

Предлагаем нашим
дорогим читателям
отвлечься немного
от науки и решить
шахматные задачи.



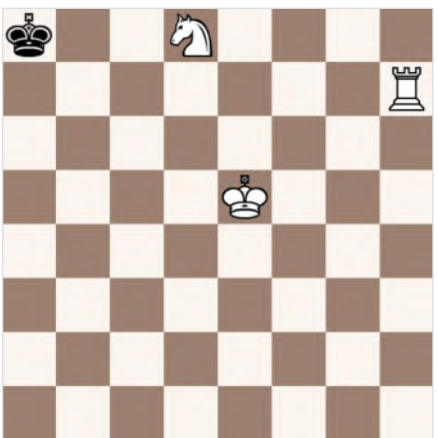
Мат в два хода



Мат в два хода



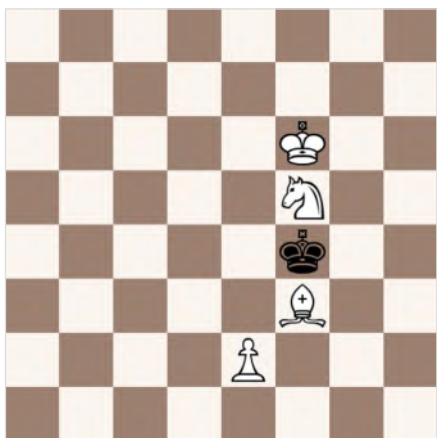
Мат в два хода



Мат в три хода



Мат в три хода



Мат в три хода



Мат в четыре хода



Мат в четыре хода

Подписной индекс журнала: 45040
В объединенном каталоге «Пресса России»
www.pressa-rf.ru
Подписку также можно оформить в издательстве
«Институт системных технологий»

+7 (499) 340-02-33
+7 (916) 340-02-33
thesystemtechnologies.com
системтех.пф

ISSN 2227-5398



4 [53]
2024

Системные
технологии
научно-практический
журнал
System
technologies
scientific-practical
journal

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (ВАК)

Журнал является ежеквартальным научным изданием. В выпусках журнала публикуются научные статьи ученых, аспирантов и соискателей ученых степеней, студентов по актуальным проблемам различных отраслей науки, содержащие результаты собственных исследований авторов. Редакционная коллегия издания сформирована из ведущих российских и зарубежных ученых, представляющих академическое и вузовское сообщество.



thesystemtechnologies.com
системтех.пф

Системные технологии

научно-практический журнал

4 [53] 2024

System technologies

scientific-practical journal

Адрес редакции:

367025, респ. Дагестан, г. Махачкала,
пр. Акушинского, д. 21.
«Институт системных технологий»
Телефоны: 8 499 340-02-33; 8 8722 51-61-87
integralferma@gmail.com

Address of Editorial Office:

367025, rep. Dagestan, Makhachkala city,
Akushinskogo st, 21.
«Institute of system technologies»
Phone: +7 499 340-02-03; +7 8722 51-61-87
integralferma@gmail.com



web-сайт: системтех.рф
thesystemtechnologies.com

Научно-практический журнал Издается с 2011 г. Выходит 1 экземпляр в квартал Подписной индекс 45040	Scientific practical journal Published 2011 Issue every 3 month Index 45040
Журнал «Системные технологии» является периодическим ежеквартальным научным изданием. В выпусках журнала публикуются научные статьи ученых, аспирантов и соискателей ученых степеней, студентов по актуальным проблемам различных отраслей науки, содержащие результаты собственных исследований авторов. Редакционная коллегия издания сформирована из ведущих российских и зарубежных ученых, представляющих академическое и вузовское сообщество. Журнал входит в систему РИНЦ, CyberLeninka, ВИНИТИ РАН. Научно-практический журнал «Системные технологии» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ №ФС77-46161 от 12 августа 2011г.	

Главный редактор канд. физ.-мат. наук.	А. К. Курбанмагомедов	Editor in Chief Cand. physical -mat. sciences.	A. K. Kurbanmagomedov
Заместитель главного редактора (ответственный за рубрику Строительство) канд. техн. наук, профессор	Г. Э. Окольников	Deputy Editor-in-Chief (responsible for the heading Construction)	G. E. Okolnikova
Заместитель главного редактора (ответственный за рубрику Архитектура) канд. арх., профессор, член-корреспондент РАН	Е. Г. Трибельская	Deputy Editor-in-Chief (responsible for the Architecture heading)	E. G. Tribelskaya

Редакционная коллегия

Председатель ред.коллегии д-р техн. наук, профессор	А. В. Иванайский	Московский политехнический университет
д-р архитектуры, профессор	Е. Р. Возняк	Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
д-р техн. наук, профессор, чл.-к. РААСН	М. М. Батдалов	Дагестанский государственный технический университет
д-р техн. наук, профессор	Е. М. Морозов	Московский инженерно-физический институт
канд. техн. наук, профессор	Г. Э. Окольников	Российский университет дружбы народов
д-р физ.-мат. наук, профессор	М. К. Гусейханов	Институт системных технологий
д-р физ.-мат. наук, профессор	В. П. Красин	Московский политехнический университет
д-р физ.-мат. наук, профессор	О. Б. Бутусов	Московский политехнический университет
д-р физ.-мат. наук, профессор	Г. С. Жукова	Финансовый университет при Правительстве РФ
д-р архитектуры, профессор	Ю. С. Янковская	Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
д-р физ.-мат. наук	М. Д. Коваленко	Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН
канд. техн. наук, доцент	Р. Т. Бржанов	Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш.Есенова
д-р физ.-мат. наук, профессор	Е. А. Пушкарь	Московский политехнический университет
канд. техн. наук	С. М. Халаби	Российский университет дружбы народов
д-р техн. наук, профессор	Р. Л. Шаталов	Московский политехнический университет
д-р техн. наук, профессор	В. В. Гурьев	ОАО «Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования»
д-р техн. наук, профессор	И. Н. Тихонов	НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
канд. техн. наук, профессор	Н. К. Пономарев	Российский университет дружбы народов
д-р техн. наук, профессор	А. В. Корнилова	Российский университет дружбы народов
д-р техн. наук, профессор	В. Н. Сидоров	Российский университет транспорта (МИИТ)
д-р архитектуры, профессор	Г. Н. Черкасов	Московский архитектурный институт
канд. архитектуры, доцент	О. Л. Банцерова	Московский государственный строительный университет
канд. техн. наук, доцент	Е. В. Орлов	Московский государственный строительный университет
канд. физ.-мат. наук	Т. С. Хачлаев	МИРЭА — Российский технологический университет
д-р техн. наук, доцент	Р. С. Федюк	Дальневосточный федеральный университет

The editorial Board

The Chairman of Editorial Board Dr. Sc. (Eng.), Prof.	A.V. Ivanayskiy	Moscow Polytechnic University
Dr. Architecture, Professor	E. R. Voznyak	Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Dr. Sc. (Eng.), Prof., cor.-m. of RAACS	M. M. Batdalov	Dagestan state technical university
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	E. M. Morozov	Moscow engineering physics Institute
Cand. Sc. (Eng.), Prof.	G. E. Okolnikova	RUDN University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	M. K. Guseyhanov	Institute of system technologies
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	V. P. Krasin	Moscow Polytechnic University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	O. B.Butusov	Moscow Polytechnic University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	G. S. Jukova	Financial University under the Government of the Russian Federation
Dr. Architecture, Professor	Y. S. Yankovskaya	Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Dr. Sc. (Phys.-Math.)	M. D. Kovalenko	Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics RAS
Cand. Sc. (Eng.), assistant professor	R. T. Brzhanov	Yessenov University
Dr. Sc. (Phys.-Math.), Prof.	E. A. Pushkar	Moscow Polytechnic University
Cand. Sc. (Eng.)	S. M. Halabi	RUDN University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	R. I. Shatalov	Moscow Polytechnic University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	V. V. Guryev	OJSC «Moscow Research and Design Institute of Typology, Experimental Design»
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	I. N. Tikhonov	NIYZHB them. A.A. Gvozdev
Cand. Sc. (Eng.), Prof.	N. K. Ponomarev	RUDN University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	A.V. Kornilova	RUDN University
Dr. Sc. (Eng.), Prof.	V. N. Sidorov	Russian University of Transport (MIIT)
Dr. Architecture, Professor	G. N. Cherkasov	Moscow Architectural Institute
Cand. Architecture, Associate Professor	O. I. Bantserova	Moscow State University of Civil Engineering
Cand. Tech. Sciences, Associate Professor	E. V. Orlov	Moscow State University of Civil Engineering
Cand. sc. (Phys.-math.)	T. S. Khachlaev	MIREA — Russian Technological University
Dr. Sc. (Eng.), assistant professor	R. S. Fediuk	Far Easten Federal University

СТРОИТЕЛЬСТВО

Н. А. Берков, А. И. Архангельский, Т. А. Горшунова, М. В. Архангельская
Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния
перекрестно армированной цилиндрической оболочки при растяжении.....5

Е. С. Гогина, О.В. Февральских, А.В. Решетова
Исследование процесса фильтрации поверхностных сточных вод в естественных условиях.....15

И. И. Павлинова, И. К. Дмитриев, Д. А. Ткаченко
Становление и развитие систем водоснабжения и водоотведения в советский период (1922 – 1947 гг.).....27

М. В. Мозголов, В. В. Костюков, Д. Г. Омелянчук
О влиянии окаймляющей балки на напряженно-деформированное
состояние косоугольного железобетонного перекрытия.....32

С. В. Шиянов, В. В. Стародубцев, С. В. Акатьев, А. В. Мусаев, Е. В. Дикова
Реализация волновой теории сейсмической безопасности
с использованием вычислительного программного комплекса Мусаева В. К.....43

И. К. Дмитриев, И. И. Павлинова, О. А. Стифеева
Рекомендации по улучшению работы водозаборных
сооружений систем промышленного водоснабжения.....52

И. А. Синянский, А. К. Кошкин, И. А. Леоненко, Е. А. Шныренков
Анализ и предложения по объёмно-планировочным и конструктивным
решениям круглых в плане сельскохозяйственных зданий.....57

Ю. С. Захаров
Долгосрочное планирование капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей.....64

С. Г. Саиян
Концепция цифрового двойника конструкций высотных зданий и сооружений
с использованием методики численного моделирования аэродинамики и динамического отклика.....72

A. K. Kurbanmagomedov, V. D. Kuliyeв, E. M. Morozov
Gradient strain criterion of brittle fracture of solids.....86

Э. К. Агаханов, М. А. Магомедов, Х. Р. Сулейманов
Об условиях моделирования предельного напряженного состояния грунтов.....103

А. С. Маркович, Д. А. Голишевская, И. М. Курсеков, А. А. Костина
Анализ методов исследования напряженно-деформированного
состояния зданий и сооружений в сложной городской застройке.....112

С. Г. Саиян, С. А. Маркова
Расчетные исследования мер снижения ветровых воздействий на высотные здания и сооружения.....122

