкциям здания, фотографии участков соответствующих термограммам выполнен расчет энергетического паспорта здания и определен класс энергоэффективности.

Выводы:

1. Несмотря на проведенные частичные мероприятия по повышению теплозащиты исследуемого здания, класс энергоэффективности остался низким - D.
2. Оболочка здания не соответствует современным нормам по теплозащите.
3. Требуется выполнение комплекса мер по повышению энергоэффективности корпуса ТГТУ для значимого снижения расходов на отопление.

Список использованных источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 "О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации", 44с.
2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации
3. СП 118.13330.2022 СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения
4. ГОСТ 54852 -2021 Зданий и сооружений. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЕДИНЕНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ И НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Козак Н.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», старший преподаватель кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей, Россия, kozak.spbgasu@gmail.com

Ключевые слова: мост, пролетное строение, сталежелезобетон, гибкий штыревой упор, нагрузки

STUDY OF STRUCTURAL BEHAVIOUR OF FLEXIBLE SHEAR CONNECTORS OF ROAD BRIDGES' STEEL-CONCRETE SPAN STRUCTURES USING NUMERICAL AND FIELD EXPERIMENTS

Kozak N.V.¹

¹ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Senior lecturer of department of roads, bridges and tunnels, Russia, kozak.spbgasu@gmail.com

Key words: bridge, span structure, steel reinforced concrete, stud shear connector, loads,

Одной из важнейших отличительных особенностей условий работы мостовых конструкций является нестационарный динамический характер их режима нагружения. В подобных режимах эксплуатации, включающих большое количество циклов изменения усилий и напряжений в элементах, значительная роль отводится определению выносливости элементов конструкций. Применительно к конструкциям сталежелезобетонных пролетных строений (СТЖБ ПС) одним из наименее исследованных является вопрос выносливости элементов объединения стальных балок и железобетонной плиты в целом и наиболее распространенного их вида – гибких штыревых упоров – в частности. В ходе анализа мирового опыта было отмечено, что ранее исследования режимов работы гибких штыревых упоров проводились в лабораторных условиях или с использованием инструментов численного моделирования, что не может в полной мере отражать их фактическую работу в условиях использования в реальных конструкциях под реальными транспортными нагрузками. В рамках выполнения исследовательского проекта по совершенствованию методики проверки выносливости гибких штыревых упоров СТЖБ ПС автором было проведено экспериментальное исследование фактического режима работы гибких штыревых упоров существующего автодорожного моста через реку Вуокса.

Цель исследования заключалась в верификации существующей методики моделирования работы гибких штыревых упоров с использованием полученных экспериментально данных о фактическом напряженно-деформированном состоянии (НДС) элементов объединения. Для достижения цели были выделены следующие задачи:

1. Проведение натурного эксперимента: 1.1. Разработка программы и подготовка к проведению натурного эксперимента на существующем автодорожном мосту; 1.2. Проведение натурного эксперимента; 1.3. Анализ и обработка полученных данных натурного эксперимента;

2. Проведение численного эксперимента: 2.1. Анализ возможных способов моде-

лирования работы узла объединения (модель микроуровня); 2.2 Анализ возможных способов моделирования работы конструкции моста (модель макроуровня). 2.3. Моделирования работы элементов объединения от воздействия передвигающейся модели нагрузки;

3. Сравнительный анализ результатов численного моделирования и полученных экспериментальных данных.

Объектом экспериментального исследования был выбран мост через реку Вуокса на а/д А-118 в Ленинградской области, недалеко от границы с Финляндией. Пролетное строение моста выполнено по схеме 5х33м, в поперечном сечении пролетное строение состоит из 4 стальных балок (15ХСНД), объединённых между собой поперечными стальными балками и железобетонной плитой проезжей части (В35). Тензорезисторы измерительной системы были установлены над опорой №1 (Оп1) на нескольких гибких штыревых упорах (рис. 1 а) в процессе проведения работ по капитальному ремонту моста. При проведении первой (активной) фазы эксперимента нагрузка в виде грузового автомобиля известной массы передвигалась по мосту по разработанной схеме с контролем положения и скорости. Цифровая измерительная система записывала информацию о изменении НДС гибких штыревых упоров с частотой в 250Гц. В результате обработки экспериментальных данных были получены характерные осциллограммы изменения напряжений (относительных деформаций) на поверхности элементов во времени.

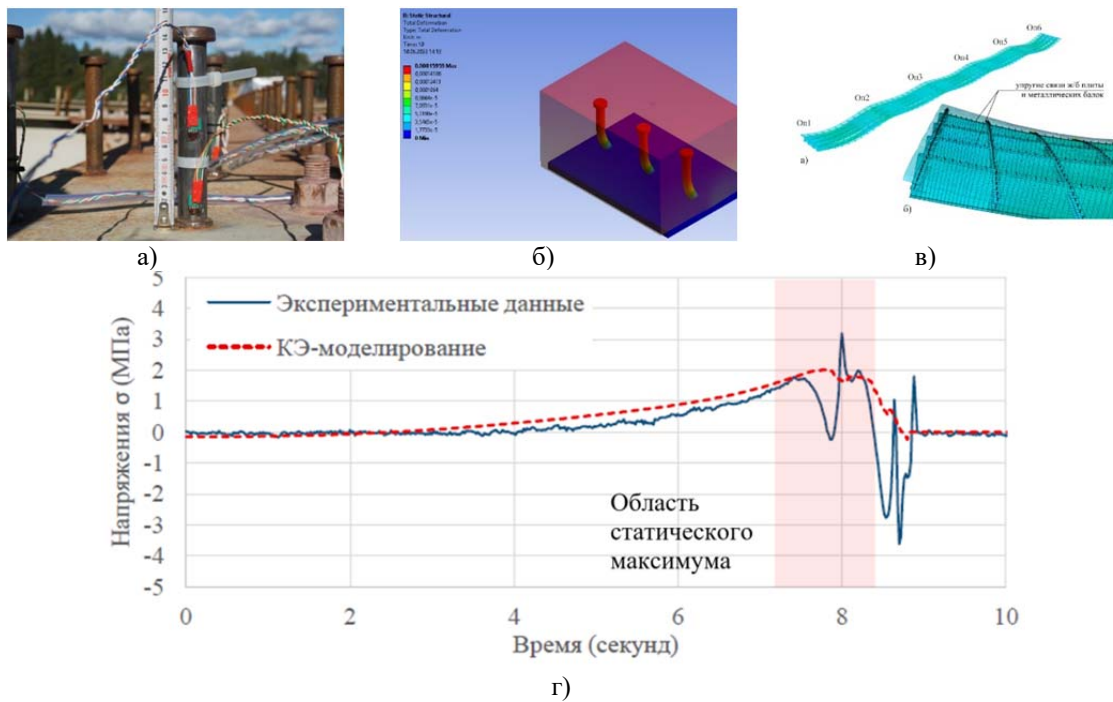


Рисунок 1 – Исследуемый объект (а), численные модели микроуровня (б) и макроуровня (в), результаты сравнения осциллограмм натурного и численного экспериментов (г)

При численном моделировании использовались модели двух уровней. Для моделирования работы упора под воздействием сдвигающих сил на плиту проезжей части использовались модель микроуровня из объемных конечных элементов (рис. 1 б), учитывающая контактные условия; модель была реализована в ПО ANSYS. По результатам анализа модели были получены зависимости между сдвигающей силой на плиту и напряжениями (относительными деформациями) по поверхности упора; вви-

ду значительной нелинейности данной зависимости на данном этапе исследования для дальнейшей работы была принята гипотеза о возможности использования средних значений в области основных рабочих диапазонов величины сдвига. Для определения зависимости величины сдвигающей силы от положения нагрузки использовалась конечно-элементная модель ПС (модель макроуровня, рис. 1 в). Были рассмотрены 3 способа построения моделей (плоская схема, пространственные: балочная с единым плоским сечением плита-балка и плитно-балочная с упругими связями между элементами), для реализации использовалось ПО SOFiSTiK.

Сопоставление результатов натурного эксперимента и численного моделирования показало, что моделирование работы гибких штыревых упоров с использованием пространственных моделей ПС обеспечивает достаточную точность по максимальным значениям напряжений в области статического максимума (без учета динамических эффектов для веса нагрузки). Было отмечено, что использование плитно-балочной модели с упругими связями балка-плита обеспечивает большее соответствие характеров экспериментальной и теоретической осциллограмм при удалении от области статического максимума (рис 1 г). Характерное отклонение теоретической осциллограммы от экспериментальной, вероятно, объясняется принятыми ранее гипотезами, повлекшими недостаточную степень учета как нелинейности схемы, так и упругопластических свойств всех задействованных элементов конструкции.

В дальнейшем предполагается уточнить расчет с использованием усовершенствованной системы моделей макро и микроуровней. В тоже время, с учетом значительного увеличения ресурсозатрат расчетов подобных моделей, для инженерных и общих исследовательских задач в условиях необходимости получения максимальных и минимальных значений без необходимости контроля характера осциллограмм представляется оптимальным использование пространственных балочных моделей макроуровня.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ КОРРЕЛЯЦИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ К ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ И МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Крылов С.Б.*¹

¹ *Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева», д.т.н., Россия, niizhb_lab8@mail.ru*

Ключевые слова: корреляция, векторы, метрическое пространство, конструирование, напряженно-деформированное состояние

THE DEVELOPMENT OF CORRELATION THEORY AND THE POSSIBILITY OF ITS APPLICATION TO EVALUATION OF THE RESULTS OF CALCULATIONS AND MONITORING OF BUILDING STRUCTURES

*Krylov S.B.*¹

¹ *Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, Doctor of Technical Sciences, Russia, niizhb_lab8@mail.ru*

Key words: correlation, vectors, metric space, construction, stress-strain state

Понятие «корреляция» в настоящее время рассматривается как статистическая взаимосвязь двух или более случайных величин. Смысл этого понятия рассматривается исключительно с позиций статистики. Такой подход скрывает важные геометрические зависимости, связанные с этим понятием. В свою очередь, это ограничивает область применения корреляции в инженерном деле.

Наборы зависимых и независимых переменных могут интерпретироваться как векторы. Поэтому было проведено исследование, в рамках которого понятие «корреляция» рассматривалось с точки зрения векторного анализа. В результате было доказано, что коэффициент парной корреляции Пирсона представляет собой косинус угла между вектором зависимых и независимых переменных. При этом в качестве координат каждого из этих векторов принимаются отклонения от среднего значения. Таким образом коэффициент парной корреляции показывает степень близости к линейной зависимости между такими векторами.

Такой смысл коэффициента парной корреляции позволяет сделать ряд важных обобщений. В качестве таких обобщённых коэффициентов можно рассматривать косинусы углов между векторами, сформированными из отклонений отдельных значений от любой точки на числовой оси, или векторы самих значений. Также в ряде случаев удобнее пользоваться не тригонометрической функцией угла, а самим углом между векторами. В частности, в задачах, связанных с определением напряжённно-деформированного состояния конструкций при мониторинге и поверочных расчётах, именно упомянутый угол более чувствителен к состоянию конструкции (к появлению пластических деформаций, трещин и т.д).

В ходе проведённых исследований было показано на расчётных примерах, что с точки зрения теории векторов, множественный коэффициент корреляции представляет собой косинус угла между вектором зависимых переменных и пространством независимых переменных. В этом случае зависимый вектор и независимые векторы

формируются из таких же отклонений от средних значений, как было сказано выше. Соответственно множественный коэффициент корреляции позволяет сделать обобщения, аналогичные упомянутым выше.

Следующим важным обобщением является введение коэффициента корреляции между пространством зависимых переменных и пространством независимых переменных. Такой коэффициент корреляции в статистике не известен.

На расчётных примерах показано, что обобщённые коэффициенты корреляции могут успешно применяться для оценки состояния строительных конструкций, для выявления развития пластических деформаций и повреждений в материале, при сопоставлении расчётного определения напряжённо-деформированного состояния конструкций с результатами обследования и мониторинга.

Список использованных источников

1. Груман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003, 479 с.
2. Фёзстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. М.: Финансы и статистика, 1983, 302 с.
3. Шолов Г.Е. Математический анализ. Специальный курс. М.: Физматгиз, 1961. 436 с.

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Малахова А.Н.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», к.т.н., доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», Россия, MalahovaAN@mgsu.ru, malahov@gnext.ru

Ключевые слова: ребристая железобетонная плита перекрытия, высокотемпературные воздействия, изменения прочностных и деформационных характеристик материалов, потери предварительно напряженного армирования, сравнительные расчеты до и после пожара, расчеты в ПК ЛИРА-САПР

ESTIMATION OF THE BEARING CAPACITY AND SERVICEABILITY OF THE FLOOR SLAB AFTER HIGH-TEMPERATURE EXPOSURE

Malahova A.N.¹

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced concrete and stone structures, Russia, MalahovaAN@mgsu.ru, malahov@gnext.ru

Key words: reinforced concrete ribbed floor slab, high-temperature impacts, changes in the strength and deformation characteristics of materials, losses of prestressing of reinforcement, comparative calculations performed before and after fire exposure, calculations in SP LIRA-SAPR

Железобетонные конструкции по сравнению с другими несущими конструкциями зданий хорошо сопротивляются огневому воздействию, но и они могут при этом частично или полностью потерять свою несущую способность. Наиболее уязвимыми для огневых воздействий являются изгибаемые статически определимые, быстро прогреваемые из-за малой толщины составных элементов сборные железобетонные конструкции, а также несущие элементы с предварительно напряженной арматурой.

Сохранение несущей способности строительных конструкций, как и сохранение нормируемых значений прогибов и ширины раскрытия трещин, играет определяющую роль в решении вопроса о возможности их дальнейшей эксплуатации после пожара. При выполнении расчета сборной предварительно напряженной ребристой плиты перекрытия, подвергшейся огневому воздействию, необходимо располагать сведениями о температуре нагрева бетона сжатой зоны и температуре нагрева растянутой арматуры плиты. Для понижения уровня температурного нагрева материалов плиты перекрытия, от которого зависит величина снижения прочностных и деформационных характеристик, могут применяться различные огнезащитные материалы. Для рассматриваемой плиты перекрытия в качестве огнезащитного материала применены пенобетонные вкладыши, расположенные между ребрами плиты.

Научные труды, посвященные численным и экспериментальным исследованиям работы железобетонных конструкций зданий при высокотемпературных воздействиях, в основном направлены на определение особенностей распределения температуры как в отдельных конструкциях, так и в здании в целом. Исследуются также строительные конструкции с различными огнезащитными покрытиями. Отдельным направлением являются исследования поведения предварительно напряженных же-

лезобетонных конструкций, подверженным высокотемпературным воздействиям, на предмет оценки потерь предварительного напряжения в арматуре, так как именно потеря предварительного напряжения в арматуре влечет за собой появление недопустимых прогибов, а также недопустимой ширины раскрытия трещин.

В статье приводится сравнительная оценка несущей способности, прогиба и ширины раскрытия трещин предварительно напряженной ребристой плиты перекрытия с огнезащитными вкладышами до и после огневого воздействия на нее. Температура нагрева бетона сжатой зоны и температура нагрева растянутой арматуры плиты взяты из экспериментальных исследований ребристой плиты, проведенных в испытательной лаборатории ИКБС МГСУ. Экспериментальные исследования показали утрату арматурой предварительного напряжения, причем процесс уменьшения величины предварительного напряжения в эксперименте носил плавный характер.

Таблица 1

Результаты расчета ребристой плиты перекрытия до и после пожара

Характеристики	Несущая способность по моменту, кНм	Ширина раскрытия трещин $a_{crсr}$ мм		Прогиб f , см
		кратковременная	длительная	
До пожара	257,6	0	0	1,1
После пожара	243,4	0,35	0,28	12,5

Анализ результатов расчета показал, что несущая способность плиты уменьшилась незначительно (на 5,5%). Но в условиях отсутствия предварительного напряжения арматуры и при уменьшении модуля упругости материалов плиты образуются трещины с шириной длительного и кратковременного раскрытия, соответственно, $0,28 > 0,2$ мм и $0,35 > 0,3$ мм (превышение допустимых значений на 40% и 17%). Прогиб плиты f по расчету составил 12,6 см и существенно, в 4,2 раза, превысил предельно допустимое значение прогиба, равное 3,0 см. Результаты расчета прогиба плиты хорошо коррелируются с результатами эксперимента.

Список использованных источников

1. Ефрюшин С.В., Юрьев В.В. Численное моделирование огнестойкости железобетонных плит с помощью программного комплекса ANSYS // Строительная механика и конструкции. 2019. № 4 (23). С. 86-92.
2. Кудряшов В.А., Жамойдик С.М., Кураченко И.Ю., Нгуен Т.К. Результаты натуральных огневых испытаний железобетонных конструкций монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2021. Т. 5. № 1. С. 49-66.
3. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Расчет железобетонного здания на температурные воздействия // Вестник МГСУ. 2012. №5. С.50-55.
4. Полевода, И. И., Зайнудинова Н. В. Огнестойкость изгибаемых железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2018. Т. 2. № 2. С. 161-167.
5. Полевода И.И., Зайнудинова Н.В. Моделирование поведения железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном в программном комплексе ANSYS // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017. Т. 1. № 4. С. 385-391.
6. Кудряшов В.А., Кураченко И.Ю. Аналитическая оценка несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций после пожара // Судебная экспертиза Беларуси. 2018. №1. С.56-60.
7. Загорайко Т.В., Леденев А.А., Мацюрак Б.К. Определение огнестойкости железобетонных конструкций с учетом изменения свойств бетона // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. №1(9). С.143-145.

Портнов Ф.А., Ковалева С.А. Состояние и перспективы развития вопроса оценки огнестойкости железобетонных конструкций // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2020. №2(54). С.133-139.

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С БЕССВАРНЫМИ СТЫКАМИ АРМАТУРЫ

Мамин А.Н.^{1,2}, Бамматов А.А.², Долгова Т.В.³

¹ «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений», д.т.н., профессор, начальник отдела ОЗС АО «ЦНИИПромзданий», Россия, otozs@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», аспирант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», Россия, a.bammatof@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, mai-dolgova@yandex.ru

Ключевые слова: *concrete damaged plasticity, испытания статической нагрузкой, изгибаемая железобетонная балка.*

SPECIFICS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH NON-WELDED REINFORCEMENT JOINTS

Mamin A.N.^{1,2}, Bammatov A.A.², Dolgova T.V.³

¹ Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures, professor, head of OZS department AO «CNIIPromzdanij», Russia, otozs@yandex.ru

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, PhD student, Department Concrete, a.bammatof@yandex.ru

³ Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, mai-dolgova@yandex.ru

Key words: *concrete damaged plasticity, static load tests, flexural reinforced concrete beam*

Применение в строительстве железобетонных зданий и сооружений бессварных стыков стержневой арматуры позволяет значительно сократить сроки и стоимость арматурных работ, следовательно, исследования новых и совершенствование существующих на сегодняшний день типов соединений является весьма актуальной. Одним из перспективных соединений является петлевой стык [1].

Однако, несмотря на наличие результатов испытаний конструкций с такими соединениями, для широкого внедрения их в строительную практику только физических экспериментов недостаточно.

В качестве инструмента более глубокого и детального анализа конструкций с петлевыми стыками предлагается применить современные математические модели материалов, реализованные в методе конечных элементов, например, для бетона модель пластического течения (*в оригинале Concrete Damaged Plasticity*). Указанная модель позволяет оценить напряженно-деформированное состояние как всей конструкции, так и отдельных ее участков [2].

Для верификации модели и ее параметров, с целью дальнейших численных исследований, проведем сопоставление результатов численного моделирования и физического эксперимента [3].

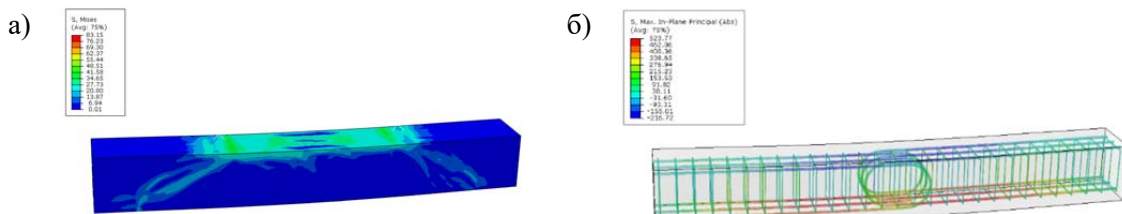
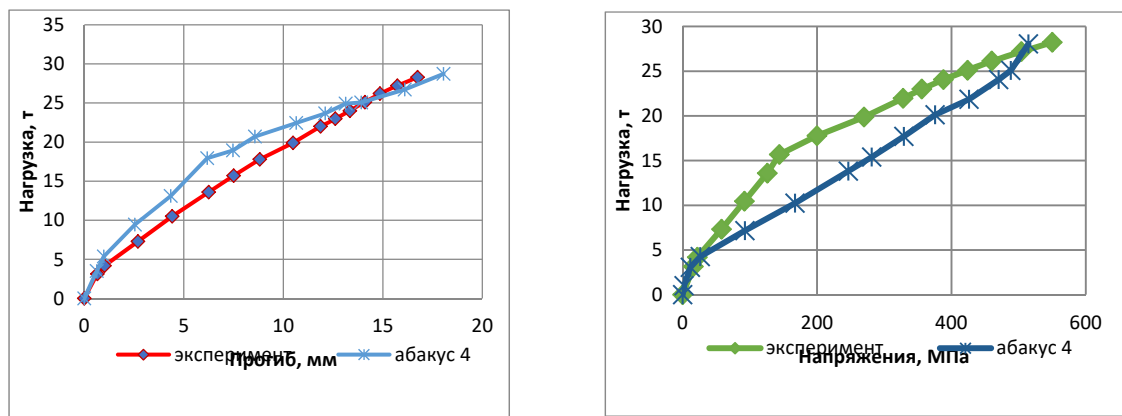


Рисунок 1 – Результаты численного моделирования в виде эквивалентных напряжений в бетоне (б) и главных напряжений в арматуре (а).



а)

б)

Рисунок 2 – Графики зависимости прогиба от нагрузки (а) и напряжений в арматуре от нагрузки (б).

Результаты сопоставления численной конечно-элементной модели с результатами эксперимента имеют достаточную для исследования точность, что свидетельствует о верности принятых расчётных предпосылок, моделях материалов и их параметрах. Это обстоятельство позволит, применяя верифицированные модели, проводить дальнейшие исследования.

В качестве целей численного моделирования были приняты:

- влияние верхних частей петель на бетон сжатой зоны;
- влияние поперечной арматуры;
- влияние горизонтальной арматуры, расположенной в перпендикулярном, по отношению к рабочей, направлению;
- влияние размеров прямых вставок;
- влияние относительного диаметра петель.