АРХИТЕКТУРА

А. П. Волочкович, Я. А. Коржемпо
Антивандальные и антитеррористические мероприятия, учитываемые при проектировании.....135

Ю. А. Жук, П. А. Сергиеня, М. В. Аргутина Проект «Лесной сцены» в музее-заповеднике Парке Монрепо г. Выборг.....	143
М. А. Гранстрем, М. С. Ефимова Гидротехническая система Шлиссельбурга. Историко-культурные аспекты.....	150
К. А. Жукова, Я. А. Коржемпо Новая жизнь промышленных территорий: ревитализация индустриальных зон как способ городского развития.....	159
И. В. Ларионов, Н. С. Калинина Архитектурные тенденции и перспективы модульного многоэтажного строительства.....	165
С. А. Котиев Архитектура британского неоклассицизма эдвардианской эпохи и ее маньеристические прообразы.....	173
Н. Н. Коршунова, А. С. Эйрамджанц Подходы к реорганизации бывших промышленных предприятий на территориях севера России (на примере Карелии).....	188
А. В. Плаксина, Я. А. Коржемпо Кинетические объекты как элементы нового дизайна городской среды. Динамические фасадные системы.....	196
С. А. Сафронов, Н. С. Калинина Значение функционального зонирования для формирования объемно-пространственной структуры в транспортно-пересадочных узлах.....	206



УДК 539.37

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_5-14

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕКРЕСТНО АРМИРОВАННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Н. А. Берков *

А. И. Архангельский */**

Т. А. Горшунова *

М. В. Архангельская */***

* МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва

** Московский политехнический университет, г. Москва

*** Российская академия народного хозяйства и Государственной службы при президенте Российской Федерации, г. Москва

Аннотация

Для композиционных материалов волокнистой структуры, получаемых при изготовлении композитной оболочки намоткой, предложена математическая модель композитной оболочки, позволяющая оценить прочностные свойства композита. Разработанная математическая модель применена для оценки прочности армированной цилиндрической оболочки, нагруженной осевой растягивающей силой. Эта модель в дальнейших исследованиях будет уточняться для композитов различной структуры и свойств компонентов.

Ключевые слова

Композиционно волокнистый материал, армирование, армированная цилиндрическая оболочка, прочность цилиндрической оболочки.

Дата поступления в редакцию

24.11.2024

Дата принятия к печати

09.12.2024

Материал композитной конструкции имеет слоистую структуру, представляющую собой совокупность связанных слоев с различной ориентацией и определенной схемой чередования. Чаще всего предполагается, что взаимный сдвиг между слоями отсутствует. В отличие от линейно-упругих однородных материалов в слоистых композиционных материалах равномерному распределению деформаций по толщине в общем случае соответствует неравномерное распределение напряжений. Однако инженерные модели, применяемые в анализе композитных конструкций, используют интегральные прочностные и жесткостные характеристики материала.

Поэтому на практике применяются два основных подхода в оценке прочности композиционного волокнистого материала (КВМ). Согласно первому, КВМ рассматривается состоящим из отдельных,

но связанных между собой слоев. Вводятся критерии разрушения, которые рассматриваются для каждого слоя, и потеря несущей способности наступает при нарушении сплошности материала. Согласно второму подходу, прочностные свойства определяются для всего послойного пакета композиционного материала на основании известных (экспериментально определенных) прочностных характеристик отдельного слоя. Второй подход чаще применяется на практике, учитывая многообразие по структуре композитных конструкций (намотанных, из тканевых КВМ и др.). Следует отметить, что наиболее важными для практики являются прочностные свойства КВМ для плоского напряженного состояния, поскольку чаще всего это имеет место для реальных конструкций, особенно оболочек.

Наиболее разработаны критерии прочности для однородных изотропных материалов. Однако для армированных материалов, состоящих из двух компонентов и являющихся неоднородными, разработка таких критериев является гораздо более сложной проблемой. Трудности возрастают для приложений таких критериев в условиях сложного напряженного состояния, так как необходимо не только смоделировать сложное напряженное состояние, но и поставить соответствующие экспериментальные исследования.

При анализе критериев прочности нужно использовать определенные понятия «разрушения», поскольку наличие разнородных компонентов вносит свои особенности в поведение (деформирование) не только отдельных компонентов, слоя композита, но и композиционного материала в целом. Обычно под разрушением понимается потеря несущей способности материала при любом напряженном состоянии. Состояние текучести соответствует началу неупругого деформирования материала. Понятие растрескивания рассматривается как мгновенное образование свободных поверхностей в материале, которые способны ускорить разрушение материала. Поэтому в проблеме критериальной прочности композита существует много аспектов, связанных как с возникновением и развитием различных форм предразрушения (растрескивание связующего, излом волокон, расслоение, нарушение адгезии и т. д.), так и с влиянием разных факторов (условия нагружения, среда, температура и др.). Понятно, что учет всех таких факторов и особенностей настолько усложняют проблему критериев прочности, что не позволяют получить определенные прикладные оценки прочности, применимых для анализа инженерных композитных конструкций.

Критериям прочности посвящена обширная литература. В работе [1] приводится ряд критериев прочности, полученных для неоднородных композитов, рассматриваемых как сплошная среда, математическая модель которой строится на основе экспериментальных данных. Разрушение исследуется в предположении однородности анизотропного материала, когда в нем возникают нарушения сплошности. Использование критериев разрушения полезно при разработке новых композиционных материалов для различных технических приложений. Феноменологические критерии разрушения осуществляют обратную связь с изменениями геометрии композита, определяют технологию его изготовления.

Для расчетного анализа композитных конструкций, особенно изготовленных намоткой, необходимо знать (или определить) основные механические свойства (упругие и прочностные характеристики) композиционного волокнистого материала. Следует учитывать, что композиционный материал характеризуется неоднородностью и анизотропией свойств (в отличие от металлов). Чаще всего композиционный материал по микроструктуре является двухкомпонентным и состоит из волокон и связующего (полимерного, металлического и др.). Макроструктуру КВМ образуют слои (монослои), состоящие из определенным образом ориентированных волокон, заключенных в связующем. Явления, протекающие на микроуровне, определяют как форму разрушения, так и соответствующие прочностные характеристики материала, однако механизм и взаимодействие этих явлений изучены еще недостаточно полно. Поэтому большинство инженерных расчетов основано на макромоделях, согласно которым основным элементом материала, в котором происходит разрушение, является армированный слой.

Ниже рассматриваются однонаправленные композиционные материалы с полимерной матрицей (связующим) при одноосном напряженном состоянии (нагрузении). На **рис. 1** представлен слоистый КВМ, состоящий из двух однонаправленных композитов. Свойства слоя (монослоя) как базовой структурной части композита во многом определяют прочность всего композитного изделия.

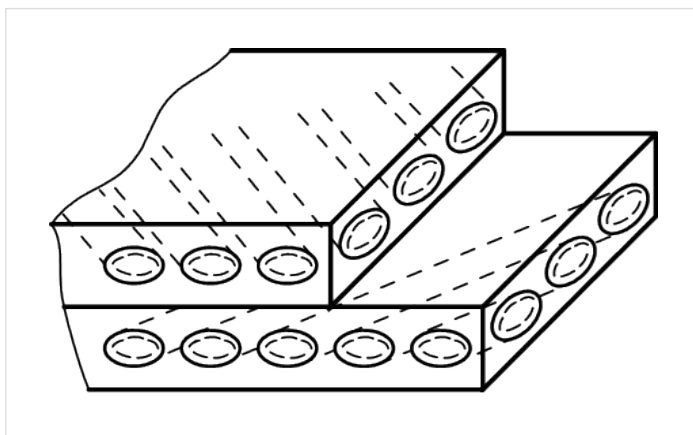


Рис. 1. Монослой симметрично-армированного композита

Для анализа прочности слоя при одноосном нагружении используются те же методы, что и для других материалов и конструкций: экспериментальный, теоретический, полуэмпирический.

Экспериментальные методы позволяют получать данные для механических свойств волокна (нити) и матрицы вместе без выяснения природы прочности слоя и информации о путях совершенствования слоя.

Применение теоретических методов предполагает создание математической модели, отражающей физическую картину поведения объекта исследования, в данном случае слоя, с его свойствами. При этом желательно иметь и какие-то данные стандартных экспериментов.

Полуэмпирический подход применим (и нередко используется для анализа прочностных и упругих свойств композита), но не обладает необходимой общностью.

Для слоя принимаются следующие обозначения направлений:

- 1 — вдоль волокон (нитей);
- 2 — перпендикулярно нитям в плоскости слоя;
- 3 — перпендикулярно плоскости слоя.

Эти оси называются главными слоями материала.

Однонаправленные композиты представляют собой конгломерат прочных волокон (нитей), расположенных в непрочной или малопрочной матрице. (При изготовлении композита в нем возникают какие-то начальные напряжения, которые здесь не рассматриваются.) У большинства однонаправленных композитов кривые деформирования практически линейны вплоть до разрушения при продольных растяжении и сжатии, поперечном растяжении. В то же время поперечное сжатие и внутрислойный сдвиг композита характеризуются определенной нелинейностью и, следовательно, относительно большой деформацией.

Поверхность (точнее — оболочка) раздела волокна с матрицей имеет очень малую толщину, однако ее роль велика: она обеспечивает структурную целостность композита. Увеличение прочности связи по поверхности увеличивает и прочность композита, но делает его более хрупким.

Будем считать слой разрушенным, когда перестает работать предложенная модель материала. Исследование напряженно-деформированного состояния слоя ограничиваем рамками линейной теории упругости.

Рассмотрим задачу прочности цилиндрической оболочки, нагруженной осевой растягивающей силой P . Оболочка постоянной толщины h состоит из двух слоев с симметричным армированием $\pm\alpha$: в каждом слое ось l составляет угол $+\alpha$ или $-\alpha$ с меридианом оболочки. Расчетная модель композита, которая используется для нахождения растягивающих и сжимающих напряжений, предполагает равномерное «размазывание» нитей каждого слоя по оболочке, которая превращается в слоеный пакет, сохраняющий свою толщину h неизменной:

$$h = \frac{h_c}{2} + 2 \frac{h_c}{4} + 2h_n = h_c + 2h_n,$$

где h_c — общая толщина связующего; h_n — толщина слоя нитей (наполнителя).

Уравнения равновесия элемента цилиндрической оболочки (рис. 2) имеют вид:

$$2T_n \cos^2 \alpha + T_{xc} = T_x, \quad 2T_n \sin^2 \alpha + T_{yc} = 0, \quad T_x = \frac{P}{2\pi R}, \quad (1)$$

где T_n — погонные усилия в нитях одного направления; T_{xc} , T_{yc} — погонные усилия в связующем в меридиональном (ось x) и окружном (y) направлениях оболочки; T_x — погонная растягивающая нагрузка; R — радиус срединной поверхности оболочки.

Уравнения (1) можно представить в такой форме:

$$\frac{\sigma_{xc} h_x}{T_x} = 1 - 2 \frac{T_n}{T_x} \cos^2 \alpha, \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_{yc} h_x}{T_x} = -2 \frac{T_n}{T_x} \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

где σ_{xc} , σ_{yc} — осевые и окружные напряжения в связующем.

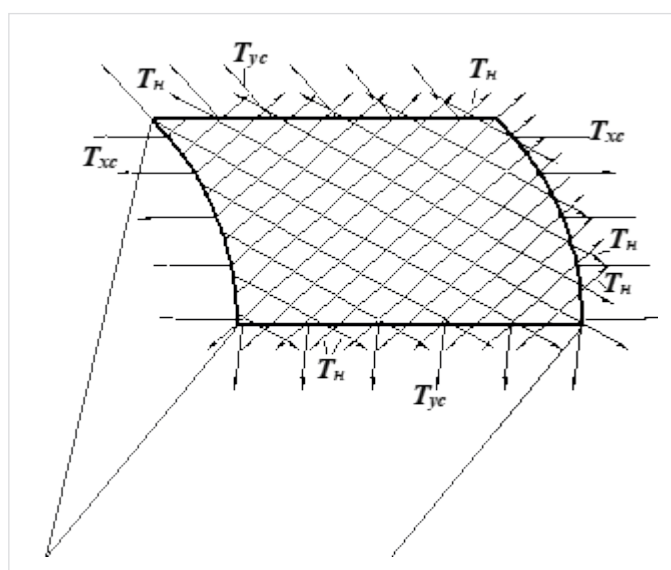


Рис. 2. Усилия в армированной цилиндрической оболочке

Относительные деформации связующего в осевом и окружном направлениях определяются из закона Гука для материала

$$\varepsilon_{xc} = \frac{1}{E_c}(\sigma_{xc} - \mu\sigma_{yc}), \quad \varepsilon_{yc} = \frac{1}{E_c}(\sigma_{yc} - \mu\sigma_{xc}), \quad (4)$$

а относительная деформация нитей определяется выражением

$$\varepsilon_H = \varepsilon_{xc} \cos^2 \alpha + \varepsilon_{yc} \sin^2 \alpha, \quad (5)$$

где E_c, μ — модуль упругости и коэффициент Пуассона связующего.

Расчетная модель строится в предположении равенства нулю коэффициента Пуассона наполнителя (нитей). С учетом зависимостей (2) и (3) относительные деформации (4) записываются в виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xc} &= \frac{T_x}{E_c h_c} \left[1 - 2 \frac{T_H}{T_x} (\cos^2 \alpha - \mu \sin^2 \alpha) \right] \\ \varepsilon_{yc} &= \frac{T_x}{E_c h_c} \left[2 \frac{T_H}{T_x} (\mu \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) - \mu \right] \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнение (5) преобразуем в виде зависимости погонных усилий в нитях от упругих постоянных материалов нити и связующего, угла намотки, объемного содержания компонент:

$$\frac{2T_H}{T_x} = \frac{\cos^2 \alpha - \mu \sin^2 \alpha}{\frac{E_c h_c}{2E_H h_H} + 1 - 2(1 + \mu) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}. \quad (7)$$

Порядок расчета включает следующие этапы.

1. При заданном объемном отношении связующего и наполнителя $h_c/2h_H$ для разных углов намотки α из выражения (7) находится отношение $2T_H/T_x$.

2. Используя выражения (2) и (3), вычисляются относительные осевые и окружные напряжения в связующем.

3. Строятся графики изменений относительных величин

$$\bar{T} = \frac{2T_H}{T_x}, \quad \bar{\sigma}_{xc} = \frac{\sigma_{xc} h_c}{T_x}, \quad \bar{\sigma}_{yc} = \frac{\sigma_{yc} h_c}{T_x},$$

по которым устанавливается вклад составляющих композита в восприятие внешней нагрузки.

Разработанная методика была внедрена в вычислительную программу SAIS [2] которая была опробована в [3–6].

Пример таких графических зависимостей для определенного композиционного волокнистого материала, полученного намоткой, с параметрами: $E_H = 60$ ГПа, $E_c = 6$ ГПа, $\sigma_{BH} = 1$ ГПа, $\sigma_{BC} = 120$ МПа, $\varepsilon_{BH} = 1,66\%$, $\varepsilon_{BC} = 2\%$, $\mu_c = 0,35$; $2h_H = h_c = h/2$, представлен на **рис. 3**.

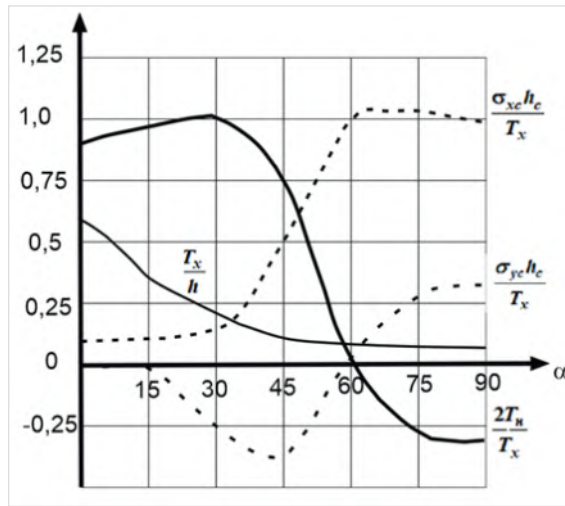


Рис. 3. Зависимости погонного усилия в нити и напряжений в связующем от угла намотки

В рассмотренном подходе считалось известным значение модуля упругости материала нити E_n . Нахождение величины модуля упругости E_n является самостоятельной задачей, которую можно решить на основе, например, эксперимента по растяжению перекрестно армированной цилиндрической оболочки. Прочностные характеристики связующего устанавливаются с помощью испытаний стандартных образцов.

Так, если при растяжении цилиндрической оболочки силой P измерить деформации $\varepsilon_x = \varepsilon_{xc}$ и $\varepsilon_y = \varepsilon_{yc}$, то по формуле (4) можно вычислить модуль упругости материала нитей

$$E_n = \frac{T_x(\cos^2 \alpha - \mu \sin^2 \alpha) - E_c h_c \varepsilon_n}{\varepsilon_n h_n [2 - (1 + \mu) \sin^2 2\alpha]}. \quad (8)$$

Следует иметь в виду, что вычисленный таким образом модуль упругости нити является условным, так как нить в процессе изготовления композитного изделия намоткой пропитывается связующим, вокруг нее образуется так называемый поверхностный слой и т. п. Но в расчете этот модуль может фигурировать в качестве достоверной величины.

Временное сопротивление нитей $\sigma_{вн}$ находится при разрушении вследствие разрыва нитей перекрестно армированной цилиндрической оболочки, нагружаемой растягивающей силой P . Следует использовать оболочку с малыми углами намотки α , так как при малых углах намотки исключается возможное раннее разрушение связующего, когда в нем величина возникающих касательных напряжений (см. ниже) достигнет предельного значения $\tau_{вс}$.

Согласно уравнению равновесия (1)

$$T_n = \frac{T_x - T_{xc}}{2 \cos^2 \alpha} = T_{n, разр}, \quad T_x = \frac{1}{2 \cos^2 \alpha} \left(\frac{P_{разр}}{2\pi R} - T_{xcp} \right), \quad (9)$$

где $P_{разр}$ — значение осевой силы в момент разрушения оболочки; $T_{xcp} = \sigma_{xcp} h_c$ — значение погонной осевой силы, возникающей в связующем в момент разрушения.

Осевые напряжения в связующем в момент разрушения определяются из закона Гука

$$\sigma_{xcp} = \frac{E_c}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{xp} + \mu \varepsilon_{yp}),$$

где ε_{xp} , ε_{yp} — относительные деформации оболочки в момент разрушения.

Вопрос разрушения намотанной оболочки нельзя рассматривать, опираясь на принятую в теории оболочек схему расчета, не учитывающую сдвиговых напряжений, возникающих в поперечных плоскостях (xz) и (yz). На **рис. 4** изображена элементарная ячейка двухслойного композиционного материала оболочки, при деформации которой наблюдается отклонение нитей от первоначального положения на угол $\Delta\alpha$.

Рассматривая деформацию элемента нити (**рис. 4b**), получим

$$ds_1^2 = ds^2 \left[1 + 2 \left(\varepsilon_x \left(\frac{dx}{ds} \right)^2 + \varepsilon_y \left(\frac{dy}{ds} \right)^2 \right) \right],$$

Учитывая соотношения

$$\frac{dx}{ds} = \cos \alpha, \quad \frac{dy}{ds} = \sin \alpha,$$

после преобразований получаем:

$$ds_1 = (1 + \varepsilon_x \cos^2 \alpha + \varepsilon_y \sin^2 \alpha) ds.$$

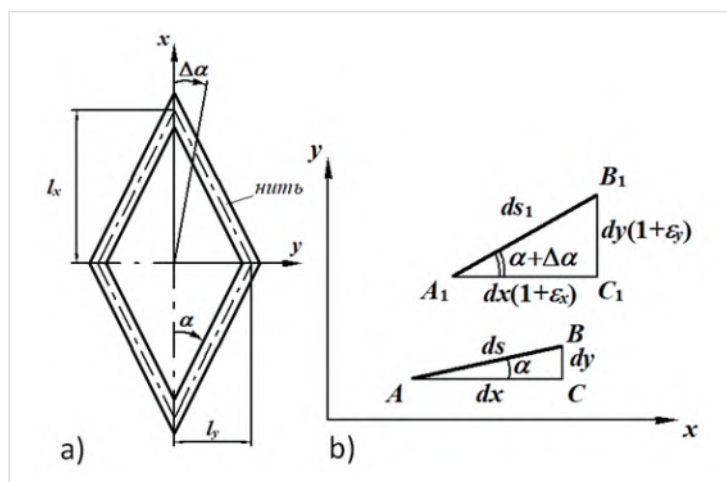


Рис. 4. Элементарная ячейка и деформация элемента нити двухслойного композита

Из геометрии деформированной ячейки следует:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \Delta\alpha) &= \frac{B_1 C_1}{A_1 B_1} = \frac{(1 + \varepsilon_y) dy}{(1 + \varepsilon_x \cos^2 \alpha + \varepsilon_y \sin^2 \alpha) ds} = \\ &= \sin \alpha (1 + \varepsilon_y) (1 - \varepsilon_x \cos^2 \alpha - \varepsilon_y \sin^2 \alpha) = \sin \alpha (1 - \varepsilon_x \cos^2 \alpha - \varepsilon_y \sin^2 \alpha + \varepsilon_y) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}\sin(\alpha + \Delta\alpha) &= \sin\alpha(1 - \varepsilon_x \cos^2\alpha - \varepsilon_y \cos^2\alpha), \\ \Delta\alpha &= (\varepsilon_y - \varepsilon_x) \sin\alpha \cos\alpha.\end{aligned}\quad (10)$$

Наличие угла $\Delta\alpha$ вызывает сдвиги в поперечных плоскостях (xz) и (yz), соответственно деформации сдвига γ_{xz} и γ_{yz} . Наибольшие сдвиговые деформации γ_{xz} и γ_{yz} имеют место в сечениях, наиболее удаленных от центра ячейки (см. рис. 4), где к тому же наименьшее расстояние k между нитями слоев напрямую зависит от процентного соотношения наполнителя и связующего:

$$\gamma_{xz} = 2 \frac{l_y \Delta\alpha}{k}, \quad \gamma_{yz} = l_x \frac{\Delta\alpha}{k/2} = 2 \frac{l_x \Delta\alpha}{k}. \quad (11)$$

В первом приближении можно считать $k = h_c/4$ и постоянным.