Результаты численных исследований с применением принятого расчетного подхода и подобранных в итоге серий итерационных расчетов значений различных параметров модели позволили описать особенности напряженно-деформированного состояния бессварных стыков стержневой арматуры в монолитных железобетонных конструкциях, доказав тем самым свою эффективность.

Список использованных источников

1. Авдеев К. В., Мамин А.Н., Бамматов А.А. и др. Петлевые стыки стержневой арматуры. история развития, проблемы и актуальность //Строительство и реконструкция. – 2022. – №. 6. – С. 4-11.
2. Abaqus Documentation. Abaqus Analysis User's manual. Materials. Other plasticity models. Concrete.
3. Николаев В. Б. и др. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций АЭС с модифицированными петлевыми стыками на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа //Безопасность энергетических сооружений. – 2016. – №. 1. – С. 66-81.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННЫХ КОНСТАНТ ПРИ СТАРЕНИИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ

Мамонтов С.А.¹, Мамонтов А.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, kardinal61@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений», Россия, sansanich1409@yandex.ru

Ключевые слова: термофлуктуационные константы, древесные композиты, прогнозирование долговечности, старение

MATHEMATICAL MODELS OF THE BEHAVIOR OF THERMAL FLUCTUATION CONSTANTS DURING AGING OF WOOD COMPOSITES

Mamontov S.A.¹, Mamontov A.A.²

¹ Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, kardinal61@mail.ru

² Tambov State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structures of Buildings and Structures, Russia, sansanich1409@yandex.ru

Key words: thermal fluctuation constants, wood composites, durability prediction, aging

Сокращение затрат времени на получение надежной информации о гарантированных сроках службы древесных композитов является актуальной задачей, решение которой невозможно без развития методов прогнозирования долговечности, базирующихся на проведении ускоренного лабораторного старения, имитирующего повреждаемость материала в реальных условиях эксплуатации.

Прогнозирование долговечности подобными методами основано на трансформации энергетических значений факторов естественного старения в лабораторные режимы испытаний. Переход от продолжительности ускоренного старения к сроку службы материала при естественной эксплуатации осуществляется экстраполяцией по уравнению Аррениуса специального вида (ГОСТ 9.707-81). Однако в этом случае не учитывается длительное механическое нагружение композитов, которое активизирует процессы старения.

В работах [1-3] предложен оригинальный подход к прогнозированию долговечности, заключающийся в сочетании экстраполяционного метода прогнозирования изменения свойств древесных композитов (ДВП, ДСтП и фанеры) по результатам ускоренного старения и термофлуктуационной теории разрушения и деформирования твердых тел, учитывающей длительную работу под нагрузкой.

Автором подробно раскрыты механизмы влияния факторов старения (повышенной температуры и УФ-облучения) на долговечность древесных композитов, заключающиеся в накоплении дефектов в результате деструкции древесного наполнителя и полимерной смолы, что ускоряет кинетику термофлуктуационного процесса разрушения, отражается на виде термоактивационных закономерностей и значениях термофлуктуационных констант, определяющих долговечность древесных композитов [1-3].

Полученные результаты позволили разработать методику и модернизировать существующие уравнения долговечности термофлуктуационной теории, включая обобщенное уравнение С.Н. Журкова, путем введения поправки, комплексно корректирующей значения всех термофлуктуационных констант после теплового старения и УФ-облучения древесных композитов [1-3].

Тем не менее проблема учета факторов старения, включая климатические, и повышения надежности прогноза при термофлуктуационном подходе остается открытой и требует более глубокого анализа. Требуется детальное изучение поведения значений констант во времени для возможности прогнозирования их величин на заданную продолжительность действия факторов старения.

Для решения поставленной задачи авторами реализована идея, зародившаяся при выполнении диссертационного исследования [2] и заключающаяся в получении математических моделей, отражающих изменение величин термофлуктуационных констант обобщенного уравнения С.Н. Журкова в зависимости от продолжительности теплового старения на примере древесно-стружечных плит (рисунок 1).

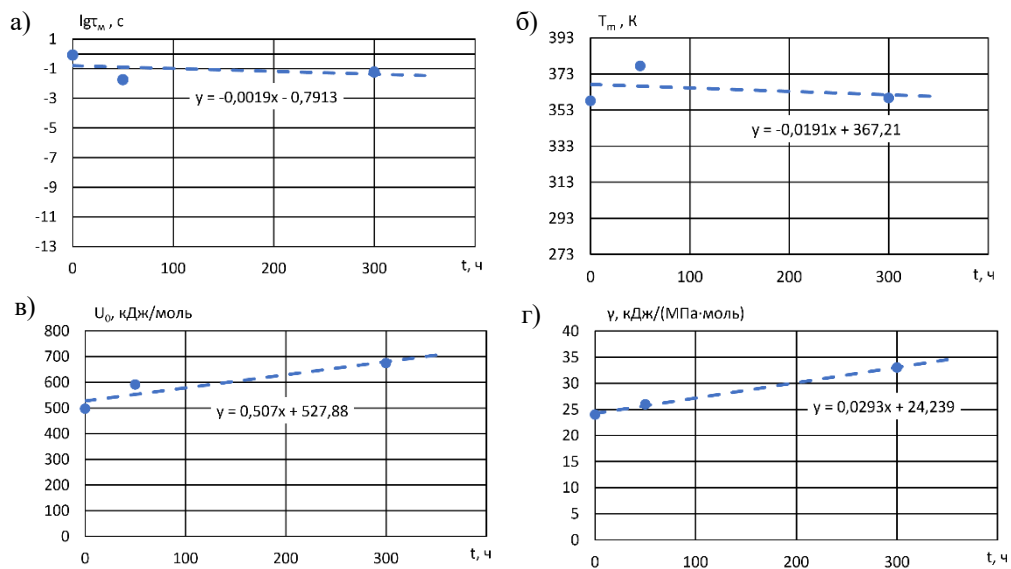


Рисунок 1 – Зависимости величин термофлуктуационных констант обобщенного уравнения С.Н. Журкова от продолжительности теплового старения древесно-стружечных плит: а) период колебания кинетических единиц $lg\tau_m$; б) предельная температура существования твердого тела T_m ; в) эффективная энергия активации процесса разрушения U_0 ; г) структурно-механическая константа γ .

В первом приближении, ввиду малого числа вариантов продолжительности старения (0, 50 и 300 ч.), экспериментальные результаты аппроксимируются линейными функциями.

Поведение графиков функций для $lg\tau_m$, γ и T_m не противоречит положениям термофлуктуационной теории. С увеличением продолжительности старения период колебания кинетических единиц $lg\tau_m$ и предельная температура T_m уменьшаются, а структурно-механическая константа γ растет, что вызвано большим числом разорванных химических связей на различных уровнях организации структуры композита [4].

Нет противоречия и в поведении функции $U_0(t)$. Рост энергии активации вызван уменьшением жесткости композита. Материал после старения деформируется под нагрузкой сильнее [4].

На рисунке 1 также представлены уравнения линейной регрессии, которые могут применяться для прогнозирования величин констант при старении древесных компо-

зитов, а следовательно, имеется перспектива повышения надёжности прогноза их долговечности с позиции термофлуктуационной теории и сокращения затрат времени на его выполнение.

Изложенный тезисно авторами подход безусловно нуждается в научном обосновании и разработке. На данном этапе не раскрыты граничные условия для величин термофлуктуационных констант (физически возможные максимальные и минимальные значения). Также не учитываются случаи перехода термоактивационных зависимостей (семейство прямых) от одного вида к другому (например, к семейству параллельных прямых) в процессе старения.

Список использованных источников

1. *Mamontov, S., Mamontov, A., Monastyr, P., Emelianov, S., Pahomova, E. (2023). Aging and Long-Term Mechanical Impact in the Durability of Wood Composites. In: Vatin, N., Pakhomova, E.G., Kukaras, D. (eds) Modern Problems in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 287. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-12703-8_7.*

2. *Мамонтов, С.А. Разработка методики прогнозирования долговечности древесных композитов с учетом их старения : диссертация ... кандидата технических наук : 2.1.5. / Мамонтов Семен Александрович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»]. - Тамбов, 2021. - 204 с.*

3. *Мамонтов, С. А. Учет факторов старения и длительного механического воздействия при прогнозировании долговечности древесных композитов / С. А. Мамонтов, А. А. Мамонтов, О. А. Киселева // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 9(1045). – С. 38-41. – EDN ZNLZNU.*

4. *Мамонтов, С. А. Тепловое и световое старение древесно-стружечных плит в контексте термофлуктуационного подхода к прогнозированию долговечности / С. А. Мамонтов, А. А. Мамонтов, О. А. Киселева // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 1(1037). – С. 62-64. – EDN JUMCFС.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И КИНЕТИКИ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Низина Т.А.¹, Канаева Н.С.², Низин Д.Р.³, Спиринов И.П.⁴

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», д.т.н., профессор кафедры «Строительные конструкции», Россия, nizinata@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», аспирант кафедры «Строительные конструкции», Россия, aniknadya@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», к.т.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз, Россия, nizindi@yandex.ru

⁴ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», магистрант кафедры «Строительные конструкции», Россия, spirinil2000@yandex.ru

Ключевые слова: полимерные материалы, эпоксидные полимеры, релаксация напряжений, уравнение Колярауша, уравнение Больцмана, ядро релаксации

SIMULATION OF RELAXATION CHARACTERISTICS AND KINETICS OF DAMAGE ACCUMULATION IN POLYMER MATERIALS CONSIDERING DURATION AND INTENSITY OF ENVIRONMENTAL FACTORS IMPACT

Nizina T.A.¹, Kanaeva N.S.², Nizin D.I.³, Spirin I.P.⁴

¹ National Research Mordovia State University, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Structures, Russia, nizinata@yandex.ru

² National Research Mordovia State University, Postgraduate student of the Department of Building Structures, Russia, aniknadya@yandex.ru

³ National Research Mordovia State University, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Research Laboratory of Ecological and Meteorological Monitoring, Construction Technologies and Expertise, Russia, nizindi@yandex.ru

⁴ National Research Mordovia State University, Master's student of the Department of Building Structures, Russia, spirinil2000@yandex.ru

Key words: polymer materials, epoxy polymers, stress relaxation, Kohlrausch equation, Boltzmann equation, relaxation core

Анализ поведения полимерных материалов в процессе механического нагружения является довольно сложной задачей, поскольку полимеры обладают комплексом свойств, существенно меняющимся в зависимости от широкого числа внешних воздействий [1]. В процессе эксплуатации изделия и покрытия на полимерной основе подвергаются дополнительному воздействию разнообразных агрессивных сред и климатических факторов, что еще более усложняет процесс описания изменения их физико-механических характеристик, в том числе релаксационных показателей [2].

На данный момент существуют различные подходы для описания релаксационных процессов в полимерных материалах. Одним из наиболее успешных является расчет различных вариантов ядер релаксации уравнения Больцмана, предложенный А.А. Аскадским. В работах [3, 4] предложен подход, согласно которому процесс релаксации в структуре полимерного материала происходит за счет взаимодействия и

диффузии кинетических единиц – релаксаторов. К релаксаторам относят различные атомные группы, повторяющиеся звенья молекул и целые сегменты макромолекул, а также отдельные элементы свободного (пустого) объема – микрополости, концентраторы напряжения и т.д. Для описания взаимодействия релаксаторов предложено [3, 4] использовать ядра $T_1(t)$ и $T_2(t)$, учитывающие различные механизмы, регулирующие изменение энтропии в ходе релаксационного процесса. Ядро $T_1(t)$ соответствует предположению, что основой процесса релаксации напряжения является взаимодействие релаксаторов, например слияние микропор в одну микрополость и переход в нерелаксирующий материал, где релаксационные процессы уже завершены. Ядро $T_2(t)$ описывает релаксационный процесс из предположения, что ключевой стадией релаксации является диффузия образующихся нерелаксаторов в материале образца.

В работе [5] предложено для описания релаксационных процессов использовать уравнение Кольрауша:

$$\sigma = \sigma_0 \exp^{-(t/\tau)^k}, \quad (1)$$

где σ_0 и σ – напряжения в момент начала разгрузки и время t ; τ и k – коэффициенты, описывающие интенсивность протекания процессов релаксации.

В качестве объектов исследования в данной работе были использованы образцы полимерных материалов на основе эпоксидной смолы Этал-247 и отвердителей Этал-45М, Этал-1472 и Этал-45TZ2 производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Интенсивность климатического воздействия оценивалась по накоплению суммарной солнечной радиации, соответствующей 400, 800, 1600 и 3200 МДж/м². Уровни растягивающих напряжений при исследовании релаксационных процессов соответствовали уровням 40, 60 и 80% от предела прочности при растяжении, определенного с учетом натурального климатического старения. Длительность этапа релаксации составляла 30–60 минут. Для автоматизации расчета процессов релаксации полимерных материалов был разработан авторский программный комплекс [6].

На основе результатов экспериментальных исследований произведена аппроксимация кривых релаксации напряжений трех исследуемых полимеров с помощью модели Кольрауша и ядер релаксации $T_1(t)$ и $T_2(t)$ уравнения Больцмана как для контрольных состояний, так и после натурального климатического воздействия. Выявлено изменение параметров релаксации в зависимости от интенсивности климатического воздействия.

** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90287.*

Список использованных источников

1. Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р. Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография. Саранск : Изд-во Мордов. Ун-та, 2020. 188 с.
2. Канаева Н.С., Низин Д.Р., Низина Т.А. Релаксационные свойства полимерных материалов на основе эпоксидных связующих // Эксперт: теория и практика. 2022. №3. С. 42–46.
3. Мацевич А.В., Аскадский А.А., Мацевич Т.А. Релаксационные свойства материалов на основе смесей поливинилхлорида и АБС-пластика // Вестник МГСУ. 2015. №8. С.118–129.
4. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т.1. Атомно-молекулярный уровень. М.: Научный мир, 1999. 544 с.
5. Экспериментальное определение параметров регрессионной зависимости Кольрауша для пористых прессовок из воскообразных порошковых композиций / С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, Д.А. Потынихин, А.А. Соснин // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №2 (74). С. 1–17.
6. Низин Д.Р., Низина Т.А., Канаева Н.С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2022666240 «Расчет параметров уравнений Больцмана-Вольтерры для описания процессов релаксации полимерных материалов» от 26.08.2022 (заявка №2022664918 от 11.08.2022 г.).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Нугужинов Ж.С.¹, Ахмедиев С.К.², Бекетова М.С.³

- ¹ *Директор института КазМИРР, НАО «Карагандинский технический университет им. А.С. Сагинова», Советник РААСН, д.т.н., профессор, Республика Казахстан, kazmirr@mail.ru*
² *НАО Карагандинский технический университет им. А.С. Сагинова, профессор кафедры «Механика», Республика Казахстан*
³ *НАО Карагандинский технический университет им. А.С. Сагинова, м.т.н., докторант кафедры «Строительные материалы и технологий», Республика Казахстан, moldir-9292@mail.ru*

Ключевые слова: математическая модель, вероятность, техническое состояние, мониторинг, Марковские цепи

MATHEMATICAL MODEL OF PROBABILISTIC ANALYSIS OF STATISTICAL RESULTS OF SURVEY AND MONITORING OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Nuguzhinov Zh.S.¹, Akhmediyev S.K.², Beketova M.S.³

- ¹ *Director of the KazMIRD Institute, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, RAASN Advisor, Doctor of Technical Sciences, Professor, Republic of Kazakhstan, kazmirr@mail.ru*
² *Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Professor of the Department of Mechanics, Republic of Kazakhstan*
³ *Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Master of Technical Sciences, PhD student, Department of Building Materials and Technologies, Republic of Kazakhstan, moldir-9292@mail.ru*

Keywords: Mathematical model, probability, technical condition, monitoring, Markov chains

В ходе детального сплошного инструментального обследования строительных конструкций различных зданий и сооружений накапливаются статистические данные, которые позволяют назначить категории работоспособности несущих конструкций: 1-работоспособные; 2-ограничено работоспособные; 3-предаварийные (неудовлетворительные); здесь в качестве математической модели наиболее подходящими являются Марковские процессы [3].

На основании статистических данных обследования (испытания) вычислим вероятности безотказной работы (В.Б.Р.) по формуле [3]:

$$P_i(t) = \frac{n_i(\Delta t)}{N_{\text{об}}}, \quad (1)$$

где Δt – период эксплуатации на момент обследования; $n_i(\Delta t)$ - число конструкций, находящихся в соответствующем техническом состоянии; $N_{\text{об}}$ - 224 - общее число конструкций.

Вычислим переходные вероятности P_{iy} как зависимые величины (условные вероятности) [3,4].

$$P_{iy} = P\left(\frac{S_{y,i}}{S_{i,o}}\right)P(S_{yi}). \quad (2)$$

Параметры $P(S_{iy})$ ($i, y = 1, 2, 3$) вычисляются как соответствующие базовые вероятности согласно формуле (1).

На рис. 1 приведен граф технических состояний конструкций (с учетом возможного их ремонта после процедуры обследования).

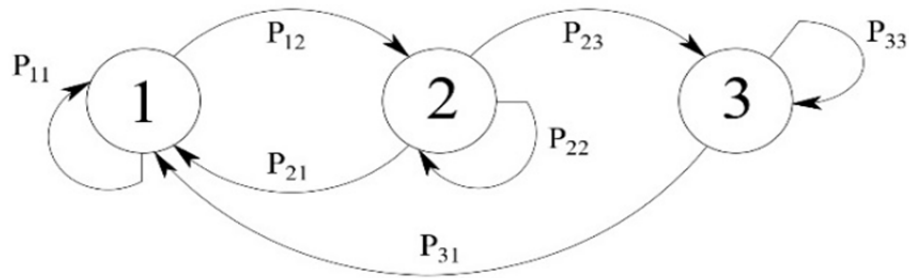


Рисунок 1 – Граф трех видов технического состояния (1,2,3) с указанием переходных вероятностей

В этом графе учтена возможность ремонтов (восстанавливаемые элементы) конструкций после процедуры обследования, т.е. расчет ремонта конструкций можно переводить (в вероятностной форме) из 2-го (ограничено работоспособного) и 3-го (предаварийного) в 1-е (работоспособное) состояние.

Согласно данным графа (рис. 1) составляем матрицу переходных вероятностей (на 1-м шаге времени):

$$P^{(1)} = \begin{pmatrix} P_{11}^{(1)} & P_{12}^{(1)} & P_{13}^{(1)} \\ P_{21}^{(1)} & P_{22}^{(1)} & P_{23}^{(1)} \\ P_{31}^{(1)} & P_{32}^{(1)} & P_{33}^{(1)} \end{pmatrix}, \quad \bar{P}^{(0)} = \{P_1^{(0)}; P_2^{(0)}; P_3^{(0)}\}. \quad (3)$$

где $P_i^{(0)} (i=1,2,3)$ - вероятность нахождения конструкции на данный момент времени (Δt) в соответствующем из трех состояний (исходная вероятность).

Предложенная математическая модель вероятностной оценки «В.Б.Р.» позволяет далее определить:

а) Определить предельный (финальный) вектор распределения В.Б.Р., т.е.

$$\bar{\pi} = \pi \cdot P, \quad (4)$$

где $\bar{\pi}$ - искомый вектор; P – матрица переходов (3).

б) Определить среднюю наработку на отказ (время надежной эксплуатации) исследуемых конструкции.

Для этого вычисляем интенсивность отказов по формуле:

$$\lambda_i(t) = \frac{n_i(\square t)}{N_{cp} \cdot \square t}. \quad (5)$$

среднюю наработку на отказ отдельных конструкций определяем по формуле:

$$T_i = \frac{1}{\lambda_i} \quad (i=1,2,3), \quad (6)$$

то же всей системы (всей совокупности конструкций)

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda_c}, \quad \text{где } \lambda_c = \sum \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3. \quad (7)$$

в) Определить прогноз безотказной работы конструкций в условиях дальнейшей эксплуатации:

$$P(t)=1-\lambda_{\text{cp}} \cdot t; t_i = \frac{1-P_p(t)}{\lambda_{\text{cp}}}, \quad (8)$$

где $P_p(t)$ – задаваемая (требуемая) В.Б.Р. конструкций на этапе эксплуатации (t).

Выводы и заключения

1. Предложенная математическая модель позволяет использовать вероятностный подход оценки надежности как отдельных конструкций, так и системы (совокупность конструкций) на основе статистических данных, полученных в ходе технического обследования и мониторинга зданий и сооружений.

2. Применение (приспособление) теории Марковских процессов позволяет анализировать переходные процессы (в виде графов трех технических состояний строительных конструкций: работоспособное, ограниченно работоспособное и предаварийное);

3. Предлагаемая методика может быть использована как в практическом аспекте (при обследовании) так и при проведении вероятностных расчетов несущей способности конструкции.

Список использованных источников

1. *Шите Г.* Надежность несущих строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1994. – 288с.
2. *Райзер В.Д.* Теория надежности в строительном проектировании. – М.: АСВ, 1998. – 304с.
3. *Аугусти Г., Баратта А., Кашати Ф.* Вероятностные методы в строительном проектировании (перевод с англ.). – М.: Стройиздат, 1988. -574с.
4. *Пшеничкина В.А., Воронкова Г.В., Дрыздов В.В.* Вероятностные методы строительной механики и теории надежности строительных конструкций, часть 2. – Волгоград: ВГТУ, 2021. – 98с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЖИВУЧЕСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РАМЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Осовских Е.В.¹, Осовских О.Е.²

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», к.т.н., доцент кафедры «Уникальные здания и сооружения», Россия, jane_wasp@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», к.т.н., доцент кафедры «Уникальные здания и сооружения», Россия, olga.-osa@mail.ru

Ключевые слова: железобетон, пространственная рама, составное сечение, деформации, параметры живучести, динамический расчет

DETERMINATION OF THE SURVIVABILITY PARAMETERS OF A REINFORCED CONCRETE SPATIAL FRAME OPERATING UNDER CONDITIONS OF A COMPLEX STRESS STATE

Osovskikh E.V.¹, Osovskikh O.E.²

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Southwest State University», Associate Professor of the Department of Unique Buildings and Structures, Russia, jane_wasp@mail.ru

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Southwest State University», postgraduate student of the Department of Unique Buildings and Structures, Russia, olga.-osa@mail.ru

Key words: reinforced concrete, spatial frame, composite section, deformations, survivability parameters, dynamic calculation.

В соответствии с требованиями Федерального закона № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и положениями свода правил СП 385.1325800.2018 должна производиться расчетная проверка зданий и сооружений на устойчивость против прогрессирующего обрушения вследствие предполагаемого начального разрушения, приводящего к изменению конструктивной системы. Такой расчет по особому предельному состоянию, связанному с внезапным удалением одного из несущих элементов, следует выполнять квазистатическим или динамическим методом по пространственным расчетным схемам.