Касательные напряжения поперечного сдвига (по закону парности напряжения межслойного сдвига)

$$\tau_{yz} = G_c \gamma_{yz}, \quad \tau_{xz} = G_c \gamma_{xz},$$

определяемые в связующем согласно закону Гука при сдвиге (G_c — модуль сдвига материала связующего), с уменьшением процентного содержания связующего увеличиваются. Существует предельное соотношение, при котором $k = 0$. В этом случае растрескивание связующего начинается в самом начале нагружения, если $\alpha \neq 0$. Если V_H — объем, занимаемый наполнителем, а V — общий объем наполнителя и связующего, то их предельное отношение приблизительно равно $V_H/V = 0,78$.

Разрушение связующего следует оценивать по достижению интенсивности напряжений σ_{ic} величины предела прочности σ_{bc}

$$\sigma_{ic} = \sqrt{\sigma_{xc}^2 - \sigma_{xc} \cdot \sigma_{yc} + \sigma_{yc}^2 + 3(\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} = \sigma_{bc}. \quad (12)$$

Оценим влияние касательных напряжений межслойного сдвига на примере растягиваемой погонными силами T_x двухслойной намотанной цилиндрической оболочки. Для нити примем поперечное сечение в виде эллипса (круговое сечения нити при намотке превращается в эллиптическое) с полуосями $a = 0,36$ мм, $b = 0,27$ мм и площадью поперечного сечения $F_H = 0,314$ мм². Прямоугольное сечение ячейки композита с примыкающим к нити связующим имеет размеры $0,9$ мм $\times$ $0,7$ мм, а расстояние между слоями $k = 0,16$ мм.

Для угла намотки $\alpha = 45^\circ$ получим линейные деформации

$$\varepsilon_x = 0,753 \frac{T_x}{E_c h_c}, \quad \varepsilon_y = -0,56 \frac{T_x}{E_c h_c}.$$

Согласно выражению (11) записываем деформации сдвига в виде:

$$\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 5,37 \frac{T_x}{E_c h_c}.$$

Интенсивность деформаций в нашем случае представляется как

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3} \sqrt{\varepsilon_x^2 - \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y^2 + \frac{3}{4}(\gamma_{xz}^2 + \gamma_{yz}^2)},$$

$$\text{где } \varepsilon_x^2 - \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y^2 = 0,46 \frac{T_x}{E_c h_c}; \quad \gamma_{xz}^2 + \gamma_{yz}^2 = 43 \frac{T_x}{E_c h_c}.$$

Таким образом, вклад сдвиговых деформаций в величину ε_i оказывается на два порядка большим вклада линейных деформаций.

Следовательно, разрушение композита вследствие разрушения связующего в действительности происходит при значениях нагрузки T_x гораздо меньших принятых (см. рис. 3).

Можно отметить следующее. Испытание на растяжение намотанной цилиндрической оболочки позволяет установить свойства составляющих композита и определять несущую способность конструкций из композиционных материалов, анализируя их напряженно-деформированное состояние. При этом не требуется разрабатывать какие-то новые критерии прочности: надежно «работают» известные для изотропного материала критерии.

Подобный структурный анализ вместе с экспериментом объясняет и нелинейности (здесь их не касались) в зависимости величины растягивающей силы от осевой деформации, так как интенсивность напряжений σ_{ic} чувствительна к нелинейной зависимости касательных напряжений τ от деформации сдвига γ связующего.

В дальнейшем можно уточнить полученные оценки предельных напряжений композита, образованного намоткой, учитывая коэффициент Пуассона наполнителя и нелинейность в поведении связующего.

Библиографический список

1. Гольденблат И. И., Коинов В. А. Критерии прочности и пластичности конструкционных материалов. — М.: Машиностроение, 1968. — 192 с.
2. Скопинский В. Н., Берков Н. А., Михайлов В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611624 Stress Analysis in Interesting Shells (SAIS) / В. Н. Скопинский, Н. А. Берков, В. В. Михайлов. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17.02.2011 г.
3. Берков Н. А., Архангельский А. И., Горшунова Т. А., Архангельская М. В., Муханов С. А. Моделирование пластического разрушения цилиндрических сосудов с патрубком под действием внутреннего давления. — Системные технологии. — 2023. — № 4 (49). — С. 45–53.
4. Берков Н. А., Архангельский А. И., Горшунова Т. А., Архангельская М. В. Прочностной анализ пересекающихся композитных оболочек вращения // Системные технологии. — 2022. — № 3 (44). — С. 169–175.
5. Скопинский В. Н., Берков Н. А., Вожова Н. В. Упругопластический анализ напряжений в пересекающихся цилиндрических оболочках, укрепленных накладным кольцом // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 4. С. 14.
6. Skopinsky V. N., Berkov N. A., Vogov R. A. Plastic limit loads for cylindrical shell intersections under combined loading // International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2015. V. 126–127. February–March. P. 8–16.

MATHEMATICAL MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE
OF A CROSS-REINFORCED CYLINDRICAL SHELL UNDER TENSION

N. A. Berkov^{*}
A. I. Arkhangelsky^{*/**}
T. A. Gorshunova^{*}
M. V. Arkhangelskaya^{*/***}

^{*} MIREA — Russian Technological University, Moscow
^{**} Moscow Polytechnic University, Moscow
^{***} Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow

Abstract

For composite materials of a fibrous structure obtained in the manufacture of a composite shell by winding, a mathematical model of the composite shell is proposed, which makes it possible to evaluate the strength properties of the composite. The developed mathematical model is used to assess the strength of a reinforced cylindrical shell loaded with an axial tensile force. This model will be refined in further studies for composites of various structures and properties of components.

The Keywords

*Composite fibrous material,
reinforcement, reinforced
cylindrical shell, strength of the
cylindrical shell.*

Date of receipt in edition

24.11.2024

Date of acceptance for printing

09.12.2024

Ссылка для цитирования:

Н. А. Берков, А. И. Архангельский, Т. А. Горшунова, М. В. Архангельская. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния перекрестно армированной цилиндрической оболочки при растяжении. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 5–14.



УДК 628.3

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_15-26

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Е. С. Гогина ^{*/**}

О. В. Февральских ^{*/**}

А. В. Решетова ^{*}

^{*} Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва

^{**} Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

Аннотация

Дефицит и удорожание питьевой воды, снижение общего количества пресной воды в мире приводит к вопросу о повторном использовании дождевой и талой воды. Поверхностный сток может обеспечить значительный объем воды для хозяйственных нужд. Однако, поверхностный сток также восполняет подземные водные ресурсы. При этом одной из основных задач является обеспечение восполнения водных ресурсов без оказания вредного экологического воздействия на почвы и грунты. В ходе проведенного исследования была проведена оценка влияния поверхностной сточной воды на грунт при естественном ее фильтровании, включающая в себя определение скорости фильтрации, гидравлической проводимости и эффективности удаления загрязнений, а также были изучены основные качественные характеристики поверхностных сточных вод.

Ключевые слова

Очистка сточных вод, фильтрация, почва, поверхностные сточные воды, повторное использование сточных вод.

Дата поступления в редакцию

12.11.2024

Дата принятия к печати

21.11.2024

В настоящее время большинство развитых стран мира придерживаются целей в области устойчивого развития, принятых ООН, которые направлены на достижение лучшего и устойчивого будущего для всего мира. Одной из 17 целей является программа «Чистая вода и санитария», направленная на обеспечение всего населения Земли чистой питьевой водой и безопасной санитарной инфраструктурой [1–4]. Согласно данным ООН, более 840 миллионов человек до сих пор испытывают острую нехватку питьевой воды, 892 миллиона человек не имеют доступа к современным санитарным системам, а 80% всех сточных вод поступают в водные объекты без очистки.

В России на государственном уровне вопросам водохозяйственного комплекса, защите и охране водных ресурсов посвящены сразу два национальных проекта — «Жилье» и «Экология». Программы,

реализуемые в рамках этих проектов, направлены на разработку и внедрение новых передовых технологий как подготовки питьевой воды, так и очистки сточных вод, что должно в конечном итоге привести к повышению уровня жизни и здоровья населения России, а также к защите и сохранению природных ресурсов и биологического разнообразия [5].

Одним из актуальных мировых направлений устойчивого развития в части получения, сохранения чистой воды и санитарии является внедрение систем повторного использования дождевой воды для непитьевого водоснабжения [6 – 9], как, например, эффективное решение «Зелёные крыши» («Green Roof»), основанное на схожести с принципами искусственных водно-болотных угодий, где эффективность очистки в первую очередь достигается за счет физических процессов, таких как осаждение и фильтрация, химических, включая абсорбцию [10 – 11], а также биологических процессов или, например, схем фильтрации дождевой воды с устройством для смыва «первого» дождя, где посредством использования различных типов загрузочного материала происходит очистка самых «грязных» первых миллиметров атмосферных осадков.

Целью данного исследования является изучение характеристик дождевой воды и определение возможности повторного использования поверхностной сточной воды с учетом оценки процессов естественного фильтрования в грунт.

Суть эксперимента заключалась в отборе проб поверхностной сточной воды с водонепроницаемой поверхности (асфальтобетонного покрытия) с магистральных улиц с интенсивным движением транспорта города Москвы и фильтрования через слой загрузочного материала, представленного различным типом грунта, с целью определения влияния как на качественные характеристики профильтрованной воды, так и рассматриваемого грунта с определением скорости фильтрования в процессе его эксплуатации.

Опытная установка (рис. 1) включала в себя: аккумулирующую емкость для равномерной подачи воды, три фильтровальные колонки со слоем загрузочного материала (высота слоя — 100 см) каждая, а также трубопроводы, лотки и запорную арматуру, обеспечивающие функционирование установки в выбранном режиме работы.