Расчет квазистатическим методом является продолжением проектного расчета и, как правило, использует уже разработанную на стадии проектирования расчетную схему здания. В силу относительной простоты метод пользуется популярностью, однако корректный результат можно получить только в тех случаях, когда форма движения системы в результате запроектного воздействия будет близка к форме ее статического равновесия без удаленного элемента [1]. По этой причине в общем случае необходимо проверить динамическое поведение системы.

Регламентируемый нормами расчет на устойчивость против прогрессирующего обрушения в динамической постановке содержит общие рекомендации о возможности учета податливого основания и включения в расчетную модель ненесущих элементов без определения границ их применимости. В работе выполнено сопоставление результатов экспериментальных исследований и численного анализа железобетонной опытной конструкции пространственной рамы – фрагмента каркаса многоэтажного здания в предельных и запредельных состояниях при варьировании указанных выше параметров.

В развитие исследований [2] в испытательной лаборатории Юго-Западного государственного университета разработан и испытан опытный образец фрагмента пространственной железобетонной рамы, работающей в условиях сложного напряженного состояния [3]. Динамический расчет рассматриваемой конструктивной системы выполнен в режиме прямого интегрирования уравнений движения по методике, приведенной в методическом пособии к СП 385.1325800.2018 и в [1,4]. Вначале по первичной расчетной схеме, включающей центральную стойку и заданные нагрузки особого предельного состояния, было вычислено усилие от статически приложенной нагрузки в удаляемом элементе. Далее, во вторичной схеме с удаленным элементом сформировано три нагружения. Первое нагружение включало заданные внешние нагрузки и вычисленную реакцию удаленного элемента, так, что система находилась в состоянии равновесия. Второе нагружение включало одну силу, численно равную реакции в удаленной связи, взятую с обратным знаком. Третье – динамическое – нагружение определяло параметры численного интегрирования уравнений движения системы при приложении указанных нагрузок. Расчетная процедура описывала поведение конструкции в течение 4с. с интервалами по 0,01 с. За первые 0,1 с прикладывалась эксплуатационная нагрузка вместе с вычисленной реакцией удаленной опоры. После стабилизации системы на отметке 2,00 с в течение 0,06 с реакция удаленной связи компенсировалась силой из второго нагружения, что эквивалентно удалению связи за указанные 0,06 с.

Результаты расчетов в сопоставлении с опытными данными приведены на рисунке 1, начало шкалы времени условно перенесено на момент выключения связи.

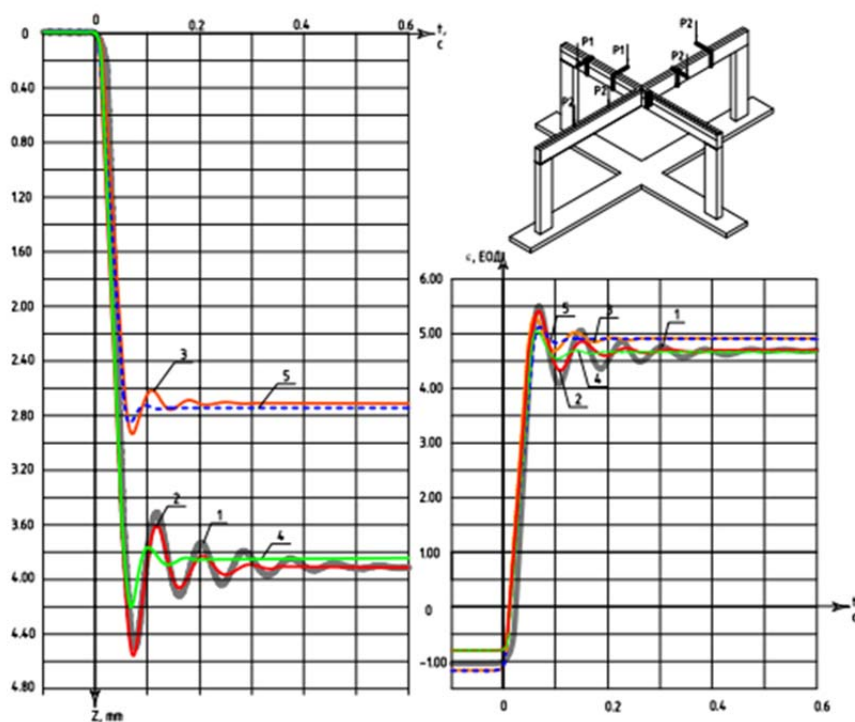


Рисунок 1 – Результаты численных и экспериментальных исследований опытного фрагмента: а - вертикальные перемещения центральной точки, б - относительные деформации в отмеченном сечении; 1 – опытное значение, 2 – расчет с учетом всех параметров, 3 – то же, с нагрузочным устройством и жестким основанием, 4 – то же, без нагрузочного устройства и с податливым основанием, 5 – то же, без нагрузочного устройства и на жестком основании

В результате исследований установлены особенности деформирования конструктивной системы до и после запроектного воздействия, вызывающего ее внезапную структурную перестройку. Численные исследования выполнены с учетом и без учета податливого основания, а также включения или не включения в расчет несущих элементов. Получено удовлетворительное совпадение данных экспериментальных исследований с результатами динамического расчета. Установлено, что результаты динамического расчета опытного фрагмента согласуются с опытными данными только при учете элементов нагрузочного устройства и реальных граничных условий, включая деформируемое основание.

Список использованных источников

1. *Perelmuter A.V., Kabantsev O.V.* About the problem of analysis resistance bearing systems in failure of a structural element. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Moscow. 2018;14(3):103-113.
2. *Travush V.I., Fedorova N.V.* Survivability of structural systems of buildings with special effects.// MagazineofCivilEngineering. Moscow. 2018;5(81):73–80.
3. Осовских О.Е. Экспериментальные исследования фрагмента железобетонного каркаса многоэтажного здания при сложном напряженном состоянии //Строительство и реконструкция. Курск. 2021. Т. 5. № 97. С. 62–73.
4. Кабанцев О.В., Перельмутер А.В. О методах анализа сопротивления несущих систем в режимах отказа конструктивного элемента// Изд-во МИСИ-МГСУ, Москва. 2018. С. 132–137.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛЬЮ КОНСТРУКЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Сидоров В.Н.¹, Арутюнян А.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики, Россия, sidorov.vladimir@gmail.com

² ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта», аспирант кафедры «Строительная механика», Россия, ladderike@gmail.com

Ключевые слова: собственные частоты, моделирование конструкции, корректировка модели, метод конечных элементов, проблема собственных значений

CONTROLLING METHOD OF COMPUTATIONAL MODEL BY THE RESULTS OF ITS DYNAMIC TESTS

Sidorov V.N.¹, Arutyunyan A.A.²

¹ Moscow State University of Civil Engineering, professor, Department of Computer Science and Applied Mathematics, Russia, sidorov.vladimir@gmail.com

² Russian University of Transport, postgraduate student, Department of Structural Mechanics, Russia, ladderike@gmail.com

Key words: natural frequencies, modelling, model adjustment, finite element model, eigenvalue

Возможность контролировать текущее техническое состояние зданий и сооружений и оперативно выявлять повреждения на ранней стадии их возможного развития представляет большую ценность для инженеров. Это позволяет, в том числе, предотвратить аварийные ситуации, потери человеческих жизней и минимизировать финансовый ущерб. Проведение поэлементного обследования строительных объектов это трудоемкий процесс, требующий определенной квалификации и опыта инженеров, а также финансовых затрат.

В докладе излагается метод управления параметрами расчетной модели конструкции по результатам экспериментальных испытаний конструкции на основе их вибрационного анализа. Основа сущности метода вытекает из того, что физико-механические и геометрические параметры конструкций однозначно определяют их модальные характеристики. Частоты и формы свободных колебаний конструкций представляются вполне исчерпывающими характеристиками эксплуатационных качеств конструкций и сооружений, определяющих их прочность, деформативность, долговечность и др. Изменения физических параметров, вызываемые дефектами, возможно часто скрытыми повреждениями, деградацией физических свойств материала конструкции приводят к изменению ее модальных параметров. Изменение этих параметров в течении срока службы конструкций можно отслеживать при их обследованиях, в том числе, в составе их мониторинга. После измерения динамических характеристик конструкции, целесообразно с достаточной точностью скорректировать расчетную (конечно-элементную) модель сооружения и в свою очередь, при ее испытаниях получать данные о текущем состоянии конструкции.

В основу расчётной модели сооружения может быть принята достаточно общая математическая модель механической системы – уравнение движения твёрдого деформируемого тела конечным числом степеней свободы, записанное в матричном виде, в перемещениях:

$$M \cdot \ddot{\bar{V}}(t) + D \cdot \dot{\bar{V}}(t) + K \cdot \bar{V}(t) = \bar{F}(t). \quad (1)$$

где M – матрица масс конструкции, D – матрица демпфирования конструкции, K – матрица жесткости конструкции, \bar{V} – вектор перемещений, \bar{F} – вектор внешних силовых воздействий в направлениях степеней свободы расчетной модели конструкции, t – параметр времени.

В настоящем исследовании в основе алгоритма корректировки расчетной модели конструкции по результатам ее динамических испытаний принят идеальный незатухающий процесс свободных колебаний конечно – элементной расчетной модели, представляемый в матричном виде:

$$M \cdot \ddot{\bar{V}}(t) + K \cdot \bar{V}(t) = 0, \quad (2)$$

Предлагаемый подход позволяет корректировать вычислительную расчетную модель сооружения для оперативного устранения различий в проявлениях сооружения и проявлениях его расчетной модели, выявленных в ходе мониторинга сооружения. Корректировка заключается в регулировке спектра собственных значений расчетной модели с использованием величин частот свободных колебаний, получаемых в ходе мониторинга сооружения. Считается, что результатами замеров в ходе мониторинга может быть достаточное количество характерных значений собственных частот объекта с установлением их соответствия формам свободных колебаний. Такое «попарное» соответствие замеренных при мониторинге значений N собственных частот f_j и форм свободных колебаний Φ_j ($j = 1, 2, \dots, N$) для описываемого ниже алгоритма численной корректировки расчетной схемы сооружения принимается в качестве исходной информации.

Если в (2) представить

$$A = M^{-1} \cdot K, \quad (3)$$

систему уравнений стационарных свободных колебаний расчетной модели механической системы можно представить в полном матричном виде

$$A \cdot \Phi = \Phi \cdot \Lambda, \quad (4)$$

Где $\Phi = [\{\Phi\}_1 \{\Phi\}_2 \dots \{\Phi\}_n]$ – матрица, чьи столбцы $\{\Phi\}_i$ являются собственными векторами расчетной модели сооружения, n – количество степеней свободы расчетной схемы сооружения (порядок матриц M и K);

$\Lambda = \text{diag} (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, или жорданова форма матрицы A , $\lambda_i = \omega_i^2$ – собственные числа матрицы A , ω_i – i -ая собственная циклическая (круговая) частота колебаний расчетной схемы сооружения, $\omega_i = 2 \cdot \pi \cdot f_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

В качестве численного примера рассматривается корректировка конечно-элементной расчетной модели фермы вследствие деградации физико-механических и геометрических параметров ее элементов по данным натурных динамических испытаний конструкции. Корректировка заключается в регулировке спектра собственных значений расчетной модели с использованием величин частот свободных колебаний, получаемых по результатам динамических испытаний сооружения.

Список использованных источников

1. Шаблинский Г.Э., Зубков Д.А. Натурные динамические исследования строительных конструкций. М., Издательство АСВ, 2009.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М., Издательство ДМК, 2007.
3. Сидоров В.Н., Бадьина Е.С. Метод конечных элементов в задачах устойчивости и колебаний стержневых конструкций. Примеры расчетов в Mathcad и MATLAB М.: Изд-во АСВ, 2021, 172с.
4. Friswell M.I., Mottershead J.E., Ahmadian H. Finite Element Model Updating using Experimental Test Data: Parameterization and Regularization. Transactions of the Royal Society of London, s.A, Special Issue on Experimental Modal Analysis, 359 (1778), 01. 2001, pp.169-186.
5. Сидоров В.Н. Об учёте результатов экспериментальных исследований сооружения при формировании его расчетной модели. Строительная механика и расчёт сооружений. №5 (256), 2014.
6. Sidorov V.N. Adjustment Algorithm for Computational Model of Building by Results of its Monitoring. XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP), 2014, Wroclaw, Poland.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ, СТАРЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Сулейманов А.М.¹, Каюмов Р.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Строительные материалы», Россия, alfred-sulejmanov@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», д.ф.-м.н., профессор кафедры «Механика», Россия, kayumovra@yandex.ru

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, численные методы расчета, долговечность, частные коэффициенты надежности

MODELING OF OPERATION, AGING AND DESTRUCTION OF STRUCTURAL POLYMER COMPOSITE MATERIALS UNDER OPERATING CONDITIONS

Suleymanov A.M.¹, Kayumov R.A.²

¹ Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials, Russia, alfred-sulejmanov@yandex.ru

² Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Russia, kayumovra@yandex.ru

Keywords: polymer composite materials, numerical calculation methods, durability, partial reliability coefficients

Полимерные композитные материалы (ПКМ), благодаря своей высокой коррозионной стойкости и сопоставимым со сталью механическим характеристикам, заняли прочное место на рынке строительных материалов. В число таких материалов входят такие конструкционные материалы как пултрузионные стеклопластиковые профили (ПСП).

Однако широкому применению ПСП в строительной отрасли препятствует ряд проблем:

- отсутствие полноценной базы нормативно-технических документов, регламентирующих свойства композитов и правила их применения;
- вопросы проектирования конструкций с учетом особенностей свойств этих материалов;
- неопределенности, связанные с частными коэффициентами надежности и методами их определения;
- отсутствие информации о долговечности данного класса композитов в заданных условиях эксплуатации и методов её прогнозирования и другие.

Проектирование конструкций из ПСП проводится на основе производимого предприятиями сортамента профилей. Существующий сортамент ПСП в большинстве своем дублирует формы профилей металлических аналогов с изотропными механическими свойствами, где материал, одинаково сопротивляющийся как растяжению, так и сжатию обычно имеют поперечные сечения симметричные относительно своих осей. Профили из материалов, с различным сопротивлением на растяжение или сжатие, каковыми являются ПСП, очевидно необходимо изготавливать с несимметричным сечением.

Кроме этого на сегодняшний день в производстве ПСП имеется тенденция к изготовлению композитов с гибридным армированием, например, с сочетанием стеклянных и угольных волокон. При этом сам материал выступает уже как конструкция, которую необходимо проектировать с оптимальным расположением разнородных волокон в различных зонах композита. Для этого необходим компьютерный инструментарий для структурно-имитационного моделирования композита с оптимальным составом и структурой, а также оптимальными профилеразмерами.

Сегодня на рынке появились коммерческие программные продукты - виртуальные лаборатории для нелинейного многоуровневого моделирования композиционных материалов и конструкций из них, например программный комплекс Digimat.

Технология моделирования композитных материалов в Digimat опирается на микромеханические подходы для точного прогнозирования поведения сложных многокомпонентных материалов и позволяет преодолеть разрыв между разработкой композитного материала, производственным процессом изготовления и конечно-элементным расчетом. Digimat позволяет моделировать характеристики термопластиков, терморезистивных пластмасс и композитных материалов с различной матрицей (полимерной, металлической, резиновой). Полученные характеристики материалов в дальнейшем могут быть переданы для выполнения расчетов в конечно-элементных пакетах. Возможен учет неоднородности характеристик материалов, связанный с технологическими процессами изготовления композитов: литья под давлением, выкладки, прессовки. Digimat обеспечивает получение тепловых, электрических, прочностных и теплопрочностных характеристик многофазных материалов.

Однако данный программный продукт не моделирует воздействие атмосферных факторов, которые в значительной степени определяют долговечность и надежность эксплуатации конструкций из композиционных материалов.

В КГАСУ в течение последних десяти лет ведутся разработки в области компьютерного моделирования различных ПКМ. Разработаны математические модели процессов разрушения, учитывающие структурную механику, вязкоупругие свойства и ползучесть полимерной матрицы композита, деструкцию и накопление в ней микроразрушений, а также интенсивность воздействия эксплуатационных факторов и атмосферостойкость самого материала [1,2].

Список использованных источников

1. Сулейманов А.М., Ридель В.В. О математическом моделировании напряженно-деформированного состояния пленочно-тканевого материала при статическом нагружении. Расчет пластин и оболочек в химическом машиностроении // Межвуз. сб. научн. трудов КГТУ. – 1994. – С. 99–103.
2. Kayumov R.A., Suleymanov A.M., Muhamedova I.Z. Estimation of the durability of polymer composites on a fabric basis, taking into account the influence of non-force factors // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2020. – № 934(1) – P. 1–6.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕНОСТЕКЛА

Федосов С.В.¹, Баканов М.О.², Грушко И.С.³

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, д.т.н., профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», Россия, fedosov-academic53@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», советник РААСН, д.т.н., доцент, начальник учебно-научного комплекса «Пожаротушение», Россия, mask-13@mail.ru

³ ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», к.т.н., доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение», Россия, grushkois@gmail.com

Ключевые слова: пеностекло, регрессионный анализ, микроструктура, эксплуатационные свойства

USE OF REGRESSION ANALYSIS FOR PREDICTION OF THE PERFORMANCE PROPERTIES OF FOAM GLASS

Fedosov S.V.¹, Bakanov M.O.², Grushko I.S.³

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Organization of Construction Production, Russia, fedosov-academic53@mail.ru

² Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, RAASN advisor, doctor of technical sciences, associate professor, head of the firefighting educational and scientific research complex, Russia, mask-13@mail.ru

³ Platov South-Russian State Polytechnic University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial, Civil Engineering, Geotechnical and Foundation Engineering, Russia, grushkois@gmail.com

Key words: foam glass, regression analysis, microstructure, operational properties

Создание новых теплоизоляционных материалов с необходимым набором эксплуатационных характеристик, оптимизация отдельных свойств существующих материалов является актуальной задачей в области строительства. Строительный теплоизоляционный материал пеностекло обладает низкой теплопроводностью, высокой прочностью, морозостойкостью, низкой плотностью. Физические свойства пеностекла зависят, в том числе, и от его макро- и микроструктуры, которые регулируются изменением температурного режима синтеза и модификацией состава путем введения добавок [1]. Основу для проектирования новых структур материалов и способов их создания обеспечивают методы математического моделирования [2]. Отдельно можно выделить статистические методы, в частности метод регрессионного анализа. Данный метод позволяет провести качественный и количественный анализ влияния факторов на эксплуатационные свойства материала. Именно данная задача формулирует цель текущего исследования.

Оценка влияния отдельных факторов представляется достаточно простой задачей, однако, при работе с системами стекол, содержащих 15 и более оксидов, оценить их совместное влияние на структуру и эксплуатационные свойства затруднительно. В данном исследовании в качестве факторов определены параметры микроструктуры

материала и состав исходной шихты. Для использования регрессионного анализа необходимо сформировать достаточный набор исходных данных. В рамках подготовительных работ были синтезированы 9 составов пеностекла, по единому температурно-временному режиму. Химический состав компонентов соответствует следующим диапазонам (масс.%): SiO_2 [61,88÷63,13]; TiO_2 [0,25÷0,27]; Al_2O_3 [7,29÷8,17]; Fe_2O_3 [3,18÷3,56]; MnO [0,03÷0,5]; MgO [2,84÷3,19]; CaO [6,15÷8,53]; Na_2O [11,0÷11,5]; K_2O [1,25÷1,40]; P_2O_5 [0,03÷0,04]; BaO [0,04÷0,05]; SO_3 [0,02÷0,03]; V_2O_5 [0,0÷0,02]; Cr_2O_3 [0,0÷0,97]; B_2O_3 [1,90÷3,48]; ZrO_2 [0,0÷0,3]. В лабораторных условиях определены эксплуатационные свойства пеностекла (теплопроводность, плотность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, прочность при растяжении перпендикулярно лицевым поверхностям, прочность при действии сосредоточенной нагрузки), а также параметры микроструктуры (качественный и количественный фазовый состав, количество кристаллической и аморфной фазы, пористость, толщина межпоровой перегородки). Исследования закономерности влияния микроструктуры пеностекла на его свойства проведены с применением регрессионного и корреляционного анализов в среде Jupyter Notebook на языке программирования Python с применением дополнительной библиотеки статистического анализа SciKit-Learn. Для корреляционного анализа использован критерий Пирсона. Для регрессионного анализа использована модель множественной линейной регрессии с методом градиентного спуска для минимизации ошибки и предварительной нормализацией данных через среднее значение и стандартное отклонение. Для оценки точности модели использованы метрики среднеквадратической и среднеквадратичной ошибки.

Расчет оценок влияния выполнен как для каждого отдельного фактора, так и для их сочетаний. В последнем случае выполнялось дополнение матрицы входных данных полиномиальными параметрами второй степени, исключая квадратичные зависимости. Общее количество разработанных моделей – 44. При моделировании прямого влияния «хим. состав» - «эксплуатационные параметры» погрешность достигала 30 %. Меньшую погрешность показал двухэтапный вариант регрессионного анализа: (I) получение уравнений регрессии, описывающих влияние химического состава на микроструктуру образца, и (II) получение уравнений регрессии, описывающих влияние микроструктуры образца на эксплуатационные свойства. Величина максимальной ошибки не превышает 15 %, что позволяет говорить о достаточной точности интерполяции в диапазонах исходных (независимых) переменных. Кроме того, модели проверены на воспроизводимость. Расчет коэффициентов модели выполнен не менее 5 раз, полученные значения показали стабильность в пределах ± 10 %. Анализ значений коэффициентов регрессионных моделей позволил сделать вывод о непротиворечивости результатов экспериментов теоретическим положениям и логике, а также подтвердить адекватность полученной статистической модели. Разработанные регрессионные модели обеспечивают возможность использования имеющихся экспериментальных данных для выявления неочевидных зависимостей, а также влияния взаимодействий факторов на эксплуатационные свойства.