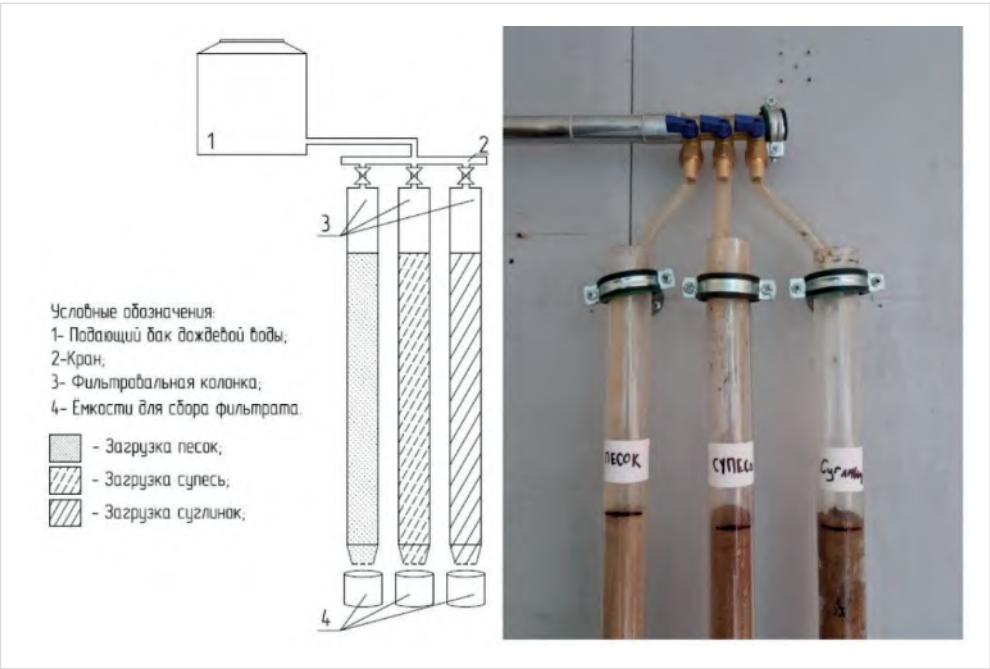


Рис. 1. Экспериментальная установка

Исследование проводилось с использованием следующих видов грунта: песок (1) (сертификат соответствия требованиям нормативным документам — ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» № 0154932), супесь (2) (смесь песка с небольшим количеством глинистых частиц — не нормируется) и суглинок (3) (сертификат соответствия требованиям нормативным документам — ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» № 0080323). Отбор проб поверхностной сточной воды на анализ осуществлялся вручную в летнее время. Данные о проводимых количественных химических анализах и точках отбора проб воды приведены в *табл. 1*.

Таблица 1

Основные контролируемые показатели лабораторной установки

Место отбора проб	Контролируемые показатели
Точка 1 — Регулирующая емкость (исходная поверхностная сточная вода)	1 — ХПК, мг/л 2 — БПК ₅ , мг/л 3 — Взвешенные вещества, мг/л 4 — Азот аммонийный, мг/л 5 — Азот нитратов, мг/л 6 — ПАВ, мг/л 7 — АПАВ, мг/л 8 — Нефтепродукты, мг/л 9 — pH
Точка 2 — Осветленная сточная вода после фильтрования через загрузочный материал	10 — Фосфор фосфатов, мг/л 11 — Марганец, мг/л 12 — Алюминий, мг/л 13 — Железо, мг/л 14 — Никель, мг/л 15 — Медь, мг/л 16 — Хром общий, мг/л 17 — Цинк, мг/л 18 — Бенз(а)пирен, мг/л

Условия проведения эксперимента были максимально приближены к реальным, отбор пробы поверхностной сточной воды и её подача на опытную установку осуществлялись в день выпадения атмосферных осадков.

Предварительно перед первой подачей поверхностной сточной воды загрузочный материал в фильтровальных колонках был смочен небольшим объемом дистиллированной воды — проведение прямой промывки с целью уплотнения слоя засыпки, разрыхленной после механической укладки, для предотвращения «эффекта туннелирования».

Проведение оценки естественной фильтрации грунтов включало в себя определение скорости фильтрования, гидравлической проводимости и эффективности удаления загрязнений из поверхностной сточной воды.

В ходе проведения первой подачи поверхностной сточной воды на фильтровальные колонки был зафиксирован следующий результат:

- загрузочный материал, представленный суглинком, обладает водоупорными свойствами и не пригоден для проведения процесса фильтрования, вследствие чего можно сделать вывод о том, что поверхностная сточная вода, попадая на рельеф, представленный данным типом грунта, будет растекаться по нему до слоёв почвы, относящихся к водопроницаемому типу. В ходе последующего наблюдения в течение нескольких недель ситуация не изменялась, уменьшения объёма стоячей воды в фильтровальной колонке с данным типом загрузочного материала про-

исходило лишь в результате естественного процесса испарения воды. Проба осветленной поверхностной сточной воды на протяжении всего периода проведения эксперимента получена не была;

- эффективность очистки по рассматриваемым показателям была примерно одинаковой для каждого типа загрузочного материала, за исключением некоторых показателей, что представлено в **табл. 2**. Оранжевым цветом в таблице выделены показатели, отличающиеся более чем на 5% относительно друг друга. В ходе дальнейшего проведения эксперимента ситуация изменилась;

Таблица 2

Изменение основных контролируемых показателей при первой подаче воды на опытную установку

Показатель	Ед. изм.	Поверхностная сточная вода	Профильтрованная сточная вода через слой загрузочного материала — песок (1)	Профильтрованная сточная вода через слой загрузочного материала — супесь (2)	Эффективность очистки, % для образца — песок (1)	Эффективность очистки, % для образца — супесь (2)
ХПК	мгО ₂ /л	26,8	5	5	81,3	81,3
БПК ₅	мгО ₂ /л	5,4	1	1	81,5	81,5
Взвешенные вещества	мг/л	13,01	0,5	0,6	96,2	95,4
Азот аммонийный	мг/л	3,3	2,4	2,2	27,3	33,3
Азот нитратов	мг/л	0,2	0,3	0,3	–	–
ПАВ	мг/л	<6	<6	<6	0	0
Нефтепродукты	мг/л	21,06	3,12	8,4	85,2	60,1
рН	мг/л	8,01	7,98	7,92	–	–
Фосфор фосфатов	мг/л	0,18	0,03	0,06	83,3	66,7
Марганец	мг/л	0,144	0,001	0,001	99,3	99,3
Алюминий	мг/л	0,084	0,001	0,005	98,8	94,05
Железо	мг/л	0,223	0,691	0,624	–	–
Никель	мг/л	0,052	0,001	0,001	98,1	98,1
Медь	мг/л	0,014	0,007	0,008	50	42,8
Хром общий	мг/л	0,003	0,002	0,002	33,3	43,3
Цинк	мг/л	0,07	0,13	0,09	–	–
Бенз(а)пирен	мг/л	0,000019	0,0000083	–	56,3	–

- произошло вторичное загрязнение профильтрованной сточной воды по некоторым показателям, вероятно, как результат «смыва» загрязнений с загрузочного материала в процессе фильтрования. В ходе дальнейшего проведения исследования вторичное загрязнение профильтрованных проб воды в части металлов было выявлено в единичных случаях. Так например в некоторых испытаниях — концентрация хрома на входе $C_{\text{хром.вх}} = 0,001$ мг/л, на выходе $C_{\text{хром.вых}} = 0,003$ мг/л или концентрация никеля на входе $C_{\text{никель.вх}} = 0,0029$ мг/л, на выходе $C_{\text{никель.вых}} = 0,004$ мг/л. Предполагается, что это скорее исключение, как следствие

«проскока» загрязнения в потоке воды, так как в подавляющем большинстве в осветленной воде не было зафиксировано вторичное загрязнение по основным контролируемым металлам. Концентрации металлов на входе в опытную установку и после фильтрования через слой загрузочного материала — песок (1) и супесь (2) на протяжении всего проведения исследования представлены в *табл. 3*.

Таблица 3

Усредненные значения основных контролируемых показателей
(металлы) в ходе проведения исследования

Показатель	Ед. изм.	Усредненное значение поверхностных сточных вод	Усредненное значение профильтрованной сточной воды через слой загрузочного материала — песок (1)	Усредненное значение профильтрованной сточной воды через слой загрузочного материала — супесь (2)
Марганец	мг/л	0,148	0,022	0,005
Алюминий	мг/л	0,584	0,018	0,006
Железо	мг/л	1,864	0,136	0,137
Никель	мг/л	0,009	0,005	0,001
Медь	мг/л	0,014	0,005	0,004
Хром общий	мг/л	0,016	0,007	0,007
Цинк	мг/л	0,163	0,038	0,037

В ходе дальнейшего проведения эксперимента были зафиксированы резкие колебания эффективности очистки, %, (*рис. 2*) у фильтровальной колонки со слоем загрузочного материала — супесь относительно песка по таким показателям как ХПК, мг/л. Так, например, в некоторых испытаниях концентрация химического потребления кислорода на входе в опытную установку составила $C_{ХПК.вх} = 421$ мг/л, а профильтрованной через слой загрузочного материала песок — $C_{ХПК.вых.песок} = 34,9$ мг/л, через супесь — $C_{ХПК.супесь.вых} = 144$ мг/л, разница эффективности очистки между двумя рассматриваемыми образцами — 25,9% или концентрация ХПК подаваемой на установку поверхностной сточной воды составила $C_{ХПК.вх} = 415$ мг/л, а осветленной воды после фильтровальной колонки с песком $C_{ХПК.вых.песок} = 51,9$ мг/л, с загрузочным материалом представленным супесью $C_{ХПК.супесь.вых} = 143$ мг/л, падение эффективности очистки составило — 22%.

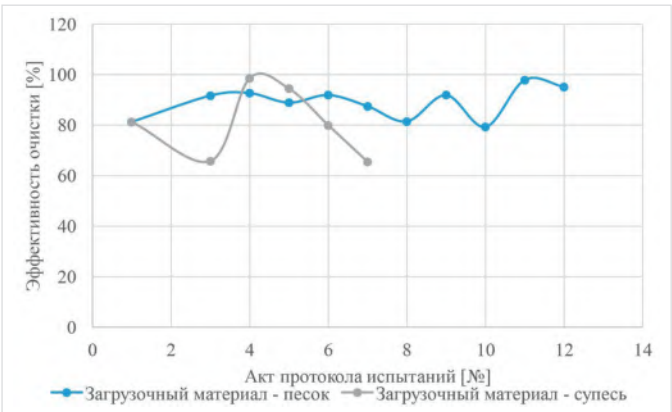


Рис. 2. Влияние продолжительности проведения эксперимента на величину эффективности очистки по ХПК, %.

По мере проведения исследования в результате снижения скорости фильтрования поверхностная сточная вода, профильтрованная через слой загрузочного материала — супесь, была не получена. Вероятно, это связано с коагуляцией свободного пространства между частицами грунта, то есть с возрастанием оказываемого сопротивления процессу фильтрования.

В определенный момент коагуляция стала критической для работы фильтровальной колонки и фильтрование пробы перестало осуществляться.

Усредненные данные по эффективности очистки поверхностной сточной воды после фильтрования показаны в *табл. 4* и на *рис. 3*.