Список использованных источников

1. Грушко И. С. Влияние технологических добавок на структуру пеностекла // Строительные материалы. 2022. № 4. С. 44-49.
2. Fedosov S.V., Bakanov M.O. Modelling of Temperature Field Distribution of the Foam Glass Batch in Terms of Thermal Treatment of Foam Glass // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Vol. 13, No. 3. P. 112-118.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАССОПЕРЕНОСА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССА КОРРОЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕТОНА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ СРЕДАМИ

Федосов С.В.¹, Нармания Б.Е.²

¹ ФГБОУВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», д.т.н., профессор, академик РААСН, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», Россия, fedosovsv@mgsu.ru

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», аспирант кафедры «Технологии и организация строительного производства», Россия, borisfablee@gmail.com

Ключевые слова: математическое моделирование, коррозионный массоперенос, параметры массопереноса, динамика массопереноса, кинетика массопереноса

INFLUENCE OF MASS TRANSFER PARAMETERS ON THE INTENSITY OF THE PROCESS OF CORROSION INTERACTION OF CONCRETE WITH BIOLOGICAL MEDIA

Fedosov S.V.¹, Narmaniya B.E.²

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAACS, Professor of the Department of Technologies and organization of construction production, Russia, fedosovsv@mgsu.ru*

² *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), PhD student, Department of Technologies and organization of construction production, Russia, borisfablee@gmail.com*

Key words: mathematical modeling, corrosive mass transfer, mass transfer parameters, mass transfer dynamics, mass transfer kinetics

Для решения задач повышения долговечности бетона большое значение имеет моделирование процессов коррозии [1-3]. Выявление повреждений на ранних стадиях или предпосылок к ним, а также прогнозирование их развития позволяет правильно оценить условия эксплуатации бетонных изделий, определить эффективность применения методов и средств защиты и принять решение об их совершенствовании [4, 5].

На рис. 1 показана динамика массопереноса в зависимости от различных значений массообменного числа Био. Качественно подобраны 3 значения числа Био, при которых принципиально отличаются механизмы массопереноса.

На рис. 1-а массообменный критерий Био равен 0,1, т.е. процесс лимитируется внутренней диффузией «свободного гидроксида кальция». С увеличением числа Фурье кривые становятся более пологими, следовательно, с течением времени происходит снижение изменения градиента концентраций по толщине конструкции, процессы массопереноса в твердой фазе замедляются.

На рис. 1-б массообменный критерий Био равен 1, т.е. процесс лимитируется внутренней диффузией и внешней массоотдачей «свободного гидроксида кальция». На начальных этапах (кривые 1 и 2) коррозии процессы массопереноса протекают наиболее интенсивно, и с течением времени происходит значительное уменьшение градиента концентраций по толщине бетона (кривая б), что соответствует замедлению массообмена между твердой и жидкой фазами в исследуемой системе.

А на рис. 1-в массообменный критерий Био равен 2, т.е. процесс лимитируется преимущественно внешней массоотдачей «свободного гидроксида кальция» в жидкую фазу. На начальных этапах коррозии (кривые 1-3) массоотдача переносимого компонента в жидкую фазу протекает наиболее интенсивно, но с течением времени изменение градиента концентраций значительно снижается (кривая 6), следовательно массоотдача «свободного гидроксида кальция» уменьшается, постепенно выходя на постоянные значения.

Совместный анализ изображений рис. 1 приводит к выводу, что коэффициент массоотдачи, определяющий величину массообменного числа Био в значительной степени влияет на динамику процесса массопереноса, особенно при небольших значениях числа Фурье.

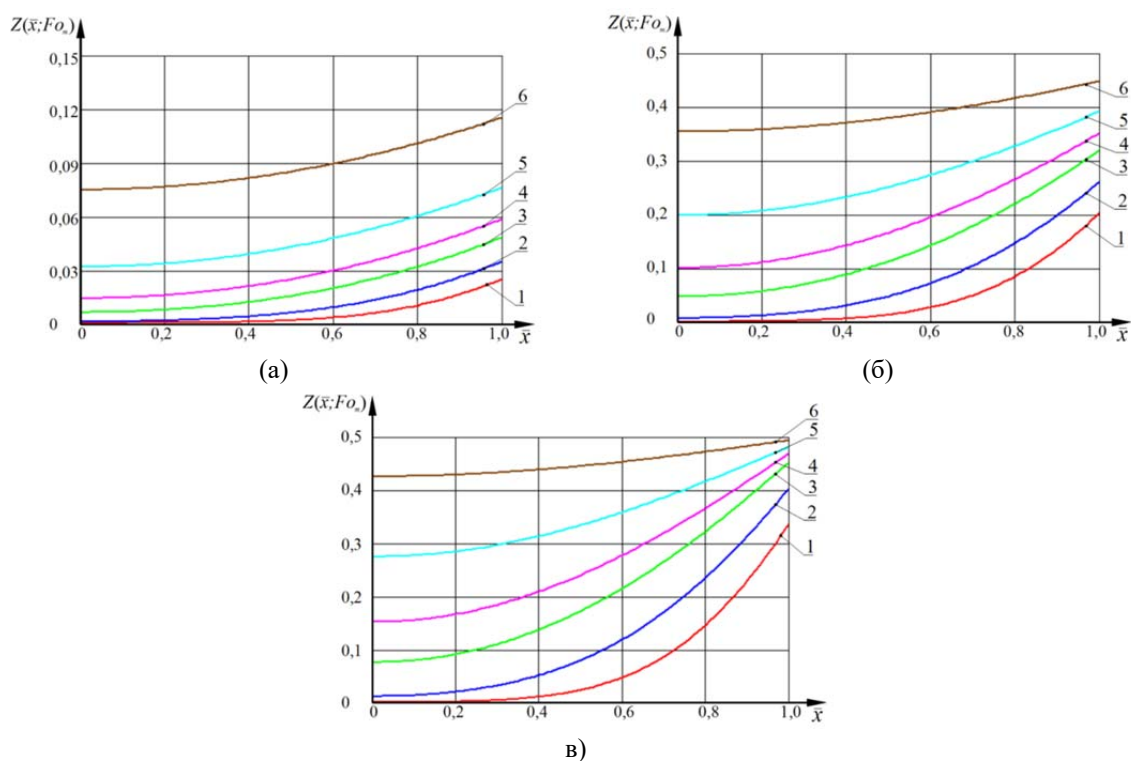


Рисунок 1 – Изменение безразмерных концентраций $Z(\bar{x}, Fo_m)$ по толщине бетонной конструкции при значении массообменного числа Био: а) 0,1; б) 1; в) 2, и числах Фурье: 1) 0,05; 2) 0,1; 3) 0,2; 4) 0,3; 5) 0,5; 6) 1; $K_m = 1$; $Z_p(0) = 1$

Список использованных источников

1. Ožbolt J., Balabanić G., Periškić G., Kušter M. Modelling the effect of damage on transport processes in concrete // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Issue 9. P. 1638-1648.
2. Селяев В.П., Неверов В.А., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Юдина О.А. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учетом сульфатной коррозии бетона // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 1. С. 41-52.
3. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В. Методы математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах. М.: Издательство АСВ, 2021. 244 с.
4. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В. Оценка влияния параметров массопереноса на кинетику и динамику процессов, протекающих при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2018. № 1(5). С. 14-22.
5. Коррозия строительных материалов: проблемы, пути решения / С.В. Федосов, В.Ф. Степанова, В.Е. Румянцева, В.Г. Котлов, А.Ю. Степанов, В.С. Коновалова. М.: Издательство АСВ, 2022. 400 с.

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИНТЕРАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Шашкин К.Г.¹, Шашкин А.Г.²

¹ ООО «ИСП «Геореконструкция», к.т.н., заместитель генерального директора, Россия, cshashkin@yandex.ru

² ООО «ИСП «Геореконструкция», д.г.-м.н., генеральный директор, ФГБОУ ВО ПГУПС, профессор кафедры Основания и фундаменты, Россия, 9563513@gmail.com

Ключевые слова: интерактивный мониторинг; мониторинг при эксплуатации сооружения; система мониторинга инженерных конструкций; обратный анализ результатов мониторинга; принятие управленческих решений; критерии аварийного состояния; сигналы тревоги

BASICS OF MAKING SYSTEMS OF INTERACTIVE MONITORING FOR BUILDINGS AND STRUCTURES

Shashkin K.G.¹, Shashkin A.G.²

¹ "ISP "Georeconstruction", LLC, PhD, Tech., Deputy director general, Russia, cshashkin@yandex.ru

² "ISP "Georeconstruction", LLC, DrS, Geol.-Min., Director General; Alexander I St. Petersburg State Transport University, Professor of the Department of soils and foundations, Russia, 9563513@gmail.com

Key words: interactive monitoring, monitoring during operation of a structure, system of monitoring of engineering structures, back analysis of monitoring results; managerial decision-making, failure state criteria, alarm signals

Мониторинг сооружений при эксплуатации – прямое требование действующего законодательства, особенно актуальное для технически сложных сооружений. Он важен не только для обеспечения механической безопасности при эксплуатации сооружения, но и как инструмент для обратного анализа фактического напряженно-деформированного состояния конструкций и основания на предмет соответствия выполненному при проектировании расчетному прогнозу, что в итоге должно способствовать развитию строительной теории и практики.

В докладе обобщен опыт мониторинга объектов с выполнением обратного анализа результатов наблюдений и построением системы интерактивного мониторинга. Сформулированы основные признаки работоспособной системы мониторинга, а именно:

- способность реагировать на возможные опасные процессы и явления (данный признак определяет количество необходимых датчиков в системе);
- адекватная оценка степени опасности;
- наличие промежуточного состояния «тревоги» между «нормальным» и «аварийным» состоянием, наличие достаточного периода времени после появления сигнала «тревоги» для анализа ситуации и принятия необходимых мер;
- наличие подсистемы принятия управленческих решений.

Следствием сформулированных признаков являются основные принципы построения системы мониторинга, подразумевающие необходимость использования интерактивного мониторинга, необходимость выполнения специальных расчетов наиболее вероятного состояния конструкций (без допущений «в запас», как это всегда делается при проектировании), формирования сигналов «тревоги» на основе сравнения с данными расчетами (состояние «тревоги» должно возникать при любых

существенных отклонениях от прогнозируемых значений, как в большую, так и в меньшую сторону).

В результате система мониторинга должна включать в себя интерактивную математическую модель, позволяющую корректировать параметры расчетной модели по результатам мониторинга и выполнять перерасчет прогнозируемых параметров. В докладе рассматривается математическая основа построения системы мониторинга для групп взаимосвязанных параметров мониторинга, позволяющая свести комплекс параметров мониторинга к двум числам, характеризующим относительное положение совокупности параметров по отношению к «аварийной» границе и размер зоны допустимых значений. Приводятся требования к подсистеме принятия управленческих решений, без которой система мониторинга является неработоспособной, приведены обобщенные алгоритмы принятия управленческих решений.

INTERNATIONAL SYMPOSIUM APCMCE
VIII
17-21 MAY
TAMBOV, RUSSIA

30
Т.Г.Т.У
65

VIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ТАМБОВ, 2023 г.



РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ В ДИСЦИПЛИНАХ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОФИЛЯ НА КАФЕДРЕ «АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО» ТГТУ

Антонов А.И.¹, Долженкова М.В.²,
¹ ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет",
 д.т.н., доцент, Россия, aiant58@yandex.ru
² ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет",
 к.т.н., доцент, dmv20101@yandex.ru



Аннотация

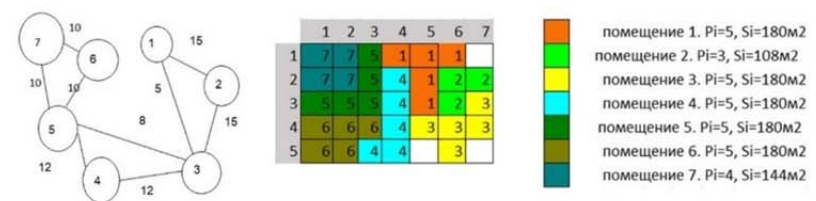
В учебном процессе по подготовке бакалавров и магистров по направлению «Архитектура» находят широкое распространения графические программы, программы по архитектурной физике. В меньшей степени из-за ограниченного объема учебных часов используются компьютерные средства для расчета и проектирования строительных несущих конструкций. Практически отсутствуют компьютерные разработки по теории архитектуры и связанные с архитектурным проектированием объемно-планировочных решений зданий. На данном плакате представлены компьютерные программы, разработанные преподавателями кафедры «Архитектура и градостроительство» для их использования в архитектурном проектировании.

Изучение и проектирование цвета



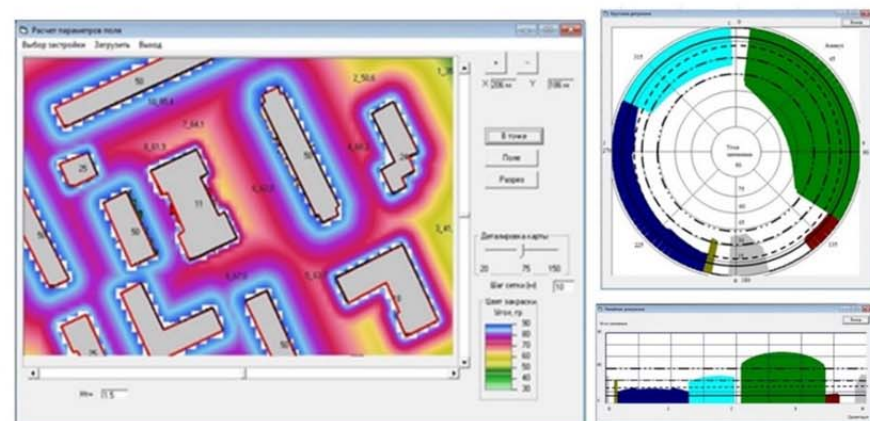
Программа, предназначенная для изучения основ колористики, знакомит студентов с принципами аддитивного создания изображений, позволяет выполнять эмоциональную оценку цветового решения архитектурных объектов.

Разработка объемно планировочного решения зданий



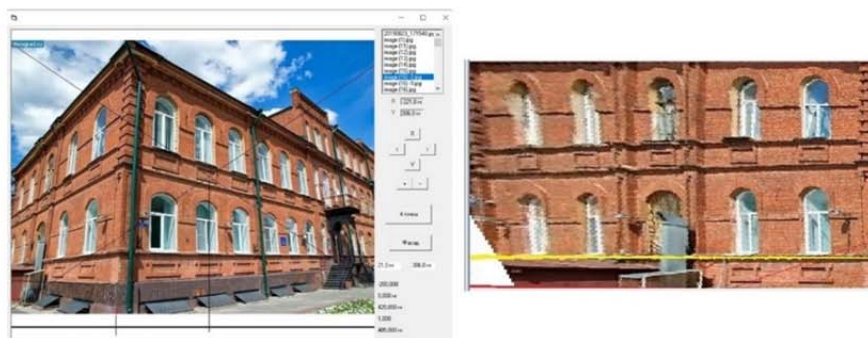
Компьютерная программа производит оптимальную компоновку пространства по критерию минимума протяженности технологических связей. Предусмотрена возможность сравнения ручного и компьютерных вариантов объемно-планировочных решений.

Исследование степени замкнутости или открытости пространства



Согласно методике Р. Spreiregin степень замкнутости пространства определяется максимальным загораживающим углом застройки. Программа рассчитывает загораживающие углы, строит карты и диаграммы открытости городской застройки

Воссоздание фасада здания по фотографии



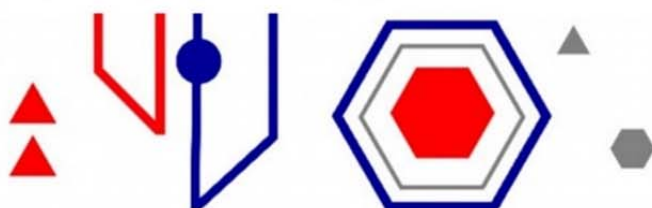
Программа восстанавливает пропорции и реальные размеры фасадов здания по фотографии. В процессе работы программы определяется положение фотографа, направление объектива фотоаппарата и устраняются перспективные искажения.

Заключение

Данные программы могут быть использованы студентами-архитекторами в ходе выполнения курсовых работ по дисциплинам "Архитектурное проектирование", "Основы архитектурного проектирования", "Архитектурная климатология и физика", "Компьютерные технологии в архитектурно-строительном проектировании". Предназначены для студентов 2-5 курса, обучающихся по направлению подготовки 07.03.01 "Архитектура", 07.03.04 "Градостроительство".

Библиографический список

1. Антонов А.И., Долженкова М.В. Компьютерная оценка степени замкнутости и открытости периметрального контура ячеек городской застройки: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021618117, 24.05.2021.; Заявка № 2021617415 от 18.05.2021.
2. Антонов А.И., Долженкова М.В. Восстановление первоначального облика фасада здания по фотографии. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021618881, 01.06.2021. Заявка № 2021617347 от 18.05.2021.



Антонов А.И.¹, Жоголева О.А.², Леденев В.И.³, Матвеева И.В.⁴
 ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
¹д.т.н., доцент, Россия, aiant58@yandex.ru,
²к.т.н., доцент, Россия, zhogoleva@rambler.ru,
³д.т.н., профессор, Россия, ledvi46@yandex.ru,
⁴к.т.н., доцент, Россия, times02@yandex.ru



Аннотация

Предложена математическая комбинированная модель звукового поля импульсного источника и её компьютерная реализация для зеркально-диффузного характера отражения звука от ограждающих конструкций помещений сложных геометрических форм. Расчет поля выполняется методом прослеживания лучей и численным методом статистического энергетического подхода. Разработанная компьютерная программа предназначена для оценки шумовых полей и проектирования средств снижения шума.

Введение

Наибольшее негативное воздействие на здоровье работающих в помещении людей оказывают шумы, создаваемые импульсными источниками звука. Существующие методы расчета и проектирования средств снижения шума не учитывают пространственно-временные изменения уровней при действии источников импульсного шума. Разработка методик качественной и количественной оценки шумовых полей является актуальной социальной и научно-технической проблемой. Цель исследований – разработка расчетных моделей, алгоритмов и компьютерных программ для оценки процессов формирования и распространения звуковой энергии, возникающей в воздушных объемах помещений при работе в них импульсных источников звука.

Методика расчета импульсного шума

Моделирование распределения импульсного шума осуществляется на основе реализации зеркально-диффузного характера отражения звука от поверхностей ограждений. Распределение зеркально отраженной звуковой энергии определяется методом прослеживания звуковых лучей, а для оценки распределения плотности диффузно отраженной энергии используется численный статистический энергетический метод [1]. Разбиение помещения на элементарные объемы показано на рисунке 1.

Плотность зеркально отраженной энергии в элементарном объеме определяется суммой энергий W_{ki}^{mir} проходящих через него лучей

$$\varepsilon_i^{mir} = \sum_{k=1}^K W_{ki}^{mir} / cS_{np}, \quad (1)$$

где S_{np} – площадь сечения элементарного объема.

Баланс диффузно отраженной энергии для каждого i, j, k -го элементарного объема с учетом поглощения звука в воздухе m_a в общем виде записывается как

$$\sum_{n=1}^N q_n S_n + \sum_{m=1}^{6-N} W_m^{dif} - \sum_{m=1}^{6-N} q_{(a)m} S_m - cm_a \varepsilon_{i,j,k}^{dif} V_{i,j,k} = 0 \quad (2)$$

где $q_n, q_{(a)m}$ – плотности проходящих и поглощенных потоков энергии по поверхностям S_n и S_m ; $V_{i,j,k}$ – объем параллелепипеда; W_m^{dif} – диффузная энергия в результате рассеивания зеркальной составляющей; c – скорость звука в воздухе. Энергетические параметры в уравнениях (1) и (2) зависят от времени наблюдения и излучения энергии импульса.

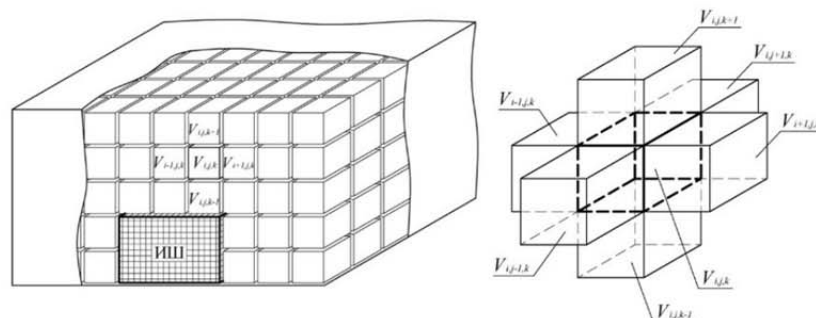


Рисунок 1. Схема разбиения помещения на объемы

Заключение

Предложенная комбинированная расчетная модель и ее программная реализация дают возможность рассчитывать распределение импульсных шумов и проектировать шумозащитные мероприятия в производственных помещениях сложных форм с различными акустическими параметрами ограждений.

Результаты

Разработана компьютерная программа по расчету распределения энергии в помещении от источников импульсного шума [2].

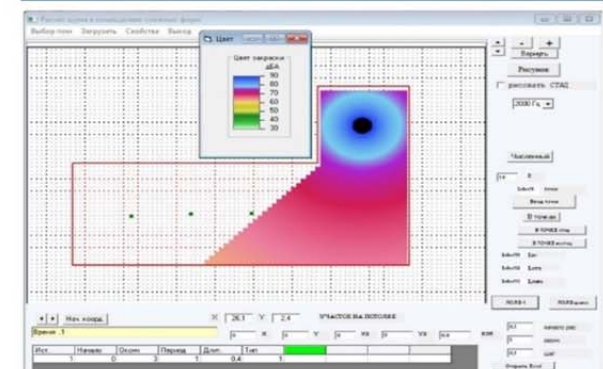
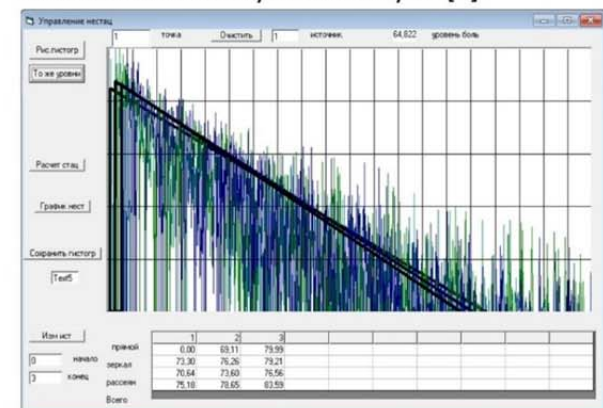


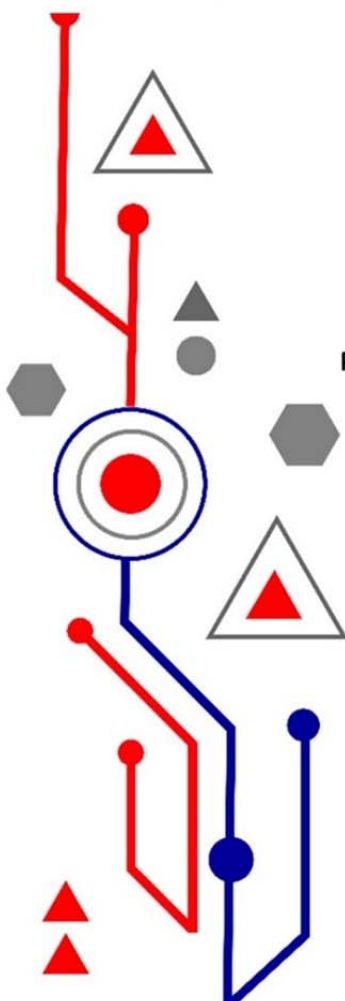
Рисунок 2. Результаты расчета временного и пространственного распределения энергии импульса

Библиографический список

1. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин. – Москва : ООО "Директмедиа Паблишинг", 2022. – 192 с.
2. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2022663771 РФ Расчет энергетических характеристик шума в помещении при действии импульсного источника : № 2022662313 : заявл. 29.06.2022 / А. И. Антонов, В. И. Леденев, О. А. Жоголева ; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
 17 – 21 мая 2023 года



КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ УЧЕБНЫХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ И АРХИТЕКТУРНОЙ ФИЗИКЕ

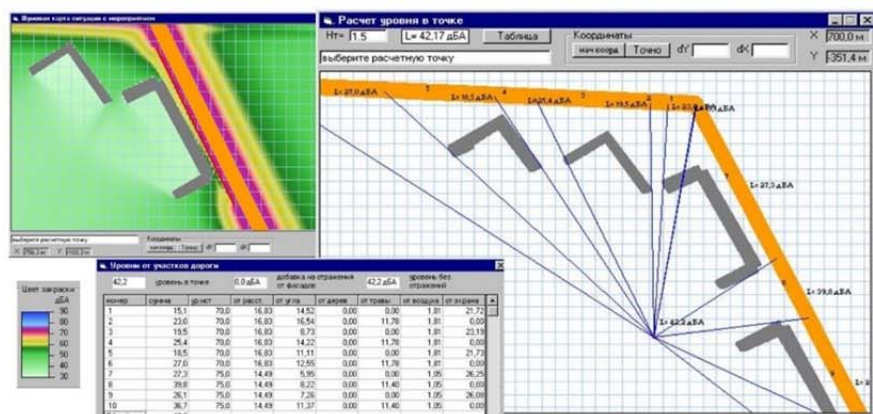
Антонов А.И.¹, Жоголева О.А.², Соломатин Е.О.³,
¹ ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", д.т.н., доцент, Россия, aiant58@yandex.ru
² ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", к.т.н., доцент, vzhogoleva.olga@rambler.ru
³ ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", к.т.н., доцент, soloevg@yandex.ru



Аннотация

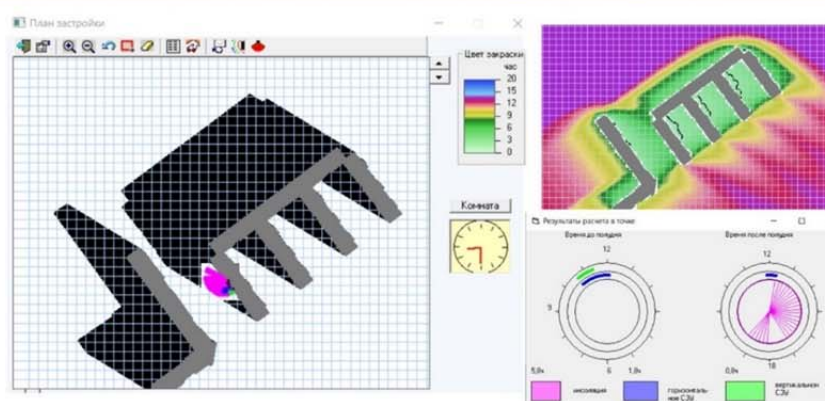
Освоение знаний по строительной и архитектурной физике необходимо для проектирования и строительства зданий с комфортными параметрами микроклимата. Теоретической базой разработки комфортной среды являются уравнения математической физики, реализация которых требует выполнения трудоемких вычислений, например, на основе численного решения дифференциальных уравнений. На стенде представлена информация о 4 компьютерных программах, разработанных и используемых в учебном процессе на кафедрах «Архитектура и градостроительство» и «Городское строительство и автомобильные дороги». Имеются также программы по проектированию акустики залов, пакеты программ по расчету энергосбережения зданий и шумовых полей помещений.

Проектирование защиты жилой застройки от транспортного шума



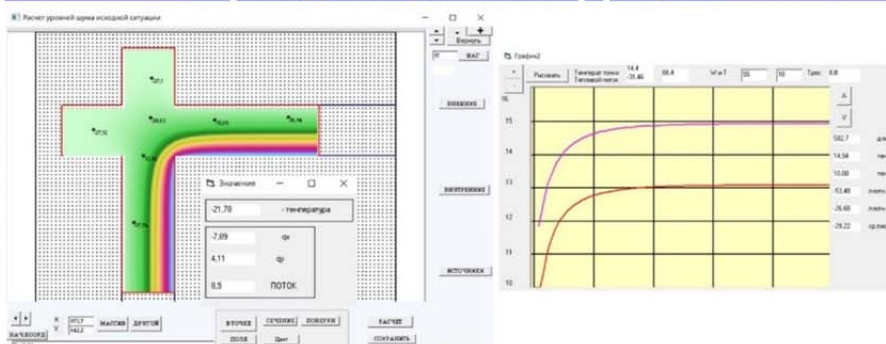
Программа состоит из блоков формирования цифровой модели, расчета уровней шума от автомагистралей, анализа результатов и создания отчета. Предусмотрена возможность оценки эффективности акустических экранов и других средств снижения шума.

Инсоляция помещений и территорий



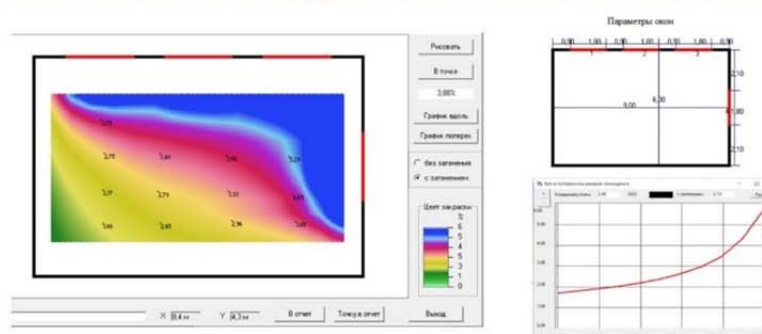
Программа производит расчет инсоляции территории и помещений в зависимости от широты местности и порядкового дня в году. Предусмотрена возможность учета влияния горизонтальных и вертикальных солнцезащитных устройств.

Расчет двумерных температурных полей ограждающих конструкций



Программа содержит графический редактор, блоки ввода исходных данных, формирования и расчета конечно-разностной схемы температурного поля. В результате расчетов определяются температуры и тепловые потоки в расчетных точках конструкции.

Проектирование окон по светотехническим требованиям



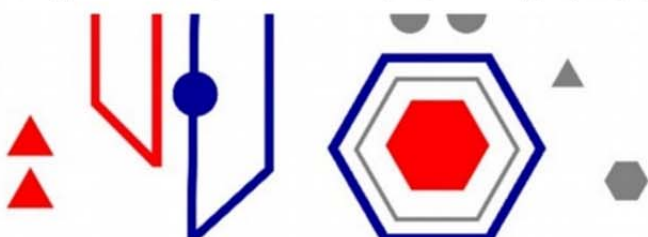
Программа адаптирована под учебный процесс, содержит возможности получения нормативной и справочной информации, формирования отчета результатов расчета КЕО с учетом влияния окружающей застройки на световой режим помещений.

Заключение

Данные программы могут быть использованы студентами бакалаврами на практических занятиях, для выполнения курсовых и дипломных работ при решении задач обеспечения комфортных параметров помещений и окружающей среды, а также магистрантами для выполнения научных исследований. Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Строительство», «Архитектура», «Градостроительство».

Библиографический список

1. Солнечная радиация и энергоэффективность зданий / С. И. Баженова, А. А. Путинцева, А. И. Антонов // Материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конф., Тамбов, 2022. – С. 125-129.
2. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022663772 РФ. Расчет транспортного шума на примыкательной застройке с учетом отраженного звука от фасадов зданий : № 2022662318 : опубл. 19.07.2022 / А. И. Антонов, А. А. Путинцева ; заявитель ФГБОУ ВО ТГТУ.



МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРБОНАТНЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ

Белов В.В.¹, Куляев П.В.², Баркая Т.Р.³

¹ ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
 д.т.н., профессор, Россия, vladim-bel@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
 к.т.н., доцент, Россия, p.kuliaev@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»,
 к.т.н., доцент, Россия, btrs@list.ru



Аннотация

Объект исследования – мелкозернистый карбонатный бетон (МЗКБ) повышенной трещиностойкости и долговечности. Цель - получение МЗКБ с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Способы - регулирования зернового состава МЗКБ, использования мелкодисперсного наполнителя и пластифицирующих добавок. Использовался метод математического моделирования. Одним из результатов стало снижение полных деформаций МЗКБ и уменьшение деформаций ползучести за счет применения вышеуказанных способов.

Введение

Получение строительных композитов с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками является одной из актуальных задач строительного производства и предметом настоящего исследования. Приводятся формулы разработки новых составов МЗКБ на разных уровнях воздействия [1,2]. В МЗКБ присутствует матрица, состоящая из цементного раствора, добавок и скелета из заполнителя. Показано, что снижение уровня деформаций МЗКБ зависит от следующих процессов [3]: равномерного распределения частиц цемента в объеме МЗКБ; вытеснение воды из мезо- и микропор. Правильное дозирование, степень дисперсности и технология введения добавок ведут к снижению деформаций МЗКБ.

Методы и материалы

Определение деформаций производилось на образцах-кубах 100x100x100 мм для пяти различных составов бетона. Нагружение образцов осуществлялось пошагово. Нагрузка на шаг принималась равной 50 кН. Измерения мгновенных деформаций проводились с помощью тензометрического моста. Использовался электронный гальванометр с разрешающей способностью 10⁻⁷. База тензорезисторов составляла 20 мм. Задачей было оценить развитие мгновенных и длительных деформаций для МЗКБ. Испытательный стенд приведен на рис. 1

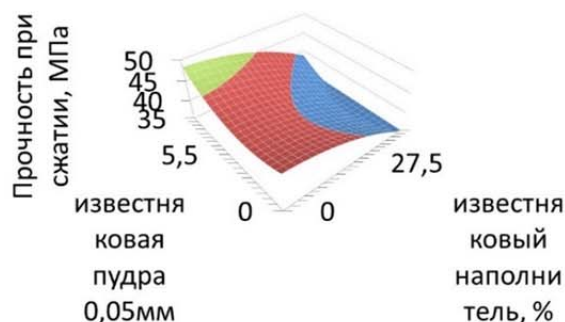


Рисунок 2. Соотношение между прочностью при сжатии, содержанием известняковой пудры и наполнителем из известняка (%).

Таблица 1. Пять составов мелкозернистого бетона

№ состава	В/Ц	И/Ц	СП-1, % от Ц	Фр. 0,05м м
1	0,45	50	0	0
2	0,34	0	1	0
3	0,46	30	0,75	5,95
4	0,39	17,8	0,75	10
5	0,41	50	0,75	3,55



Рисунок 1. Испытательный стенд

Результаты и обсуждение

По методу планирования экспериментов получилось следующее регрессионное уравнение для мгновенных деформаций $y=295,9+63,51x_1-9,3x_2+10,12x_3+378,5x_1^2-158,5x_2^2-153,2x_3^2-92,9x_1x_2-67,49x_1x_3+106,85x_2x_3$. Зависимости (рисунки 2 и 3) показывают влияние на мгновенные деформации МЗКБ процентного содержания известняка и суперпластификатора в вяжущей части. Минимум деформаций отмечен при содержании известняка порядка 17-25 % а СП-1 - 0,75% по массе вяжущего,

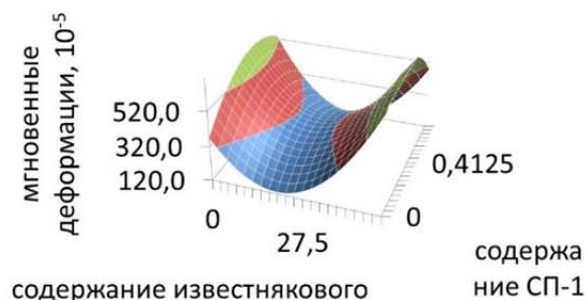


Рисунок 3. Мгновенные деформации по сравнению с содержанием известнякового наполнителя и содержанием СП-1 (%).

Заключение

Полученные математические модели позволяют оптимизировать расходы карбонатного микронаполнителя и суперпластификатора СП-1 по технологическим и эксплуатационным свойствам и проектировать бетоны с пониженным уровнем мгновенных, кратковременных и длительных деформаций.

Библиографический список

1. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // Вестник Тверского государственного технического университета. Вып. 13. ТвГТУ, Тверь, 2008. С. 341-346.
2. Низина Т.А. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок //Строительные Материалы, 2016. С. 68.
3. Бердов Г.И. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей// Строительные технологии и бетоны. № 2. 2012. С. 26-30.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
 17 – 21 мая 2023 года





Аннотация

Исследование проводится экспериментальным методом. В процессе эксперимента сканируется лестничная площадка многоквартирного жилого дома с целью изучения метода перевода 3D-модели в "чистовую". Результатом исследования становится выявление метода для использования в работе при проектировании сложных объемов и деталей. Данный метод работы применен в проекте ревитализации здания-памятника «Гостиный двор» в г. Тамбове.

Введение

1. Объектом для экспериментального исследования является 3D-сканирование лестничной площадки многоквартирного жилого дома.
2. Актуальность исследования заключается в необходимости создания точных 3D-моделей и возрастает в связи с доступностью и интегрированием технологии LiDAR в мобильные устройства.
3. Исследование данной технологии на мобильных устройствах для создания BIM-модели проводили Васильев Р. С., Чепрасов А. Г., Клашанов Ф. К., однако практического эксперимента в работе не проводилось.
4. Целью работы является выявление качественного метода проектирования при сложных конфигурациях деталей интерьера.

Методы и материалы

1. Практический эксперимент проводится путем сканирования объекта для изучения метода.
2. Объект сканируется технологией LiDAR, интегрированной в мобильное устройство, с помощью ПО «Polyscan» в течение 30 – 40 секунд с разных ракурсов.
3. По окончании сканирования получают 3D-продукт без текстур в облаке точек, сформированных в системе координат XYZ.
4. ПО позволяет вывести объект как полигональную сетку в форматах: OBJ, GLTF, DAE, FBX, USDZ, STL.



Рисунок 1. Начальная стадия сканирования объекта и этапы работы

Результаты и обсуждение

В разработке проекта ревитализации интерьера здания-памятника «Гостиный двор» в г. Тамбове технология сканирования LiDAR дополнила невосполнимую часть проекта по замерам деталей лепнины и больших статичных объектов. Элементы интерьера не представлялось возможным измерить без применения специальных средств подмащивания. Технология LiDAR может быть вспомогательным продуктом при обследовании и проектировании реконструкции и реставрации памятников архитектуры.

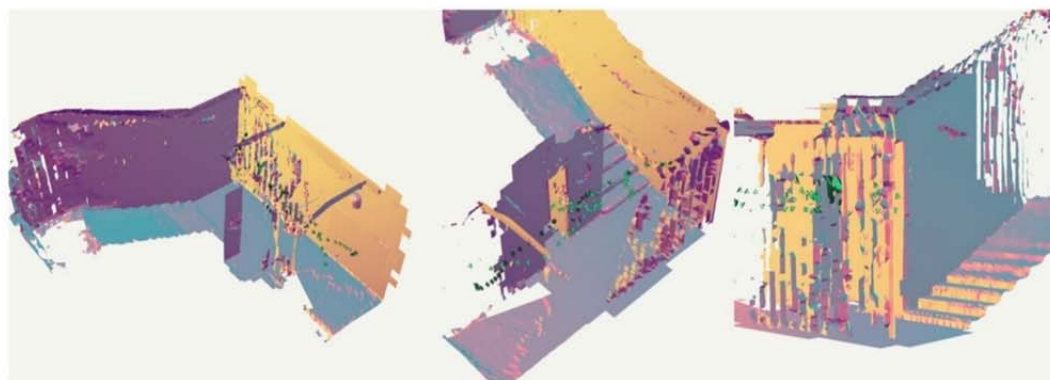


Рисунок 2. Отсканированный объект с разных ракурсов.



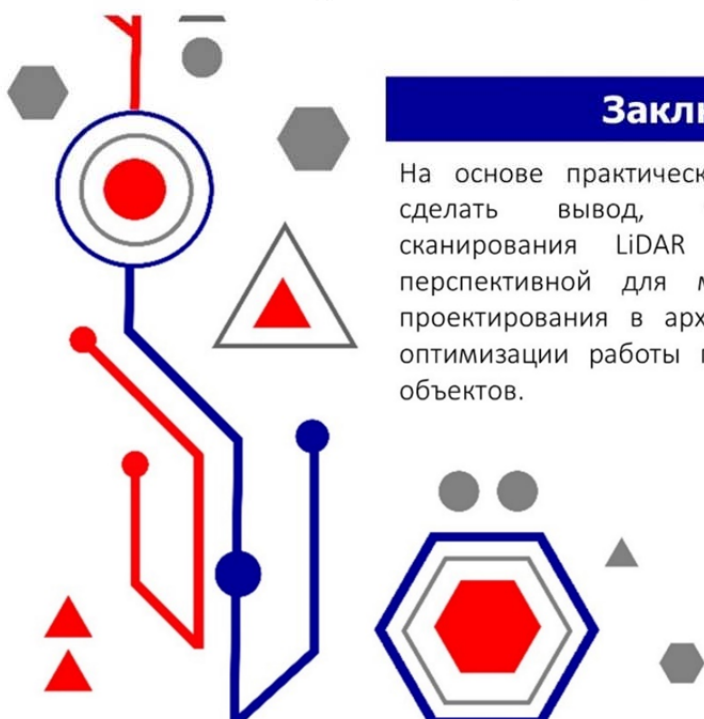
Рисунок 3. 3D-скан объекта и его применение в работе над визуализацией.

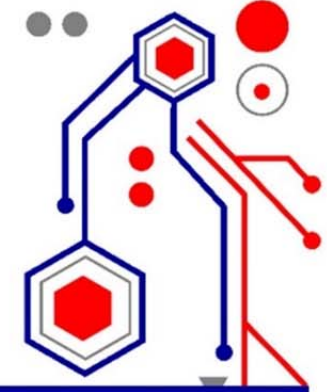
Заключение

На основе практических исследований можно сделать вывод, что технология 3D-сканирования LiDAR является успешной и перспективной для моделирования объектов проектирования в архитектуре и дизайне для оптимизации работы по воссозданию сложных объектов.

Библиографический список

1. Васильев Р. С., Чепрасов А. Г., Клашанов Ф. К. Перспективы применения LiDAR на мобильных устройствах для создания BIM-модели // Инновации. Наука. Образование: журнал НИУ МГСУ (г. Москва, 2020). М.: 2020, С. 1614 – 1618.
2. Стивен Т. Разработка трехмерных моделей в 3ds max 7: введение в искусство и технологии трехмерного моделирования с помощью программы 3ds max компании Discreet. М.: Вильямс, 2006. 332 с.





Козак Н.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», старший преподаватель, Россия, kozak.spbasu@gmail.com

Актуальность

Одной из важнейших отличительных особенностей условий работы автомобильных (а/д) мостов является нестационарный динамический характер их режима нагружения. Применительно к конструкциям сталежелезобетонных пролетных строений (СТЖБ ПС) одним из наименее исследованных является вопрос режима работы элементов объединения (ЭО) стальных балок и железобетонной плиты в целом и наиболее распространенного их вида – гибких штыревых упоров (ГШУ) – в частности. В ходе анализа мирового опыта было отмечено, что ранее исследования режимов работы ГШУ проводились в лабораторных условиях или с использованием инструментов численного моделирования, что не может в полной мере отражать их фактическую работу под реальными транспортными нагрузками.

Цель исследования

Верификация существующей методики моделирования работы ГШУ с использованием полученных экспериментально данных о фактическом напряженно-деформированном состоянии (НДС) ЭО.

Задачи исследования

1. Проведение натурного эксперимента на существующем а/д мосту;
2. Проведение численного эксперимента (модели микро- и макроуровня);
3. Сравнительный анализ результатов численного моделирования и полученных экспериментальных данных.

Натурный эксперимент

Проводился на мосту через р. Вуокса на а/д А-181



Рисунок 1. а) Проезд испытательной нагрузки по мосту; б) Элементы измерительной системы на ГШУ.