Таблица 4

Изменение основных контролируемых показателей при первой подаче воды на опытную установку

Средняя эффективность очистки по показателю	Ед. изм.	Загрузочный материал — песок (1)	Загрузочный материал — супесь (2)
ХПК	%	89	81
БПК ₅	%	77	78
Взвешенные вещества	%	98	98
Азот аммонийный	%	67	47
Азот нитратов	%	40	67
ПАВ	%	–	–
АПАВ	%	33	27
Нефтепродукты	%	97	91
рН	%	–	–
Фосфор фосфатов	%	68	71
Марганец	%	83	97
Алюминий	%	77	95
Железо	%	90	99
Никель	%	42	82
Медь	%	67	72
Хром общий	%	37	70
Цинк	%	72	87
Бенз(а)пирен	%	56	–

Для разных типов загрузочного материала фильтровальных колонок средняя эффективность для рассматриваемых показателей оказалась примерно одинаковой, расхождение более 20% было выявлено для — азот нитратов (27%), никеля (40%), хрома общего (33%). Более низкую эффективность очистки показал загрузочный материал, представленный песком. Вероятно, это связано с оказываемым сопротивлением процессу фильтрации, то есть меньшей плотностью прилегания частиц материала друг к другу, более свободным пространством между крупинками образца песка относительно супеси.

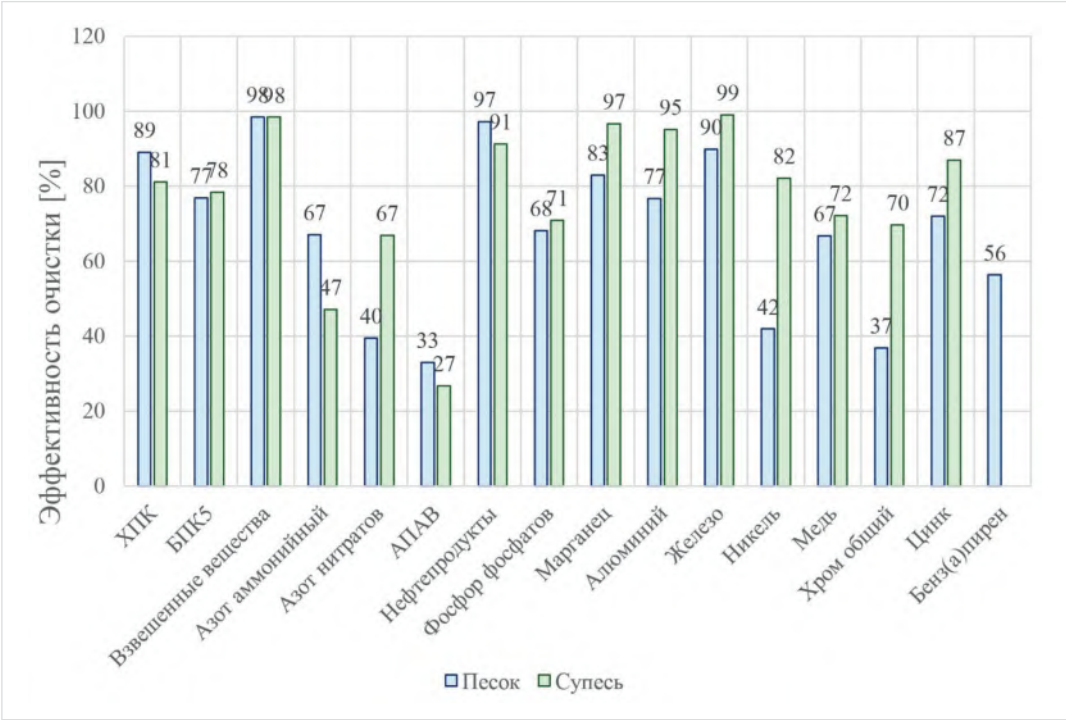


Рис. 3. Средняя эффективность очистки по основным контролируемым показателям

Качество грузозачного материала также было оценено до и после проведения исследования. Результаты количественного химического анализа грунтов показаны в **табл. 5**.

Таблица 5

Изменение основных контролируемых показателей
в грунте в ходе проведения исследования

Сведения о пробе		Песок (1) исходный	Супесь (2) исходная	Супесь (2) после фильтрования из фильтровальной колонки	Песок (1) после фильтрования из фильтровальной колонки	Значения ПДК по СанПиН 1.2.3685-21
Показатель	Ед. изм.					
Массовая доля аммонийного азота	мг/кг	2	4,2	24	2	–
Массовая доля нитратного азота	мг/кг	3	3,7	3	3	29,4
АПАВ	мг/кг	0,2	0,2	0,2	0,5	–
Массовая доля нефтепродуктов	мг/кг	5	10,6	5	29,8	–
Водородный показатель водной вытяжки	ед. рН	9,02	7,72	7,53	9,05	–
Массовая доля подвижных соединений фосфора в пересчете на P ₂ O ₅	мг/кг	700	253,73	313,28	553,31	–

Массовая доля марганца	мг/кг	68	54	151	28	1500
Обменный (подвижный) алюминий	ммоль/100 г	0,5	0,5	0,5	0,63	–
Железо общее (подвижна форма)	мг/кг	108,1	39,8	156,1	28,6	–
Массовая доля никеля	мг/кг	6,6	8,8	10	9,1	20
Массовая доля меди	мг/кг	20	16	21	26	33
Массовая доля хрома	мг/кг	1,2	1,7	3,2	1,6	
Массовая доля цинка	мг/кг	34	33	33	33	55
Бенз(а)пирен	мг/кг	0,001	0,001	0,001	0,001	0,02

Можно заметить, что по результатам проведенного эксперимента основные контролируемые показатели в грунте не превысили предельно-допустимую концентрацию (ПДК) по СанПиНу 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [12].

Эффективность работы грунта в качестве дренажа и удаления загрязнений из поверхностной сточной воды напрямую зависит от скорости фильтрования. Она определяется как объём воды, проходящий через определённый слой фильтрующего материала (например, песка) за единицу времени. В ходе проведенного исследования были зафиксированы следующие результаты по рассматриваемому параметру (табл. 6).

Таблица 6

Изменение скорости фильтрации для загрузочного материала, представленного разным типом грунта

Цикл фильтрования	Песок		Супесь		Суглинок	
	Время фильтрования, с	Скорость фильтрования, песок (м/с)	Время фильтрования, с	Скорость фильтрования, супесь (м/с)	Время фильтрования, с	Скорость фильтрования, супесь (м/с)
1	571	0,00125	3180	0,000225	кольматация грунта	0,00000
2	595	0,00120	26600	0,000027	–	–
3	649	0,00110	69800	0,000010	–	–
4	714	0,00100	87200	0,000008	–	–
5	840	0,00085	97400	0,000007	–	–
6	1020	0,00070	кольматация грунта	0,00000	–	–
7	1786	0,00040	–	–	–	–
8	1786	0,00040	–	–	–	–
9	2463	0,00029	–	–	–	–
10	2747	0,00026	–	–	–	–
11	2755	0,00026	–	–	–	–
Снижение скорости фильтрования, %	79,3		–		–	

В результате были построены графики изменения скорости фильтрования в зависимости от циклов фильтрования для загрузочных материалов, представленных песком и супесью (рис. 4 и рис. 5).

При фильтровании поверхностной сточной воды через загрузочный материал песок в начальные циклы снижение скорости происходит медленно, а с 4-го цикла начинается заметное снижение, что отражает накопление загрязняющих веществ и уменьшение пористости. На 9-м цикле скорость фильтрования достигает конечного значения в 0,00029 м/с и остаётся неизменной до конца исследования (0,00026 м/с). При этом после 11 цикла фильтрования кольматация загрузочного материала не произошла.

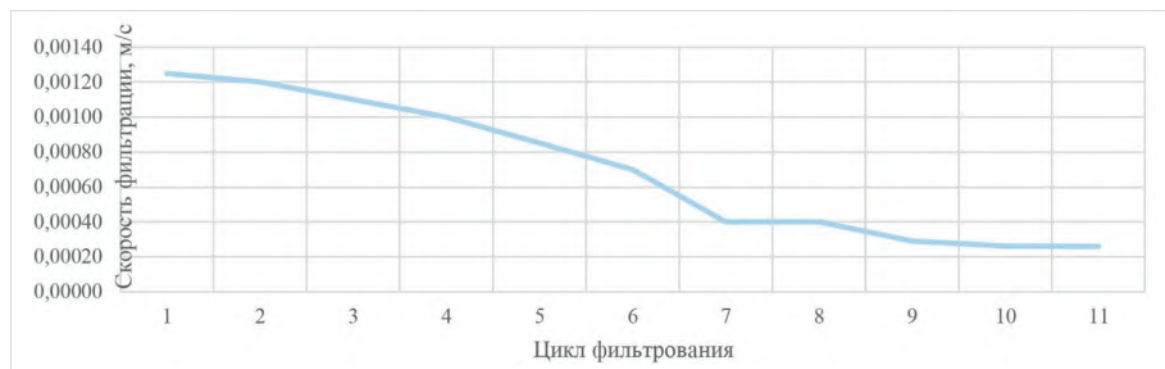


Рис. 4. Изменение скорости фильтрования (загрузочный материал — песок)

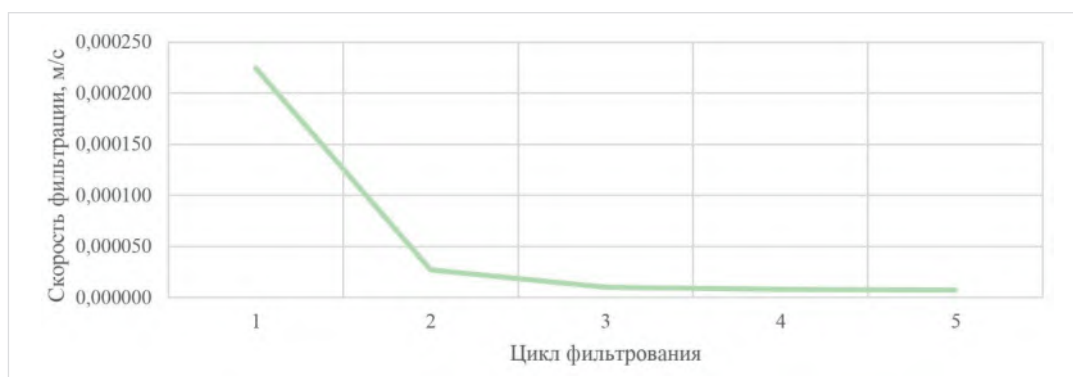


Рис. 5. Изменение скорости фильтрования (загрузочный материал — супесь)

При применении супеси в качестве загрузочного материала скорость фильтрования также снижается, но и изначально наблюдались более низкие значения по сравнению с песком, так как супесь имеет меньшую проницаемость. Начальная скорость составляет 0,000225 м/с и снижается более резко, начиная после 1-го цикла, вплоть до полного прекращения фильтрования на 6-м цикле. Это отражает более низкую проницаемость супеси и её более быстрое загрязнение.

Каждый новый цикл подразумевает накопление мелких частиц, масел и других загрязнителей из поверхностной сточной воды, что приводит к снижению пористости материалов и увеличению сопротивления фильтрования.