Численный эксперимент

Модель микроуровня (ЭО)
 $\text{НДС ЭО} = f(\text{сдвиг плиты})$
 ПО ANSYS 2019

- Объемные конечные элементы (КЭ)
- Учет контактных условий

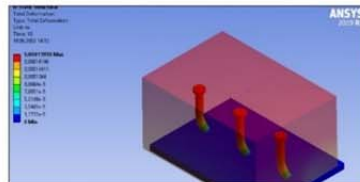


Рисунок 2. а) Визуализация КЭ-модели микроуровня

Модель макроуровня (СТЖБ ПС)

$$\text{Сдвиг плиты} = f(\text{положение нагрузки})$$

ПО SOFiSTiK 2022, 3 варианта моделей:

- Плоская: Балочная
 Пространственные: Балочная (единое сечение), Плитно-балочная (упругие связи)

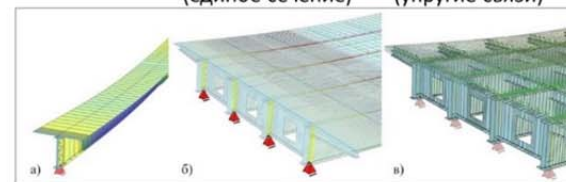


Рисунок 3. а) Визуализация трех вариантов КЭ-моделей макроуровня (моделей СТЖБ ПС)

Анализ результатов

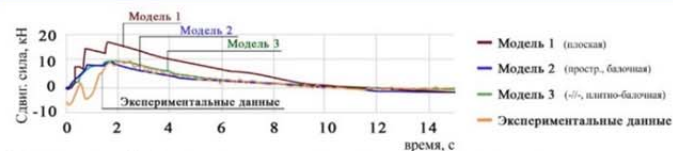


Рисунок 4. Сравнение результатов применения различные макромоделей (1 из 5 проходов нагрузки)

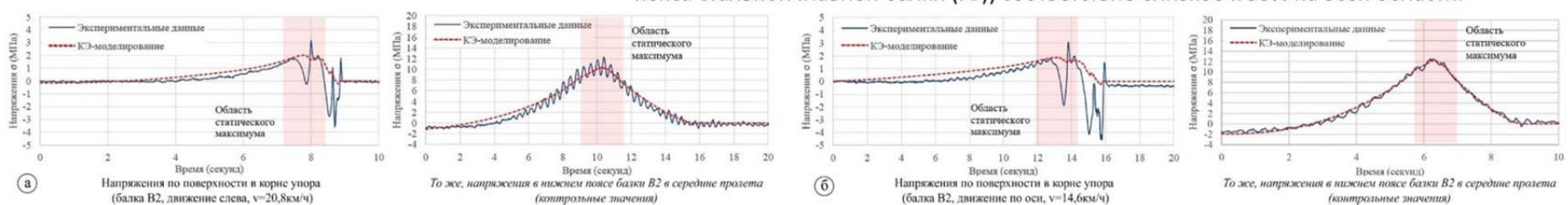
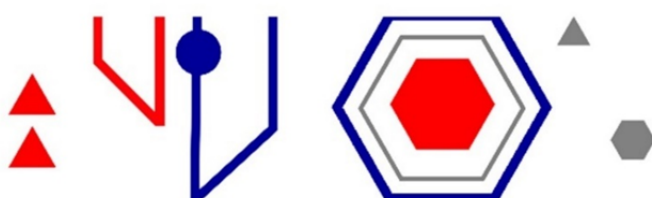


Рисунок 5. Сравнение результатов численного моделирования НДС ГШУ и НДС ГБ (контрольное) для 2 из 15 проходов нагрузки (а, б)

Заключение

1. Экспериментально подтверждена адекватность существующих методов моделирования работы гибких штыревых упоров;
2. Использование плитно-балочной конечно-элементной модели пролетного строения (модели 3) обеспечивает наибольшее соответствие характеров экспериментальной и теоретической (полученной путем численного моделирования) осциллограмм;
3. Отклонение теоретической осциллограммы от экспериментальной, вероятно, объясняется недостаточной степенью учета как нелинейности схемы, так и упругопластических свойств элементов конструкции;
4. Для инженерных и общих исследовательских задач при условиях а) необходимости получения только максимальных и минимальных значений величин б) ограниченности вычислительных ресурсов представляется оптимальным использование пространственных балочных моделей макроуровня (модель 2).





Коробко А.В.¹, Прокуров М.Ю.²
¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
 д.т.н., профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники, Россия, ankor.66@mail.ru
² ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
 к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции», Россия, m.prokuroff@mail.ru

Аннотация

Объектом исследования являются упругие пластинки в виде равнобедренных треугольников, ромбов и прямоугольников, лежащие на упругом винклеровом основании, имеющие граничные условия контурного опирания в виде различных комбинаций жёсткого защемления и шарнирного опирания по их отдельным сторонам. Оценка деформаций указанных пластинок предполагает использование универсальных программных средств, реализующих численные методы для расчёта дискретизированных плоских областей. Такой подход к решению задачи остаётся достаточно трудоёмким. Для решения задачи предлагается использовать метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), разработанный профессором А.В. Коробко [1], позволяющий получать решения на основе прямых аналитических зависимостей, аргументом которых является интегральная характеристика плоской выпуклой односвязной области – коэффициент формы. Построению аппроксимирующих функций для непрерывных множеств пластинок характерных очертаний и граничных условий посвящено настоящее исследование.

Введение

В настоящее время для определения деформаций пластинок используются универсальные программные средства, реализующие численные методы расчёта дискретизированных систем. Такой подход к решению задачи остаётся достаточно трудоёмким и зачастую ведёт к потере физической сущности рассматриваемой задачи и возможности правильной интерпретации получаемых результатов.

Более эффективной представляется предлагаемая реализация решения с помощью инженерного геометрического метода расчёта пластинок – метода интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), разработанного профессором А.В. Коробко. Коэффициент формы является безразмерной геометрической характеристикой плоской выпуклой односвязной области и представляет собой минимизированный замкнутый интеграл, нашедший применение в задачах математической физики [2].

В работах [1] и [3] теоретически доказано, что коэффициент формы выступает в качестве интегральной физической характеристики в ряде двумерных задач теории упругости, описываемых дифференциальными уравнениями эллиптического типа второго и четвёртого порядков. В частности он является геометрическим аналогом максимального прогиба тонких пластинок при их поперечном изгибе. В работе [4] установлено, что коэффициент формы является геометрическим аналогом прогиба в задачах поперечного изгиба пластинок, лежащих на упругом винклеровом основании.

Цель научного исследования состоит в разработке математической модели для автоматизации расчёта максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании. Пример расчётного объекта приведен на рисунке 1.

Методика решения задачи

Выражение максимального прогиба пластинок различной формы и граничных условий опирания, лежащих на упругом винклеровом основании, имеет вид:

$$w_0 = \frac{q}{B_w^q} \left(\frac{D}{A^2} + kC_w^q \right)^{-1},$$

где q – интенсивность равномерной нагрузки, распределённой по всей площади пластинки A , D – цилиндрическая жёсткость пластинки, k – коэффициент жёсткости основания.

Параметры B_w^q и C_w^q рассматриваются как функции от коэффициента формы:

$$K_f = \min \oint_L \frac{ds}{h},$$

где ds – линейный элемент контура L , h – перпендикуляр, опущенный на него из внутриконтурной точки (рисунок 2).

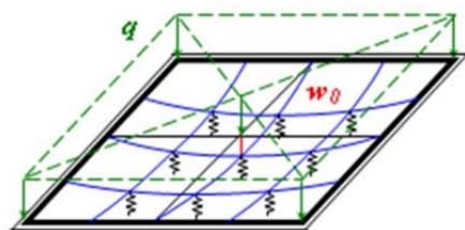


Рисунок 1. Пластинка на упругом винклеровом основании

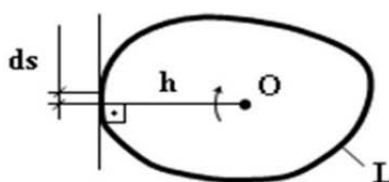


Рисунок 2. Параметры для определения коэффициента формы

Результаты и обсуждение

Построенные аппроксимирующие функции $B_w^q = f_1(K_f)$ и $C_w^q = f_2(K_f)$ имеют вид упорядоченных алгебраических полиномов различных степеней используемого аргумента. Каждая пара указанных функций соответствует заданными граничными условиями контурного опирания пластинки рассматриваемого очертания. При этом сам аргумент K_f зависит только от геометрических параметров, определяющих её форму.

Расхождения значений прогибов пластинок типовых очертаний, вычисленных на основе построенных аппроксимирующих функций, со значениями тестовых решений для пластинок в виде равно-бедренных треугольников не превысило 1,9 %; для ромбических пластинок составило не более 2,7 %; для пластинок прямоугольной формы менее 4,8 %.

Заключение

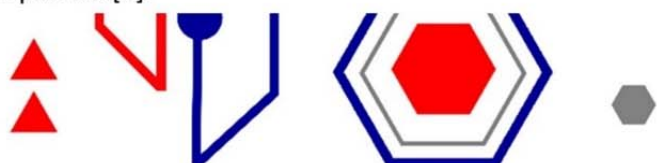
Построены аппроксимирующие функции для вычисления значений максимальных прогибов пластинок характерного вида и заданных граничных условий, лежащих на упругом винклеровом основании, от коэффициентов формы области, очерченной их контуром. Установленные функциональные зависимости предназначены для непосредственного использования при расчёте пластинок рассмотренных очертаний, а также для получения опорных решений, предусмотренных МИКФ, при расчёте пластинок в виде произвольных треугольников, параллелограммов и трапеций. Программная реализация этой методики описана в работе [5].

Библиографический список

1. Коробко А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. М.: Издательство АСВ, 1999. 320 с.
2. Поля Г., Сегё Г. Изопериметрические неравенства в математической физике. М.: Издательство КомКнига, 2006. 336 с.
3. Коробко В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода. М.: Издательство АСВ, 1997. 390 с.
4. Коробко В.И., Актуганов А.А. Применение метода интерполяции по коэффициенту формы к расчёту пластинок на упругом основании // Строительная механика и расчёт сооружений. 2014. № 1. С. 18-24.
5. Прокуров М.Ю. Программа расчета максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании методом интерполяции по коэффициенту формы // Строительная механика и расчёт сооружений. 2019. № 4. С. 37-46.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
 17 – 21 мая 2023 года





Аннотация

Важным направлением развития строительной механики является численное моделирование напряженно-деформированного состояния пространственных систем сложной геометрии, в том числе ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием. Численное моделирование таких систем имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать, а именно: контактное взаимодействие между цилиндрической оболочкой и окружающим основанием, а также учет стадийного возведения оболочки. Полученные результаты показали, что учет последовательности возведения существенно влияет на напряженно-деформированное состояние ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек и окружающего основания.

Введение

Разработанная модель ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, с учетом особенностей контактного взаимодействия и стадийного возведения обеспечивает новый, востребованный современной практикой уровень расчетного обоснования подобных систем. Например, при строительстве метрополитена, помимо перегонных тоннелей и станций всегда есть необходимость в притоннельных сооружениях (тоннельных сбойках), которые являются вспомогательными сооружениями, необходимыми для функционирования основных.

Весомый вклад в развитие методик расчета пересекающихся цилиндрических оболочек внесли А.М. Белостоцкий, Ю.А. Куликов, Д. Кэмпбелл, А.И. Лурье, И.А. Монахов, В.Н. Скопинский, Г.И. Феденко, Р. Хамилтон и другие.

Цель работы заключается в развитии методов расчета и анализе напряженно-деформированного состояния ортогонально пересекающихся цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, в пространственной постановке задачи.

Методы и материалы

Численный анализ выполнен в универсальном программном комплексе ANSYS Mechanical, в котором реализован метод конечных элементов.

В качестве расчетной модели объекта рассмотрены пространственные конечно-элементные модели системы «ортогонально пересекающиеся цилиндрические оболочки - окружающее основание».

Использованы идеально упругая модель материала и упруго-пластическая модель Мора – Кулона.

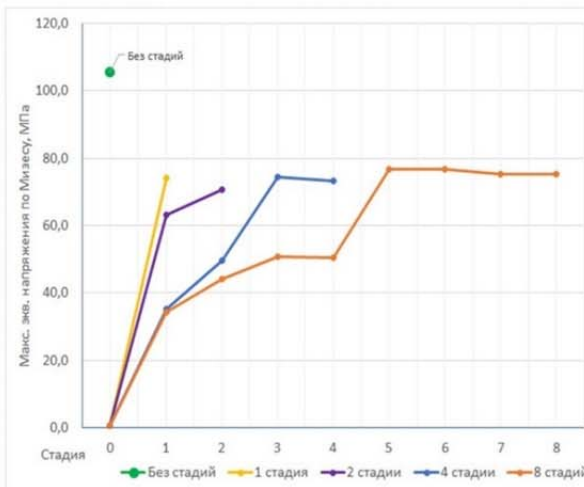


График 1. Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в оболочке

Результаты и обсуждение

Составлены расчетные случаи с 8, 4, 2 и 1 стадиями возведения тройникового соединения (в каждом случае дополнительно одна стадия (нулевая) отводилась на определение бытового состояния основания) и без учета стадий.

Максимальные эквивалентные напряжения возникают в месте пересечения цилиндрических оболочек.

В случае с 8 стадиями возведения максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в оболочке составляют 75.2 МПа.

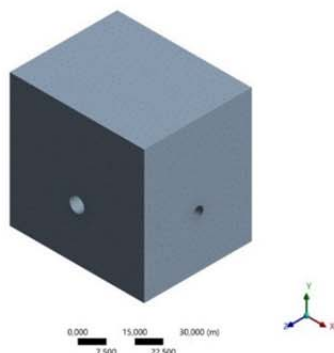


Рисунок 1. Общий вид расчетной модели

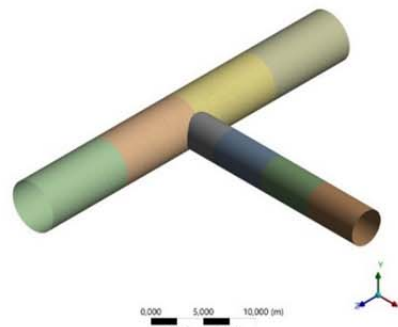


Рисунок 2. Вид тройникового соединения

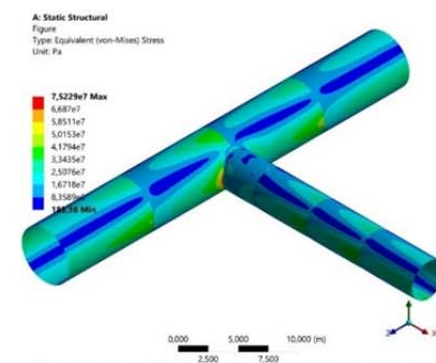


Рисунок 3. Поля эквивалентных напряжений тройникового соединения

Заключение

Полученные результаты подтвердили важность учета стадийности возведения при определении напряженно-деформированного состояния тройниковых соединений, взаимодействующих с основанием.

Перспективы дальнейших исследований связаны с применением нелинейных материалов оболочки и различными вариантами контактного взаимодействия оболочки и основания.

Библиографический список

1. Басов К. А. ANSYS: справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005. 640 с.
2. Белостоцкий А.М., Головин В.В., Фрадкин Б.В. Методика расчета напряженного состояния тройниковых соединений труб при комплексном нагружении // Сб. научных трудов Гидропроекта. 1985. № 100. С. 83–93
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. Киев: Сталь, 2002. 445 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ

Мануйлов Г.А.¹, Косицын С.Б.², Бегичев М.М.³
¹ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
 к.т.н., доцент, Россия, manuilov.gaick@yandex.ru
² ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
 д.т.н., профессор, Россия, kositsyn-s@mail.ru
³ ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
 к.т.н., доцент, Россия, noxonius@mail.ru



Аннотация

В работе приведены результаты исследования устойчивости цилиндрических панелей, сжатых распределенной нагрузкой с учетом влияния начальных геометрических несовершенств, задававшихся в виде вмятин различного размера, направления («внутрь» или «наружу») и глубины на поверхности оболочек. Приведено сравнение полученных авторами результатов с результатами, приведенными А.С. Вольмиром в своей монографии.

Введение

Задача устойчивости изотропной упругой продольно сжатой круговой цилиндрической оболочки – классическая задача теории устойчивости. 100 лет интенсивных исследований этой задачи не дали ответа на главный вопрос – какую безопасную, и в то же время не слишком «малую» нагрузку продольного сжатия можно назначать при проектировании? Цель настоящей работы – попытка проанализировать главные особенности потери устойчивости продольно сжатых цилиндрических оболочек и цилиндрических панелей с начальными геометрическими несовершенствами в виде «вмятин» (и «выпучин»). Это позволит с большим обоснованием назначать максимально безопасную сжимающую нагрузку для таких оболочек.

Методы и материалы

Геометрические размеры рассмотренных цилиндрических панелей и формы начальных несовершенств приведены на рисунке 1. Рассматривались начальные несовершенства двух направлений (вмятины «внутрь» и «наружу» оболочки).
 Материал оболочек принимался неограниченно упругим: $E=2,1 \cdot 10^6$ кг/см², $\nu=0,3$.
 Расчеты производились методом конечных элементов при помощи комплексов Patran/Nastran.

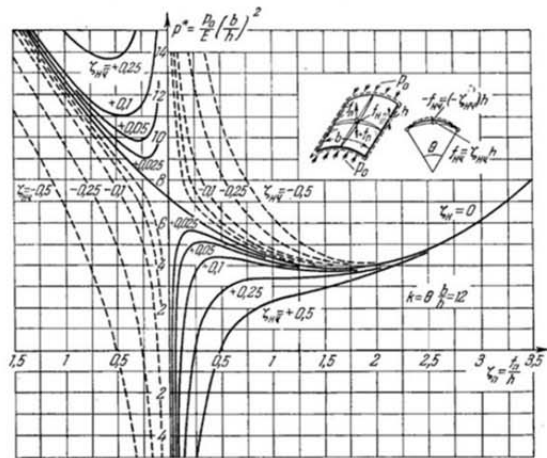


Рисунок 2. Диаграммы, приведенные в монографии А.С. Вольмира

Результаты и обсуждение

Полученные авторами кривые похожи по характеру на кривые А.С. Вольмира, но только для случаев, когда вмятина задавалась «во внутрь», к линии центров кривизны. Если же вмятина задается «наружу», то развития равновесий с прогибами «наружу» не наблюдалось. После достижения предельных точек кривые равновесий загибались в сторону, соответствующую перемещениям «во внутрь» (к центрам кривизны панели).

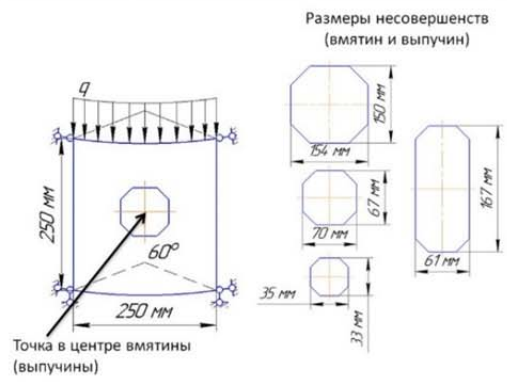


Рисунок 1. Цилиндрическая панель

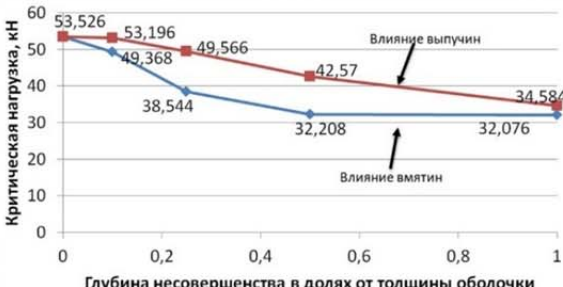


Диаграмма 1. Кривые чувствительности критических нагрузок к начальным несовершенствам в виде «вмятин и выпучин» поверхности оболочки

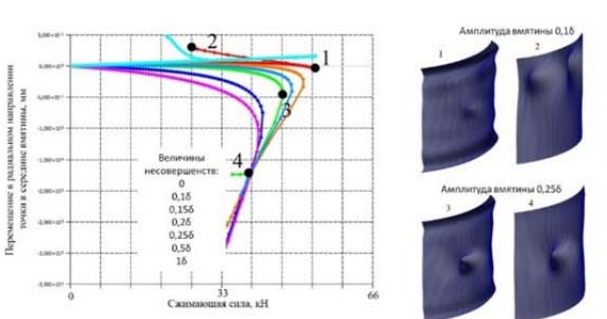
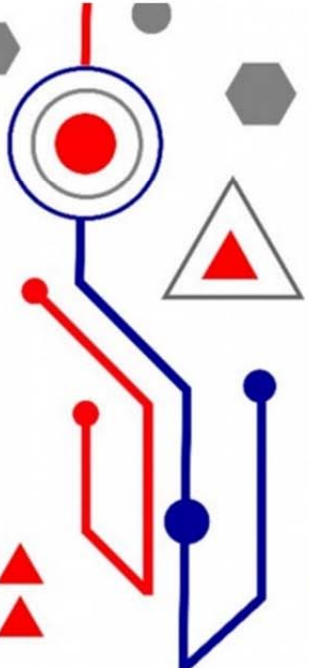


Рисунок 3. Влияние несовершенства в виде малой вмятины на устойчивость цилиндрической панели



Заключение

Если вмятина «во внутрь» оболочки, то кривые неустойчивых равновесий после предельных точек развиваются также «во внутрь» (то есть к линии центров кривизны). Если же вмятины сделаны «наружу», то развитие неустойчивых равновесий происходит не наружу (как это можно было бы ожидать согласно классическим представлениям об асимметричной точке бифуркации), а также «во внутрь».

Библиографический список

1. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М.: Гостехиздат, 1956. 419 с.
2. Томпсон Дж.М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. М.: Мир, 1985. 254 с.
3. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. М.: Физматгиз, 1955 г. 567 с.



Аннотация

Рассматриваются пространственные (стержневые и листовые) металлические конструкции с позиций повышения уровня проектной надежности, в том числе, за счет предотвращения развития лавинообразного разрушения. Используются методы физического и численного моделирования. На основе использования уточненных расчетных моделей разработан новый 2-х стадийный алгоритм решения задачи, ориентированный на использование в практике проектирования систем высокого уровня ответственности.

Введение

Объектом исследования являются пространственные стержневые и листовые металлические конструкции высокого уровня ответственности. Исследование направлено на обеспечение выполнения повышенных требований к уровню надежности проектируемых систем. Актуальность исследования подтверждается анализом работ А.В. Перельмутера, В.И. Колчунова, Ram M., Adam, J. M. и др. Целью исследования является разработка научного обоснования новых подходов к проектированию устойчивых к развитию прогрессирующего обрушения оптимальных пространственных конструкций высокого уровня ответственности с гарантированными уровнями надежности ключевых и второстепенных элементов.

Методы и материалы

Для достижения цели применен комплексный подход (рис. 1), в ходе которого выполнены физический (уточнение несущей способности сжатых стержней) и численный (моделирование процессов лавинообразного разрушения и анализа надежности) эксперименты. Испытывались фрагменты структурных конструкций, выполненные в масштабе 1:1 (1,756 x 1,756 x 0,94 м), с использованием гидравлических нагрузочных устройств и тензометрического оборудования ОВЕН МВ110-224.4ТД с фиксацией процесса потери устойчивости при варьировании жесткостных характеристик элементов.



Рисунок 1. Этапы исследования

Таблица 1. Сравнение уровней надежности структуры

Итерация	Сечение	Элемент	β_{max}	Масса (т)
1	63.5x3	верхний пояс	-1.36	6.14
	38x4	раскосы		
2	63.5x3	верхний пояс	1.14	7.21
3	63.5x3	раскосы	2.67	7.62
	76x3.5	нижний пояс		

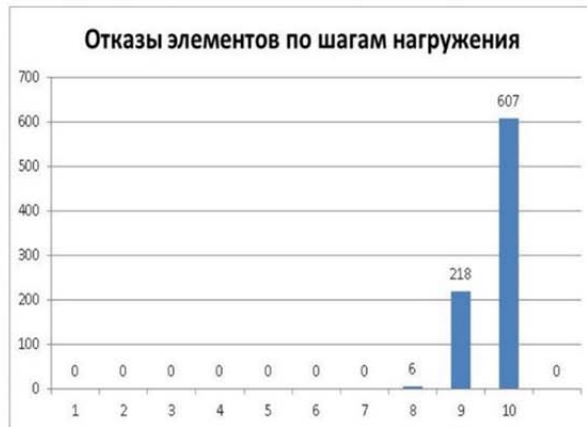


Диаграмма 1. Развитие лавинообразного обрушения в конструкции рамно-консольного покрытия

Результаты и обсуждение

- разработаны принципы формирования уточненных расчетных схем и выполнена оценка их влияния на НДС:
 • для структур (рис. 2.а): на несущую способность из условия устойчивости стержня с узловыми вставками - в пределах 10...40%;
 • для ВЦР (рис. 2.б): отмечено изменение ветрового давления в зоне примыкания лестницы (до 20% в зонах отрицательного давления, до 6% - в зоне активного давления);
 - разработаны алгоритмы расчета НДС, позволяющие создать физически обоснованную модель последовательности отказа элементов и определения численного показателя надежности проектируемой конструкции.

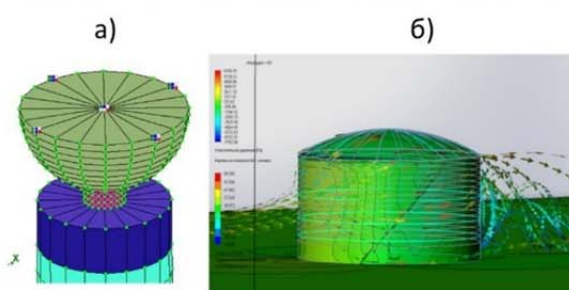


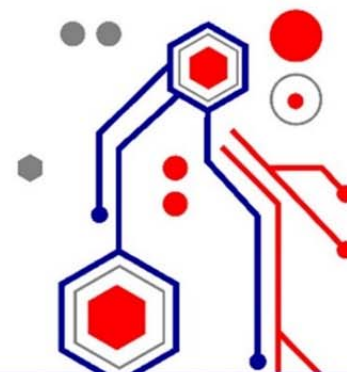
Рисунок 2. Уточненные расчетные схемы: а - стержневых элементов структурного покрытия, б - элементов лестницы ВЦР

Заключение

- разработаны принципы и выполнена оценка влияния степени детализации расчетных схем на конечное НДС конструкции;
- выполнена оценка влияния соединений, технологических элементов, дефектов и повреждений на несущую способность конструкций.
- разработаны новые алгоритмы поиска последовательности отказа элементов и определения надежности проектируемой конструкции

Библиографический список

1. Ram, M., & Davim, J. P. Acknowledgments. *Advances in System Reliability Engineering* (2019) <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815906-4.09998-X>
2. Adam, J. M., Parisi, F., Sagasetta, J., & Lu, X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*, 173, 122–149. (2018). <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2018.06.082>



Прокуров М.Ю.

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
 к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции», Россия, m.prokuroff@mail.ru

Аннотация

Объектом исследования являются плоские односвязные области, очерченные криволинейным выпуклым контуром. Предметом исследования является разработка процедуры автоматизированного подсчёта коэффициента формы – безразмерной интегральной характеристики указанных областей, задающих очертание пластинок и мембран, рассматриваемых в ряде двумерных задач теории упругости. Коэффициент формы является геометрическим аналогом интегральных физических характеристик для указанных расчётных объектов, на основе которого разработаны геометрические методы, относящиеся к технической теории расчёта пластинчатых конструкций: изопериметрический метод [1] и метод интерполяции по коэффициенту формы [2]. Для решения поставленной задачи использовался метод аппроксимации. При разработке алгоритма автоматизированного подсчёта значений коэффициента формы для криволинейных областей предложено разбивать их контуры на отдельные участки, аппроксимируемые уравнениями логарифмических спиралей, заданных в полярной координатной системе.

Введение

В работах [1] – [3] теоретически доказано, что безразмерная интегральная характеристика плоской односвязной замкнутой области – коэффициент формы, является геометрическим аналогом ряда критериальных физических параметров в двумерных задачах теории упругости для пластинок и мембран: максимальный прогиб при поперечном изгибе; основная частота свободных колебаний; критическая сила в задачах устойчивости; разрушающая нагрузка для пластинок, находящихся в состоянии предельного равновесия; приведенная геометрическая жёсткость в задаче упругого кручения призматических стержней.

В ряде инженерных задач, связанных с расчётом выпуклых пластинок и мембран, приходится сталкиваться с наличием у них криволинейно очерченного контура. Контурные дуги таких областей могут описываться функциональными выражениями различного вида. Условия задания этих функций и их предполагаемое многообразие значительно усложняют задачу формализации подсчёта коэффициентов формы указанных областей по сравнению с областями полигонального контура. В последнем случае, при наличии прямолинейного контура, для описания формы области достаточно указать координаты вершин выпуклого полигона в декартовой системе отсчёта. Алгоритм подсчёта коэффициента формы для областей, очерченных полигональным контуром, приводится в [4].

Целью исследования является разработка процедуры автоматизированного подсчёта коэффициента формы для выпуклых областей произвольных криволинейных очертаний.

Методика решения задачи

Предложено разбивать криволинейный контур рассматриваемой области на участки (рисунок 1), аппроксимируемые уравнениями логарифмических спиралей. Указанные уравнения задаются в полярной системе координат, применение которой предложено ранее в работе [5].

Выражение для коэффициента формы, относящееся к точке отсчёта, принимает вид:

$$K_f = \sum_{i=1}^n (1+c_i^2) \phi_i,$$

где n – число контурных дуг, c_i – коэффициент роста логарифмической спирали на i -том участке контура, ϕ_i – полярный угол i -той дуги.

Для организации процедуры итерационного поиска искомого значения K_f предусмотрен переход к декартовой системе координат с представлением контура в виде замещающего полигона. При этом на каждую выделенную дугу помещается 100 равноудалённых узлов.

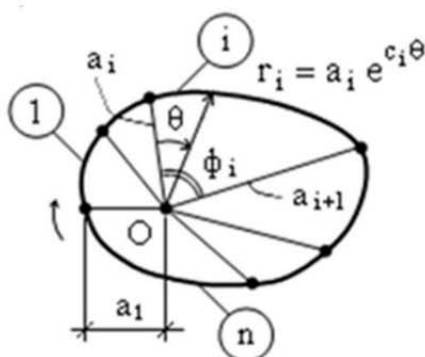


Рисунок 1. Расчётная область, очерченная произвольным криволинейным контуром

Результаты и обсуждение

Путём численных исследований было установлено, что выбранное количество узлов, принятое для разбиения каждого криволинейного контурного элемента представляется достаточным, поскольку аппроксимирующий полигон будет иметь при этом минимум 100 вершин.

Например, при рассмотрении расчётной области в виде окружности, заданной как произвольная фигура с единственным криволинейным участком, получается очертание аппроксимирующего полигона, представляющего собой стоугольник, для которого значение коэффициента формы составило $K_f = 6,285253$.

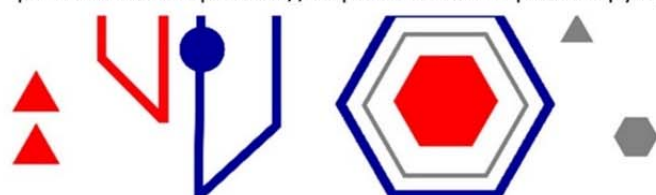
Точное решение для очертания в виде окружности при этом составляет $K_f = 2\pi$. Таким образом, рассчитанное значение отличается от точного на 0,03 %.

Заключение

Разработана процедура автоматизированного подсчёта коэффициента формы для выпуклых областей произвольных криволинейных очертаний, аппроксимируемых с помощью уравнений логарифмических кривых, заданных в полярной системе координат.

Библиографический список

1. Коробко В.И. Изопериметрический метод в строительной механике: Теоретические основы изопериметрического метода. М.: Издательство АСВ, 1997. 390 с.
2. Коробко А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости. М.: Издательство АСВ, 1999. 320 с.
3. Расчёт пластинок методом предельного равновесия / В.И. Коробко, А.В. Коробко, С.А. Морозов, М.Ю. Прокуров. Орёл: Типография «Труд», 2012. 360 с.
4. Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Автоматизированный подсчёт коэффициента формы односвязных плоских областей с выпуклым полигональным контуром // Строительство и реконструкция. 2016. № 6. С. 29 – 40.
5. Коробко А.В., Прокуров М.Ю. Программа определения значения коэффициента формы плоской замкнутой области, ограниченной выпуклым контуром различного очертания // Строительство и реконструкция. 2013. № 4. С. 28-37.





Аннотация

В границах исследования поднимается проблема устойчивости развития отрасли и общества для предстоящего решения, состоящая из двух вопросов: - 1-й вопрос «Как с помощью живого человеческого и искусственного интеллекта обеспечить совместимость бесконфликтного, то есть устойчивого развития на планете биосферы и техносферы?»; - 2-й вопрос «Как заставить искусственный интеллект креативно генерировать самостоятельно, или в интеграции с живым интеллектом эксперта, инновационные прорывные решения экологически ориентированных технологий, например, в области строительства?». При этом - представителем биосферы выступает человек, а представителем техносферы выступает искусственный интеллект.

Введение

Актуальность проблемы: Минстрой России и другие ведущие организации строительной отрасли подписали соглашение о создании Консорциума. Задачи, которые предстоит решать, распределены по пяти основным блокам: аналитика, координация, наука и инновации, нормативно-техническая деятельность и цифровизация.

Однако, должен присутствовать шестой блок – блок защиты интеллектуальной собственности, без которого заявлять о научном и технологическом суверенитете будет юридически не обоснованным. При этом возникает вопрос: возможно или нет автоматизированное генерирование технологических изобретений?

Авторы для проверки этой гипотезы предлагают использование искусственного интеллекта в креативном синтезе экологически ориентированных прогрессивных или перспективных словесных и графических образов прорывных технологий с учётом машинной статистической обработки патентной информации и фондов технических регламентов.

Цель исследования – выявить проблемы и риски и наметить подходы к разработке методики автоматизированного прогнозирования прорывных технологий строительного производства.

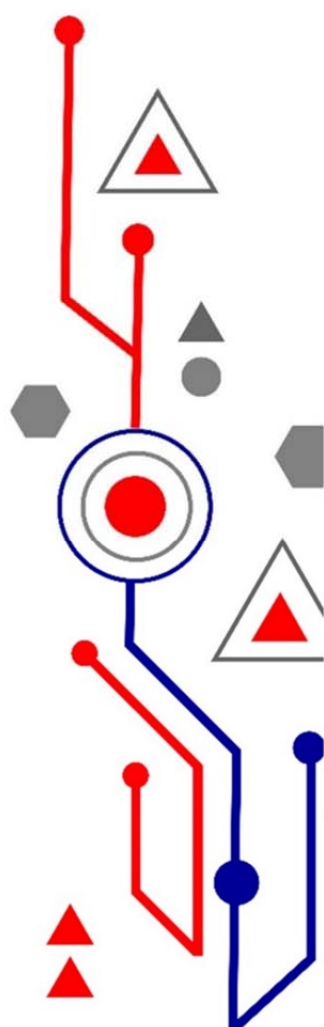
Задачи исследования: – поиск методов исследования будущего строительной отрасли, - поиск корректной терминологии для синтеза образов будущих прорывных технологий и вариантов использования искусственного интеллекта, способного креативно генерировать словесные и графические образы технологий, - обоснование роли правовой защиты интеллектуальной собственности, без которой научно-исследовательский суверенитет строительной отрасли невозможен, - словесные и графические образы будущих прорывных технологий экологически ориентированного строительного производства, а также проведение патентной и экологической экспертиз сгенерированных образов технологий.

Результаты и обсуждение Заключение

Выводы: 1 - главный тренд развития - экологизация всех видов деятельности, в первую очередь образования на всех уровнях, в том числе подготовка кадров для строительной отрасли и коммунального хозяйства с учётом создания повсеместно «зелёной» среды жизнедеятельности на основе «зелёной» инновационной продукции; 2 - основной тренд развития - автоматизация интеллектуального творческого труда инженеров, архитекторов, экспертов, изобретателей и учёных, и исследователей во всех отраслях, и в первую очередь в строительной и градостроительной отрасли; 3 - традиционный тренд развития - повышение производительности труда и эффективности производства на основе внедрения прорывных прогрессивных и перспективных технологий, в первую очередь в строительной отрасли и коммунальном хозяйстве; 4 - парадоксальный тренд развития - риски разработчиков перемещаются в область возможной утраты моральных ценностей и потери прав интеллектуальной собственности, с вытекающими последствиями возможной утраты научного и технологического суверенитета, так как материальные затраты на производство инновационной продукции обесцениваются применением искусственного интеллекта и доступностью программных средств и баз знаний и данных.

Библиографический список

- 1.Slesarev, M. Modeling and formation of environmental safety management systems of construction technologies. Materials: E3S Web of Conferences Vol "Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021" 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809084>
- 2.Slesarev, Mikhail Y. y Makarova, Anastasia. M. Environmental safety of construction as a factor of graphoanalytical modeling of product parameters. Revista Inclusiones Vol: 7 num Especial (2020): pp. 477-488. <https://revistainclusiones.org/index.php/inclu/article/view/1430>
- 3.Слесарев, М.Ю. Формирование систем экологической безопасности строительства: [монография] Моск. гос. строит. ун-т. - Москва: МГСУ, 2012. - 351 с. https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya_deyatelnost/izdaniya/monografii/1706/
- 4.Slesarev, M. and Kovrigin. A. Model of bifurcation prediction and innovation sustainability of energy facilities. E3S Web of Conferences 97, 01011 (2019) FORM-2019 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199701011>
- 5.Slesarev M., Telichenko V., Nguyen D. Formation of innovative methods for ecological safety systems of construction. MATEC Web of Conferences 251, 02010 (2018) <https://doi.org/10.1051/matecconf/201825102010>





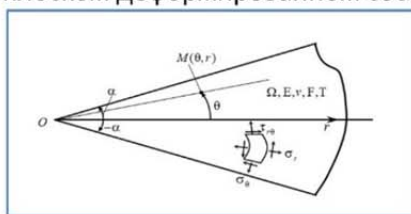
Аннотация

Сложное НДС возникает в области концентрации напряжений, которая обусловлена формой границы или "геометрическим фактором" и конечным разрывом заданных вынужденных деформаций, механических свойств, выходящим в нерегулярную точку границы области. Сложность анализа НДС в зоне углового выреза границы области обусловлена сингулярностью решения однородной краевой задачи упругости. Вычисление коэффициентов концентрации напряжений в области сингулярного решения упругой задачи теряет смысл. Приводится формулировка задачи теории упругости с учетом конечных деформаций в угловой зоне области при действии вынужденных деформаций.

Введение

Описание объекта исследования.

Рассматривается плоская задача теории упругости для области, которая может иметь угловой вырез на границе области [1-4]. В плоской области действуют вынужденные деформации - свободные температурные деформации $\alpha T \delta_{ij}$. Однородное тело находится в плоском деформированном состоянии. Граничные условия области однородны.



Данные эксперимента показывают, что в области углового выреза границы имеются области, в которых решение определяется решением линейной краевой задачи теории упругости [1]. В этой области деформации малы и малы по сравнению с единицей. Учитываются линейные и угловые деформации, деформации поворота не учитываются, т.к. они имеют более высокий порядок малости, чем линейные деформации. В следующей зоне углового выреза границы наблюдаются некоторые нарушения линейного решения задачи упругости, увеличение значений и градиентов напряжений, деформаций. Для линейной постановки задачи теории упругости при малых деформациях становятся значимы не только первые, но и вторые производные функции перемещений.

Цель работы: формулировка и анализ плоской задачи теории упругости в зоне углового выреза границы области с учетом физической линейности и геометрической нелинейности при действии вынужденных деформаций.

Задачи работы:

1. Вывод уравнений равновесия для плоского деформированного состояния в полярной системе координат в деформациях и перемещениях с учетом вынужденных деформаций.
2. Формулировка плоской задачи теории упругости для плоской области с учетом геометрической нелинейности, физически линейной при действии вынужденных деформаций – свободных температурных деформаций.
3. Анализ полученной плоской задачи теории упругости с учетом конечных деформаций физически линейной при действии свободных температурных деформаций.

Решение и результаты

Деформации перемещения в области запишутся: $u_1 = u_1(r, \varphi, 0), u_2 = u_2(r, \varphi, 0), u_3 = u_3(r, \varphi, 0) = 0, \sigma_{13}^* = \sigma_{31}^* = 0, \sigma_{23}^* = \sigma_{32}^* = 0$
 $\varepsilon_{33} = 0, \varepsilon_{13} = \varepsilon_{31} = 0, \varepsilon_{23} = \varepsilon_{32} = 0, e_{13} = e_{31} = 0, e_{23} = e_{32} = 0, e_{33} = 0$

$$\varepsilon_{11} = e_{11} + \frac{1}{2} \left[e_{11}^2 + \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right)^2 \right], \varepsilon_{22} = e_{22} + \frac{1}{2} \left[e_{22}^2 + \left(\frac{1}{2} e_{21} - \omega_3 \right)^2 \right], \varepsilon_{12} = \varepsilon_{21} = e_{12} + e_{11} \left(\frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 \right) + e_{22} \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right) \quad (1)$$

Где $e_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial r}, e_{22} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_2}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} u_1, e_{12} = e_{21} = r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u_2}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial \varphi} = \frac{\partial u_2}{\partial r} - \frac{u_2}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial \varphi}, \frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 = \frac{\partial u_2}{\partial r}, \frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 = \frac{1}{r} \frac{\partial u_1}{\partial \varphi} - \frac{u_2}{r} \quad (2)$

Граничные условия: $s_{11} \cos(\vec{n}, \vec{k}_1) + s_{21} \cos(\vec{n}, \vec{k}_2) = 0, s_{12} \cos(\vec{n}, \vec{k}_1) + s_{22} \cos(\vec{n}, \vec{k}_2) = 0$
Физические соотношения принимаются в форме Дюгамеля-Неймана: $\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \left(\sigma_{ij} - \frac{\nu}{1+\nu} s^* \delta_{ij} \right) + \alpha T \delta_{ij} \quad (3)$

где свободные температурные деформации $\alpha T \delta_{ij}$ действуют в одной из подобластей Ω_2 области $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$.

А) величина ω_3 - малая того же порядка или более высокого порядка малости, чем e_{ij}

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial r} (2G\varepsilon_{11} + \lambda\varepsilon) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} G\varepsilon_{12} + \frac{1}{r} (2G\varepsilon_{11} + \lambda\varepsilon) - \frac{1}{r} (2G\varepsilon_{22} + \lambda\varepsilon) + \\ & + \frac{(2\mu+3\lambda)\alpha TE}{r} (e_{22} - e_{11}) - (2\mu+3\lambda)\alpha E \frac{\partial T}{\partial r} - (2\mu+3\lambda)\alpha E \left(T \frac{\partial e_{11}}{\partial r} + e_{11} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \\ & - (2\mu+3\lambda)\alpha E \left(T \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 \right) + \left(\frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 \right) \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + F_1 = 0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} (2G\varepsilon_{22} + \lambda\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial r} (G\varepsilon_{12}) + \frac{2G}{r} \varepsilon_{12} - \\ & - \frac{1}{r} (2\mu+3\lambda)\alpha E (1+e_{22}) \frac{\partial T}{\partial \varphi} - (2\mu+3\lambda)\alpha E \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right) \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{1}{r} (2\mu+3\lambda)\alpha TE e_{12} - \\ & - \frac{1}{r} (2\mu+3\lambda)\alpha E T \frac{\partial e_{22}}{\partial \varphi} - (2\mu+3\lambda)\alpha TE \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right) + F_2 = 0 \end{aligned}$$

В) величины e_{ij} – малые того же или более высокого порядка малости, чем ω_3^2 .

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial r} \left((2G+\lambda)e_{11} + \lambda e_{22} + (G+\lambda)\omega_3^2 \right) + \frac{G}{r} \frac{\partial e_{12}}{\partial \varphi} + \frac{2G}{r} (e_{11} - e_{22}) + \\ & + \frac{(2\mu+3\lambda)\alpha TE}{r} (e_{22} - e_{11}) - (2\mu+3\lambda)\alpha E \frac{\partial T}{\partial r} - (2\mu+3\lambda)\alpha E \left(T \frac{\partial e_{11}}{\partial r} + e_{11} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \\ & - (2\mu+3\lambda)\alpha E \left(T \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 \right) + \left(\frac{1}{2} e_{12} - \omega_3 \right) \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + F_1 = 0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left((2G+\lambda)e_{22} + \lambda e_{11} + (G+\lambda)\omega_3^2 \right) + G \frac{\partial e_{12}}{\partial r} + \frac{2G}{r} e_{12} - \\ & - \frac{1}{r} (2\mu+3\lambda)\alpha E (1+e_{22}) \frac{\partial T}{\partial \varphi} - (2\mu+3\lambda)\alpha E \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right) \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{1}{r} (2\mu+3\lambda)\alpha \\ & - \frac{1}{r} (2\mu+3\lambda)\alpha E T \frac{\partial e_{22}}{\partial \varphi} - (2\mu+3\lambda)\alpha TE \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{2} e_{12} + \omega_3 \right) + F_2 = 0 \end{aligned}$$

Заключение

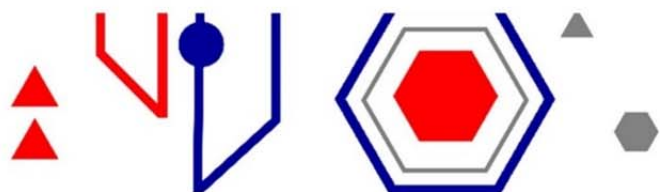
Полученные формулировки основных уравнений задачи упругости в деформациях позволяют провести анализ влияние порядка малости деформаций на вид уравнений равновесия области с конечными и вынужденными - температурными деформациями. Это позволит анализировать влияние линейных, сдвиговых деформаций и поворота на решение геометрически нелинейной упругой задачи с вынужденными деформациями.

Библиографический список

1. Метод фотоупругости / Г.Л. Хесин, и др. М.: Стройиздат, т.3, 1975. 311с.
 2. Тимошенко С.П., Гудер Дж. Теория упругости упругости. М.: Наука, 1979. 560 с.
 3. Новосильцов В.В. Теория упругости. Судпромгиз. 1958. 370 с. 4. Бакушев С.В. Геометрически и физически нелинейная механика сплошной среды: Плоская задача. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 321с.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
 17 – 21 мая 2023 года



Царитова Н.Г.¹, Штанкевич А.В.², Курбанова А.А.³

¹ ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», к.т.н., доцент, Россия, ncaritova@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», аспирант, Россия, anastasiyashtankevich@mail.ru

³ ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», аспирант, Россия, anastasia.a.kalinina@yandex.ru



Аннотация

Объектом исследования является пространственная шарнирно-стержневая конструкция. Метод исследования – анализ широкой вариативности шарнирно-стержневых форм, экономичный процесс монтажа с использованием принципа «самовыдвижения» позволяют говорить об актуальности исследований в данном направлении. Результаты: выработка общих принципов формообразования пространственной стержневой конструкции, разработка шарнирного узлового соединения, конечно-элементная модель покрытия.