Гидравлическая проводимость характеризует способность грунта проводить воду при постоянном или переменном напоре. Это важный параметр при проектировании дренажных и фильтрационных систем, поскольку он позволяет предсказать, как изменится проницаемость грунта с течением времени. В условиях постоянного загрязнения, как это происходит при фильтровании поверхностной сточной воды с автодорог, гидравлическая проводимость может снижаться из-за колюматации — процесса засорения пор загрязняющими веществами. В ходе проведения исследования были получены следующие результаты для рассматриваемого технологического показателя (*табл. 7*).

Таблица 7

Изменение гидравлической проводимости для загрузочного материала, представленного разным типом грунта

Цикл фильтрования	Гидравлическая проводимость, песок, см/с	Гидравлическая проводимость, супесь, см/с
1	0,639	0,220
2	0,613	0,026
3	0,562	0,010
4	0,511	0,008
5	0,434	0,007
6	0,358	–
7	0,204	–
8	0,204	–
9	0,148	–
10	0,133	–
11	0,132	–
Изменение, %	79,3	96,7

Для чистого песка гидравлическая проводимость обычно варьируется от 0,1 см/с до 1 см/с [13–14]. Это зависит от крупности песка: более крупные пески имеют более высокую гидравлическую проводимость. Для супесей гидравлическая проводимость значительно ниже и варьируется от 0,001 до 0,1 см/с, в зависимости от содержания глинистых частиц.

В соответствии с *табл. 7* гидравлическая проводимость песка начинается с 0,639 см/с и постепенно снижается до 0,132 см/с к 11-му циклу.

Для супеси начальные значения заметно ниже: 0,220 см/с на первом цикле, что затем значительно уменьшается уже ко второму циклу (0,026 см/с) и практически прекращается после четвёртого цикла.

Эти значения вполне соответствуют типичным характеристикам песка и супеси, однако их резкое снижение может указывать на процессы колюматации, что приводит к снижению проницаемости.

Если рассмотреть динамику изменения фильтрования через песок и супесь на основании представленных данных, можно сделать следующие выводы:

- песок демонстрирует более стабильную проводимость на начальных этапах фильтрации, что указывает на его высокую проницаемость и меньшую склонность к колюматации на ранних циклах. Однако его проводимость падает, что свидетельствует о постепенном загрязнении грунта;

- супесь имеет значительно меньшую гидравлическую проводимость, что видно из более низкой скорости фильтрации. Засорение пор в супеси происходит гораздо быстрее, что приводит к полному прекращению фильтрации уже на 6-м цикле.

По результатам проведенного исследования изучены основные качественные характеристики поверхностных сточных вод при фильтрации в естественных условиях, а также проведена оценка естественной фильтрации грунта, включающая в себя определение скорости фильтрации, гидравлической проводимости и эффективности удаления загрязнений при помощи фильтрации пробы через слой загрузочного материала. Получены количественные характеристики поверхностной сточной воды после фильтрации, а также проведена оценка качества грунта. Показана возможность вторичного применения профильтрованной поверхностной сточной воды, а также минимальное негативное воздействие на качество грунтовых вод. Качество грунтов при этом сохранено в нормируемых пределах. Представленные решения соответствуют критериям «зеленого» строительства и помогают в достижении целей устойчивого развития.

Библиографический список

1. Организация объединенных наций [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/17-goals-to-transform-our-world>. (дата обращения: 13.09.2024).
2. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.
3. Хургин Р. Е., Кулагина А. С. Современный взгляд на водопотребление городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 62 – 65.
4. Синянский И. А., Матвеев Д. А., Джангидзе З. У. К вопросу о необходимости модернизации систем водоснабжения и водоотведения республики Чад // Системные технологии. 2024. № 2 (51). С. 57 – 61.
5. Национальные проекты России [Электронный ресурс]. URL: <https://национальныепроекты.рф/projects>. (дата обращения: 13.09.2024).
6. Imteaz, M., Karki, R., Hossain, I., Karim, M., 2017. Climatic and spatial variabilities of potential rainwater savings and economic benefits for Kathmandu valley. International Journal of Hydrology Science and Technology 7 (3), 213 – 227. DOI: 10.1504/IJHST.2017.086942.
7. Hofman-Caris R. et al. Rainwater harvesting for drinking water production: a sustainable and cost-effective solution in The Netherlands? // Water. 11. 1 – 16. DOI: 10.3390/w11030511.
8. Cook, S., Sharma, A., Chong, M., 2013. Performance analysis of a communal residential rainwater system for potable supply: a case study in Brisbane, Australia. Water Resour. Manag. 27 (14), 4865 – 4876. DOI: 10.1007/s11269-013-0443-8.
9. Решетова, А. В., Гульшин И. А. 2022. Анализ применимости дождевой воды для непитьевого водоснабжения в России // Строительство — формирование среды жизнедеятельности: Сборник материалов семинара молодых учёных XXV Международной научной конференции. — С. 97 – 100. — EDN LWYWXK.
10. Advent J., Luthfi A., Idham M., Yohanes P., Kurniawan A., Chadirin Y., 2024. Analysis of Rainwater and Runoff Water Quality on Vegetated and Unvegetated Green Roof. BIO Web of Conferences. 123. 04004. DOI: 10.1051/bioconf/202412304004.

11. Kravchenko M., Tkachenko T. 2024. Calculation of the ecological and economic effect of collecting rainwater with «green» roofs. Environmental safety and natural resources. 49. 34 – 48. DOI: 10.32347/2411-4049.2024.1.34-48.

12. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

13. Goodarzi, M. R., Vazirian, M., Niazkar, M. 2024. Hydraulic Con-ductivity Estimation: Comparison of Empirical Formulas Based on New La-boratory Experiments. Water 2024, 16, 1854. DOI: 10.3390/w16131854.

14. Hwang, H.-T., Jeon, S.-W., Suleiman, A. A., Lee, K.-K. 2017. Comparison of Saturated Hydraulic Conductivity Estimated by Three Differ-ent Methods. Water 2017, 9, 942. DOI: 10.3390/w9120942.

RESEARCH OF THE PROCESS OF FILTRATION
OF STORM WATER IN NATURAL CONDITIONS

E. S. Gogina^{*/**}
O. V. Fevralskih^{*/**}
A. V. Reshetova^{*}

^{*} Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Moscow
^{**} Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), Moscow

Abstract

The shortage and rise in the cost of drinking water, the decrease in the total amount of fresh water in the world leads to the question of the reuse of rain and melt water. Storm water can provide a significant amount of water for household needs. However, storm water also replenishes groundwater resources. At the same time, one of the main tasks is to ensure the replenishment of water resources without having a harmful environmental impact on soils and grounds. In the course of the research, the effect of storm water on the soil during its natural filtration was assessed, including the determination of filtration rate, hydraulic conductivity and contaminant removal efficiency, and the main qualitative characteristics of storm water were studied.

The Keywords

Wastewater treatment, filtration, soil, surface runoff, wastewater reuse.

Date of receipt in edition

12.11.2024

Date of acceptance for printing

21.11.2024

Ссылка для цитирования:

Е. С. Гогина, О.В. Февральских, А.В. Решетова. Исследование процесса фильтрации поверхностных сточных вод в естественных условиях. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 15 – 26.



УДК 628

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_27-31

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В СОВЕТСКИЙ ПЕРИОД (1922 – 1947 ГГ.)

И. И. Павлинова *

И. К. Дмитриев **

Д. А. Ткаченко ***

* АО «Мосводоканалстройтрест», г. Москва

** Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва

*** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

В статье приводится информация по становлению и развитию систем водоснабжения и водоотведения в советский период времени с 1922 по 1947 годы. Было выяснено, что за это время произошли значительные изменения в области водопроводно-канализационного хозяйства, что позволило улучшить качество жизни людей в городах и населенных пунктах страны. Принципиальным отличием от практики прошлых лет стало принятое в стране комплексное решение вопросов водоснабжения и водоотведения, которое широко поддерживалось правительством на всех этапах развития. В области эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений в числе первоочередных задач выходит охрана источников и других естественных водоемов от загрязнений и истощений. Разрабатывались новые методы очистки природных и сточных вод. Достижения в исследуемый период времени оказали огромное влияние на развитие систем водоснабжения и водоотведения в последующие годы.

Ключевые слова

Водоснабжение, водоотведение, природная вода, сточная вода, очистные сооружения, трубопровод, водонапорная башня, насосная станция.

Дата поступления в редакцию

29.11.2024

Дата принятия к печати

13.12.2024

За первые 25 лет существования советского государства (1922 – 1947 гг.) водопотребление в городах увеличилось в 7 раз, а отведение сточных вод — в 19 раз [1 – 3]. Рост коммунальных систем водоснабжения и канализации происходил в условиях огромного прироста городского населения, причем рост водопотребления все время обгонял темп роста населения: за 1922 – 1928 гг. — в 1,1 раза; за 1928 – 1932 гг. — в 1,65 раза; за 1933 – 1937 гг. — в 2,4 раза и за 1938 – 1947 гг. — почти в 4 раза. Пропускная способность городских канализационных сетей достигла 64 % к суточной подаче воды городскими водопроводами против 24%

в царской России. Таким образом, в значительной мере стала изживаться диспропорция между развитием водоснабжения и канализации.

За годы советского периода суммарная подача воды промышленными водопроводами выросла в 12 раз, а количество воды, подаваемое всеми водопроводами страны, стала в 11 раз больше, чем в 1917 г.

Принципиальным отличием от дореволюционной практики стало принятое в стране комплексное решение вопросов водоснабжения и водоотведения [4].

Огромную роль в упорядочении и повышении требований к качеству водопроводно-канализационных сооружений стало принятое в годы советского периода государственное нормирование в виде обязательных ГОСТ, технических условий, норм и различного рода указаний [5–6].

За период с 1922 по 1947 гг. неизмеримо выросла научно-исследовательская работа в специально созданных научно-исследовательских учреждениях и в вузах. Результаты научных исследований Академии коммунального хозяйства, Института ВОДГЕО и др. оказали большое влияние на развитие новых методов очистки питьевой воды и очистки сточных вод, на внедрение автоматики, на усовершенствование расчета сооружений и т. д.

Были созданы крупные проектные организации, позволившие перейти от прежних кустарных и полукустарных приемов к индустриальным методам проектирования. Эти своего рода фабрики проектов, наряду с борьбой за качество, производительность труда и снижение стоимости проектирования, сумели содействовать внедрению современных технических новинок, создавая стандартные и типовые чертежи модернизированных сооружений, активизируя технические архивы, создавая альбомы лучших чертежей разных сооружений, широко используя рациональный и обоснованный подход к решению проблем в сфере водоснабжения и водоотведения.

Были организованы мощные специализированные тресты для строительства водопроводно-канализационных сооружений, располагающие кадрами квалифицированных специалистов и рабочих, оснащенные парками строительных машин, механизмов и грузовым автотранспортом. Суммарный объем капиталовложений в водопроводно-канализационное строительство за эти 25 лет достиг порядка 12 млрд. руб.

В области эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений в числе первоочередных задач выходит охрана источников и других естественных водоемов от загрязнений и истощений [7]. Установлены обязательные зоны санитарной охраны. Характер сооружений для очистки сточных вод согласуется с кислородным режимом и особенностями водоемов, в которые производится спуск стоков. За качеством питьевой воды проводились систематические наблюдения в специализированных лабораториях.