Введение

1. Для исследования возможностей различных преобразований организуемой пространственной среды выбрана архитектурно-конструктивная система триангуляции (АКС триангуляции), то есть стержневая структура, организованная по закону правильной треугольной сетки с шарнирными узлами соединений. Актуальным в разработке динамических архитектурно-конструктивных систем является создание шарнирного соединения и механизма изменения длины стержней.
2. Первым изобретателем пространственных стержневых конструкций стал русский инженер В.Г. Шухов, такими конструкциями занимались Э. Маковский, Дж. Боррето, А.З. Клячин и пр.
3. Целью исследования является разработка универсального метода проектирования пространственных стержневых систем регулярной структуры с шарнирными узлами, доступной для массового практического применения.

Методы и материалы

1. Разработана схема покрытия.
2. В Компас 3Д выполнена КЭ-модель узлового соединения.
3. Проработан план пространственного покрытия.
4. Получена информационная модель конструкции.

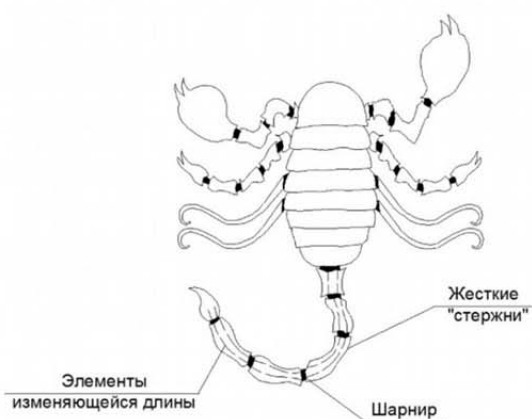


Рисунок 1. Кинематическая схема тропического скорпиона

Результаты и обсуждение

Аналогом в природе таких конструкций с изменяемыми и неизменяемыми длину элементами является метасома тропического скорпиона (рис. 1). Наиболее универсальным является запатентованный авторами шарнирный узел пространственной стержневой конструкции, показанный на рисунке 2. Схема в плане покрытия показана на рисунке 3, а трехмерная модель проработанная авторами с помощью ПК Компас 3Д на рисунке 4.



Рисунок 2. Шарнирный узел пространственной стержневой конструкции

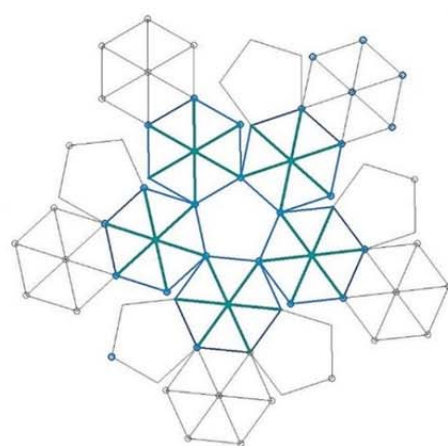


Рисунок 3. План покрытия



Рисунок 4. Трехмерная модель покрытия

Заключение

В заключении можно:

- В результате получена трансформируемая стержневая система, которую возможно использовать как временное здание;
- В дальнейшем исследовании необходимо получить натурную модель пространственной конструкции.

Библиографический список

1. Шухов В. Г. Избранные труды, том 1, «Строительная механика», под ред. А. Ю. Ишлинского, Академия наук СССР, Москва, 1977. 192 с.
2. Numerical Simulation of The Process of Directed Transformation of a Regular Hinge-Rod System / P. P. Gaydzhurov, N. G. Tsaritova, A. I. Kurbanov [et al.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18. – No 3. – P. 14-24.
3. Алексеев С. А., Бузало Н. А., Царитова Н. Г., Моисеенко Г. А. Определение силового сопротивления узла пространственной стержневой конструкции / БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 6(1030). С. 36-38.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
 17 – 21 мая 2023 года





Аннотация

Рассмотрены вопросы проектного обучения и практической подготовки студентов в рамках проекта «Цифровой проектный институт», реализуемого в Тамбовском государственном техническом университете совместно с компанией АО «АСКОН». Описаны задачи и основные этапы осуществления проекта.

Введение

Использование технологий информационного моделирования (ТИМ) в образовательном процессе студентов высших образовательных учреждений по направлениям подготовки «Архитектура» и «Строительство» в настоящее время является насущной необходимостью [1,2]. Зачастую внедрение ТИМ в образовательные программы происходит бессистемно и заключается в использовании программного обеспечения для создания 3D-моделей. Вследствие этого студенты не получают навыков совместной работы над проектом и даже понимания сущности ТИМ. Современные технологии проектного обучения и практической подготовки, совмещенные с ТИМ, позволят студентам получить требуемые компетенции.

Результаты и обсуждение

В ТГТУ совместно с АО «АСКОН» начата реализация проекта «Цифровой проектный институт» (рис. 1), позволяющая получить студентам системные знания и навыки в области ТИМ. На первом этапе (пилотный проект) проходит апробация совместной работы проектной группы для создания рабочей документации многоквартирного жилого дома (рис. 2). Каждый из студентов в рамках курсового проектирования выполняет свою часть работы. Используется ПО компаний «АСКОН» и Renga Software. На втором и третьем этапе планируется вовлечение всего контингента студентов, проведение практической стажировки студентов в проектных и строительных организациях, реализующих ТИМ, привлечение сотрудников этих компаний в качестве наставников, выполнение совместных ВКР по заданиям партнеров проекта.



Рисунок 1. Этапы реализации проекта «Цифровой проектный институт» в Тамбовском государственном техническом университете



Рисунок 2. Модель многоквартирного жилого дома в ЖК «Вернадский» (этап 1)

Заключение

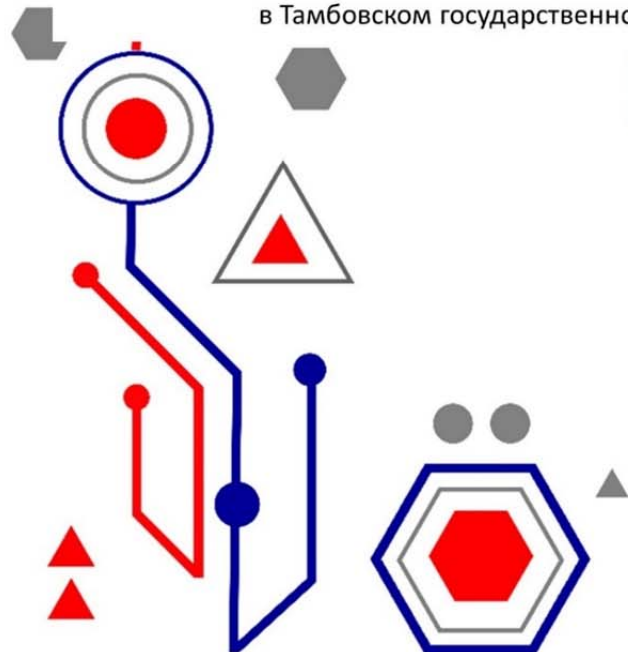
Реализуемый проект потребует корректировки образовательных программ для обеспечения совместной работы студентов, обучающихся по разным направлениям и позволит «сшить» процесс обучения и реальное производство.

Библиографический список

- Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Струлев С.А. Реализация цифровой трансформации образовательных программ в области информационного моделирования зданий, сооружений и линейных объектов // В сборнике: Современная наука: теория, методология, практика. Материалы IV-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2022. С.318-323.
- Маркин И.А., Евдокимцев О.В., Монастырев П.В. Использование технологий информационного моделирования при выполнении выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки «Строительство» // В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт. Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика РААСН Чернышова Е.М.. 2022. С. 292-297.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
 17 – 21 мая 2023 года





Аннотация

Разработана система использования грунтового низкотемпературного геотермального теплоснабжения в зданиях с ограждающими конструкциями, выполненными из многослойных фасадных панелей с вентилируемым воздушным зазором, позволяющая снизить расход энергии на отопление и вентиляцию зданий на 30-35% за отопительный период.

Введение

На сегодняшний день в мире особо актуальна проблема экономии энергетических ресурсов. В решении данной проблемы развитые страны делают упор на сокращение удельного энергопотребления и рост использования возобновляемых источников энергии. Строительство и эксплуатация зданий потребляют до половины всей выработанной энергии в мире. Разработка эффективных ограждающих конструкций и технологий использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для работы инженерных систем зданий позволит значительно сократить энергопотребление и повысить эффективность энергосистем на основе ВИЭ [1]. Проведенный анализ современных фасадных решений и технологий использования ВИЭ позволил создать концепцию применения солнечной и геотермальной энергии в зданиях с фасадными панелями с вентилируемым зазором. Конструкция многослойной фасадной панели с воздушным вентилируемым зазором состоит из внутреннего и внешнего теплоизоляционных слоев, между которыми расположен каркас из перфорированных швеллеров (рис.1). В данном исследовании производился подбор оптимальных геометрических параметров многослойной фасадной панели для разных температур (-5°C...-32°C). Для выбора оптимальных параметров использовалась теория планирования эксперимента [2,3].

Методы и материалы

Целью исследования является определение набора параметров, при которых приведенное сопротивление теплопередаче примет максимальное значение с одновременным выполнением нескольких условий:

- общая толщина панели не должна превышать 400 мм,
- разница температур внутренней поверхности стенки и воздуха должна быть не более нормативной,
- температура элементов внутри вентилируемого зазора должна быть выше точки росы обтекающего их воздуха.

Целью исследования является определение набора параметров, при которых приведенное сопротивление теплопередаче примет максимальное значение с одновременным выполнением вышеописанных условий:

$$R_{\text{зфп}} = f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \max,$$

$$\begin{cases} (t_{\text{inlet_fl}} - t_{\text{wall_s1_min}}) \leq \Delta t^*, \\ t_{\text{wall_s3_min}} \geq t_p, \\ t_{\text{wall_s4_min}} \geq t_p, \\ t_{\text{wall_s5_min}} \geq t_p \end{cases}$$

Результаты и обсуждение

- Для определения оптимальных геометрических параметров создана параметрическая модель в программном комплексе ANSYS на примере фрагмента фасада трехэтажного жилого здания;
- Разработана методика определения толщин теплоизоляционных слоев и вентилируемого воздушного зазора панели, позволяющая производить подбор параметров для различных климатических условий;
- Разработана методика определения термического сопротивления панели при разных внешних условиях, позволяющая производить оценку эффективности применения фасада с МФП в различном климате;
- Определена требуемая кратность воздухообмена на входе в вентилируемый зазор МФП и удельная мощность «теплого пола» для разных температур наружного воздуха.

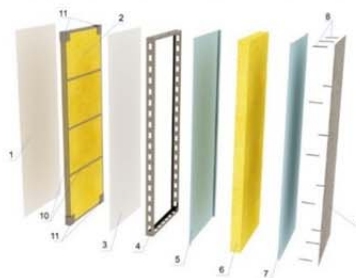


Рисунок 1. Конструкция МФП

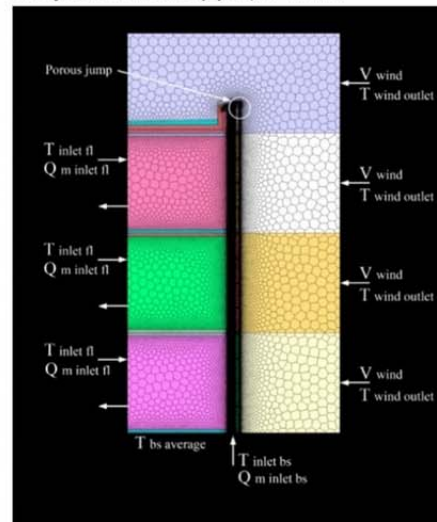


Рисунок 2. Граничные условия расчетной модели

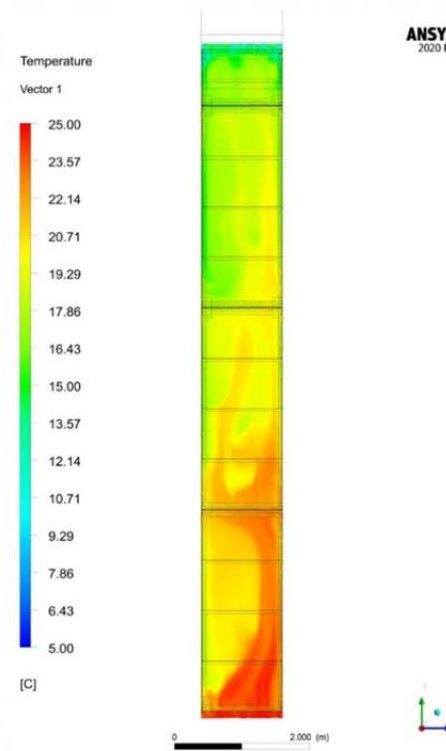


Рисунок 3. Распределение температур воздуха в вентилируемом зазоре МФП в зимний период (при наружной температуре минус 13,7 °C)

Заключение

Проведена энергетическая и экономическая оценка теплоснабжения зданий на основе ВИЭ с фасадом из МФП. Применение энергоснабжения на основе низкотемпературных источников энергии в зданиях показало свою эффективность и окупаемость в течение 10 лет. Затраты энергии на отопление и вентиляцию снижаются более чем на 30% относительно традиционного вентилируемого фасада и централизованного отопления.

Библиографический список

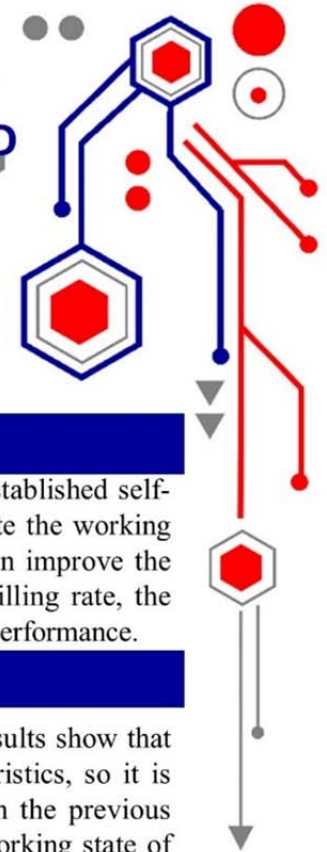
1. Соловьев А.А. Становление современной возобновляемой энергетики и ее роль в развитии строительной индустрии / А.А. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2016. №6. – С.5-6.
2. Шароварова Е.П. Многослойные панели для энергоэффективных зданий с солнечно-геотермальным энергоснабжением / Е.П. Шароварова, С.Е. Щеклеин, В.Н. Алехин, А. Хуссейн, Н.Е. Новоселова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2021. - №2. – с.38-44.
3. Пат. на полезную модель №191998 РФ. Многослойная фасадная панель / Е.П. Шароварова, В.Н. Алехин, А.М. Бударин. Опубл. 29.08.2019. Бюл. №25.

VIII Международный симпозиум
 «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Россия, г. Тамбов, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

17 – 21 мая 2023 года





Abstract

In order to obtain the best filling scheme of self-insulating wall in hot summer and cold winter climate, this experiment established self-insulating wall with insulation material (EPS) filling rate of 0% to 100%. Then, the Energyplus software was used to simulate the working conditions of hot summer and cold winter climates and air conditioning operation. The results show that (1) filling EPS can improve the insulation performance of the wall, and verify the correctness of previous research results; (2) With EPS the increase of filling rate, the thermal insulation performance of self-insulation wall is better. (3) Self-insulated wall filled with 100% has the best insulation performance.

Introduction

A large number of scholars have studied the energy-saving effect of self-insulating wall through comparative tests, and the results show that self-insulating wall has a good energy-saving effect [1-2]. However, buildings have distinct regional and climatic characteristics, so it is proposed that the hot summer and cold winter conditions and air conditioning operation conditions have any influence on the previous conclusions. In order to solve this problem and verify the accuracy of previous conclusions, this experiment simulates the working state of various self-insulating wall models in hot summer and cold winter conditions and air conditioning operation by Energyplus, hoping to explore the best self-insulating wall model suitable for hot summer and cold winter conditions and air conditioning operation conditions.

Methods and materials

1. Simulation time: January 1st to January 4th.
2. Experimental object: Office model and self-insulating wall model as shown in **Figure 1**.
3. Air conditioning: the working time is 9:00 to 17:00, the temperature is 24°C
4. Simulation software: Energyplus (Version 8.7)
5. Experimental materials, as shown in **Table 1**.
6. **Figure 2** shows the compatibility of indoor temperature, internal surface temperature and heat flow between experimental and simulated values was 96.83%, 96.53% and 95.27%, respectively. This proves that wall simulation data have high reliability.

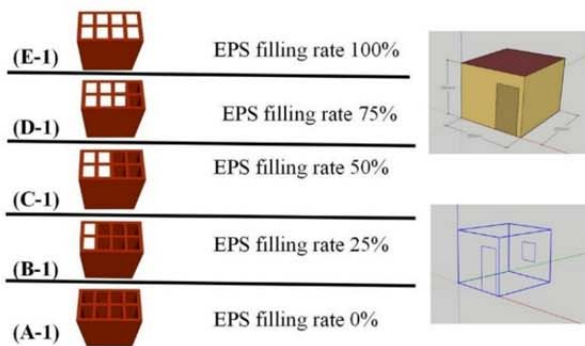


Figure 1. The self-insulating wall model and office model.

Table 1. properties of the wall materials[2]

Wall materials	Density (kg/m ³)	Heat capacity kJ/(kg•K)	Thermal conductivity W/(m•K)
Cement plaster	1860	0.840	0.84
Hollow brick	1800	1.050	0.81
Air	1.23	1.006	0.242
EPS	20	1.380	0.039

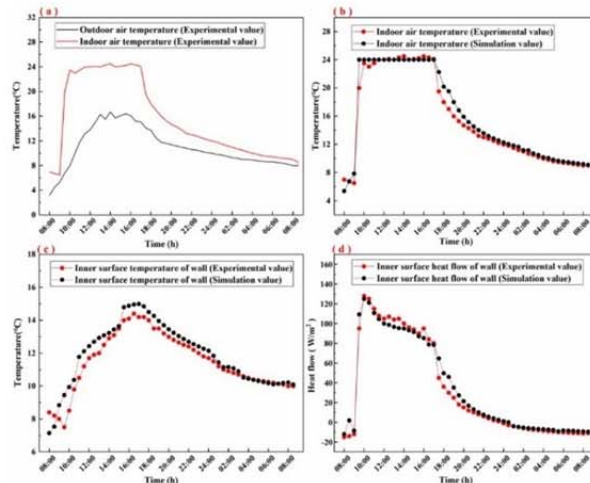


Figure 2. Comparison of experimental values and simulated values

Results and discussion

In **Figure 3**, it is obvious that the internal surface temperature of wall (B-1) to (E-1) is higher than that of wall (A-1). With the increase of EPS filling, the inner surface temperature of the wall also increases. In addition, wall (E-1) has the highest internal surface temperature. The reason for the above phenomenon is that EPS has good thermal insulation performance, it is filling EPS into the cavity of hollow brick increases the thermal insulation performance of hollow brick. Therefore, the higher the filling rate, the better the insulation performance of the wall. This can provide a reference for architectural design.

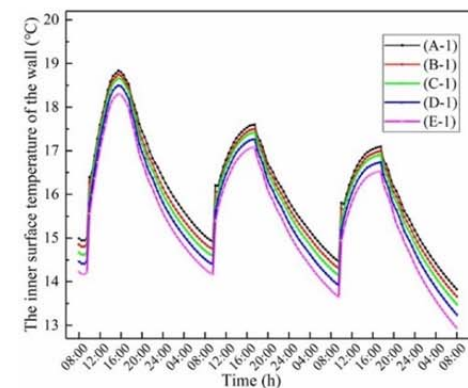


Figure 3. Curve graph of the internal surface temperature of the wall

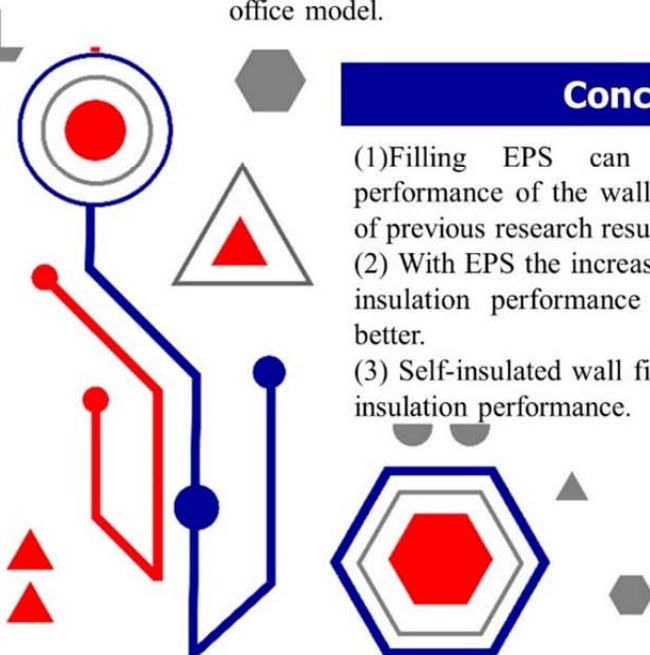
Conclusions

- (1) Filling EPS can improve the insulation performance of the wall, and verify the correctness of previous research results;
- (2) With EPS the increase of filling rate, the thermal insulation performance of self-insulation wall is better.
- (3) Self-insulated wall filled with 100% has the best insulation performance.

References

[1] Hu W, Huang Y, Zhang J, Alekhin V.N. Optimization of the thermal performance of self-insulation hollow blocks under conditions of cold climate and intermittent running of air-conditioning. *Case Studies in Thermal Engineering*. Volume 35, (February 2022): pp.1-11. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102148>

[2] X Meng. Optimization of the wall thermal insulation characteristics based on the intermittent heating operation. *Case Studies in Construction Materials*. Volume 9, (February 2019): pp.1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00188>



Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Тезисы докладов
VIII-го Международного симпозиума**

**ACTUAL PROBLEMS OF COMPUTER
MODELING IN CIVIL ENGINEERING**

**Abstracts of reports
8th International Symposium**

Тамбов, 17-21 мая 2023 г.

**Издательство ИП Чеснокова А.В.
392020, г. Тамбов, ул. О. Кошевого 14. Тел. (4752) 53-60-84.**

Формат 60x90/8. Бумага офсетная.
Печать электрографическая. Гарнитура Times.
Объем – 52 усл. печ. л. Тираж 300 экз.