Была проделана огромная работа по подготовке кадров инженеров, техников, мастеров, бригадиров и других квалифицированных работников. До 1917 года факультетов по подготовке специалистов в области водоснабжения и канализации в вузах вообще не было [8]. В Российской империи по вопросам водоснабжения и канализации издавалось небольшое количество книг, а за период с 1922 г. по 1947 г. было напечатано уже несколько тысяч книг, монографий и брошюр по водопроводно-канализационному делу не только на русском, но и на других языках народов, населяющих нашу страну.

Необходимо отметить большую роль инженерно-технической общественности, в первую очередь Всесоюзного научного инженерно-технического общества водоснабжения и санитарной техники (ВНИТО водоснабжения и санитарной техники). Создание такой организации облегчило взаимодействие и обмен опытом среди специалистов-инженеров и других кадров различных отраслей народного хозяйства.

Перечисленные выше грандиозные организационно-технические мероприятия, осуществленные по указанию правительства, привели к высоким качественным достижениям и определили развитие технического прогресса в области водоснабжения и водоотведения.

Устройство крупных водопроводов потребовало широкого использования открытых источников водоснабжения. Это вызвало появление новых конструкций береговых водозаборных сооружений, оснащенных современным оборудованием. Советская техника выработала ряд специальных водозаборов для шугоносных рек, для рек с малыми глубинами, для горных рек, для захвата подрусовых вод и т. д. Был осуществлен переход водоподъемных установок на электронасосные агрегаты. Питание электроэнергией стало производиться от двух независимых источников. Выросла мощность насосных станций городов и населенных пунктов. Для агрегатов большой мощности стали применяться синхронные электромоторы. Ряд станций получили полуавтоматическое и автоматическое управление.

В области очистки питьевой воды был осуществлен переход на скорые безмешалочные фильтры, проделаны большие работы по химизации очистки воды, по улучшению и интенсификации технологических процессов и по исследованию наиболее совершенных методов. Мощные котельные установки, работающие на высоких давлениях, потребовали совершенных умягчительных устройств. Был освоен глауконитовый способ умягчения воды.

В 1937 году была построена крупнейшая на тот момент в Европе Сталинская станция Московского водопровода (с 1961 года — Восточная водопроводная станция), а также ряд других водопроводных станций в крупных городах нашей страны.

Водоводы в те годы строили главным образом из стальных труб со сварными стыками. Был пройден большой путь технического освоения сварки, испытания стыков, нанесения защитной изоляции. Для определения коррозионной активности грунтов стали использоваться новейшие методы электроразведки, закладка контрольных стальных пластинок и т. д. Организовали производство на специальных заводах железобетонных труб. Стали успешно практиковать применение непрерывных деревянных трубопроводов из клепки. Для разводящей сети использовали не только чугунные трубы, но и асбестоцементные, производство которых освоили на новых заводах. Вместо свинцовой заделки стыков широко была внедрена цементная, испытаны другие виды заделки стыковых соединений.

Вместо трудоемких, громоздких кирпичных водонапорных башен царской России стали использовать для промышленных водопроводов железобетонные башни, прошедшие эволюционный путь развития от сооружений каркасного типа до стаканчатых конструкций, возводимых в подвижной опалубке. Еще более широкое распространение получили железобетонные подземные резервуары, совершенно вытеснившие прежние кирпичные или бутовые резервуары. Типизация железобетонных резервуаров позволила строить их серийно на водопроводах.

Большая работа была проделана по созданию оборотных систем водоснабжения, давших возможность уменьшить размеры водопроводно-канализационных сооружений и снизить стоимость их постройки и эксплуатации. В ряде случаев расход свежей воды удалось снизить до 5–7 % от общего объема водопотребления. Вместе с тем, развитие оборотных систем привело к строительству брызгальных бассейнов и других сооружений.

В части канализационной сети были разработаны новые и рациональные методы расчета. Были усовершенствованы приемы прочистки труб и коллекторов, разработаны мероприятия по борьбе с бактериальной коррозией каналов. Советская техника того времени выработала приемы устройств больших коллекторов щитовой проходкой с креплением стенок бетонными тубингами. Кроме керамических труб для строительства канализационных сетей стали широко применяться асбестоцементные, бетонные и железобетонные трубы.

К числу важных технических достижений тех лет следует отнести разработку способов утилизации отходов при очистке сточных вод, а именно использование: осадка и очищенной жидкости для удобрения; прессованного осадка — в качестве твердого топлива; метана из метантенков — для отопления и в качестве горючего для двигателей внутреннего сгорания с отбором углекислоты; жиров — для приготовления технических смазочных средств и активного ила — в качестве удобрения, корма для скота и домашней птицы, изготовления пластмасс и ингибиторов.

Была освоена новая технология интенсивных методов очистки бытовых сточных вод [9].

Проделали серьезную работу по научному обоснованию технологии очистки сточных вод. Были изучены основные процессы по всем сооружениям, в частности — явления выделения песка, осаждения взвеси, флотации частиц осадка, метанового брожения при мезо- и термофильных условиях, свойства активного ила и его химического состава, условий растворения и поглощения кислорода и др. Произведена характеристика обрабатываемого сырья сточной жидкости и осадка с точки зрения санитарной и технологической. Разработали схемы и методы контрольных химических анализов и автоматических приемов оперативного контроля.

В качестве заключения следует отметить, что за 25-летний период времени с 1922 по 1947 гг. была проделана большая работа, позволившая разрешить основные научные, инженерные и санитарные задачи в области водоснабжения и водоотведения. Это дало возможность в последующие годы еще решительнее использовать научно-технический прогресс для развития водопроводно-канализационных сооружений.

Библиографический список

1. Воронов Ю. В., Пугачев Е. А. История отрасли и введение в специальность «Водоснабжение и водоотведение»: учебник. — М.: Издательство АСВ, 2012. 392 с.
2. Чернов В. А. Водоснабжение дальневосточных городов в конце XIX – начале XX вв. // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Научное (непериодическое) электронное издание. Под общей редакцией А. И. Вострецова. 2017. С. 122 – 127.
3. Орлов Е. В., Квитка Л. А., Синянский И. А. История строительства канала имени Москвы // Журнал исторических исследований. 2018. Т. 3. № 1. С. 25 – 30.
4. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.
5. Орлов Е. В., Проплеткина Д. Г. История развития систем городского водоснабжения в России (на примере города Москвы) // Журнал исторических исследований. 2018. Т. 3. № 3. С. 24 – 28.
6. Хургин Р. Е., Кулагина А. С. Современный взгляд на водопотребление городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 62 – 65.
7. Порошин В. Н. Становление и развитие волжской системы водоснабжения Москвы – гарантия жизнеобеспечения мегаполиса // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 9-1. С. 9 – 15.
8. Волков А. А., Гогина Е. С., Орлов В. А., Чижик К. И. Водоснабжение и водоотведение: вчера, сегодня, завтра // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 9. С. 4 – 9.
9. Павлинова И. И., Орлов Е. В., Шипков О. И., Синянский И. А., Шелапутина Н. А. С. В. Яковлев и НИИ ВОДГЕО: годы плодотворной работы // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 4. С. 4 – 7.

FORMATION AND DEVELOPMENT OF WATER SUPPLY AND SANITATION SYSTEMS IN THE SOVIET PERIOD (1922 – 1947)

I. I. Pavlinova^{*}
I. K. Dmitriev^{**}
D. A. Tkachenko^{***}

^{*} JSC “Mosvodokanalstroytrest”, Moscow

^{**} State University Of Land Use Planning (SULUP), Moscow

^{***} Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

The article provides information on the formation and development of water supply and sanitation systems in the Soviet period from 1922 to 1947. It was found out that during this time there have been significant changes in the field of water supply and sewerage, which has improved the quality of life of people in cities and towns of the country. A fundamental difference from the practice of previous years was the comprehensive solution of water supply and sanitation issues adopted in the country, which was widely supported by the government at all stages of development. In the field of operation of water supply and sewerage facilities, the protection of sources and other natural reservoirs from pollution and depletion is among the priorities. New methods of natural and wastewater treatment have been developed. The achievements in the time period under study had a huge impact on the development of water supply and sanitation systems in subsequent years.

The Keywords

Water supply, sanitation, natural water, wastewater, sewage treatment plants, pipeline, water tower, pumping station.

Date of receipt in edition

29.11.2024

Date of acceptance for printing

13.12.2024

Ссылка для цитирования:

И. И. Павлинова, И. К. Дмитриев, Д. А. Ткаченко. Становление и развитие систем водоснабжения и водоотведения в советский период (1922 – 1947 гг.). — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 27 – 31.



УДК 624.01

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_32-42

О ВЛИЯНИИ ОКАЙМЛЯЮЩЕЙ БАЛКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОСОГО КЕССОННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

М. В. Мозголов

В. В. Костюков

Д. Г. Омелянчук

Коломенский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», г. Коломна

Аннотация

Рассматриваются две конечно-элементные модели вычислительного комплекса SCAD косых кессонных железобетонных перекрытий с размерами в плане 10,0 м × 10,0 м. Первая модель включает в себя окаймляющую балку, вторая модель без обрамления. Модели состоят из стержневых конечных элементов, с приложением равномерно-распределенной нагрузки через гибкую пленку, работающую по биссектрисной схеме излома. Численный эксперимент позволил сделать вывод, что окаймляющая балка опорного контура является важным конструктивным элементом кессонных конструкций, она увеличивает жесткость перекрытия, уменьшает и перераспределяет усилия в пролетных балках.

В публикации представлено 5 фотографий и 7 рисунков.

Ключевые слова

Железобетонное кессонное перекрытие, косые кессоны, изгибающие моменты, кручение, прогибы, конечно-элементная модель, окаймляющая балка, прогрессирующее обрушение, лишние связи.

Дата поступления в редакцию

24.11.2024

Дата принятия к печати

02.12.2024

Введение

В соответствии с современными требованиями на проектирование зданий и сооружений для ряда объектов капитального строительства проектировщики обязаны использовать конструктивные решения, устойчивые к лавинообразному прогрессирующему обрушению [1]. С точки зрения строительной механики, такие объекты и их конструкции должны быть многократно статически-неопределимыми, с наличием «лишних» связей [2]. При выходе из строя отдельных элементов статически-неопределимой несущей строительной системы обрушения не должно происходить, должно произойти перераспределение усилий в ней с увеличением деформативности конструкции. Так, например, при прогрессирующем обрушении подземной автостоянки жилого комплекса по ул. Фестивальной в г. Сергиев Посад, произошедшего 4 января 2018 г., лавинообразного прогрессирующего обрушения жилого дома удалось избежать благодаря пространственной работе сборно-монолитного железобетонного каркаса здания. Падающее перекрытие парковки выбило одну из несущих

колонн жилого дома (рис. 1 – 5). Рама каркаса здания по внешней оси стала работать как многоуровневая безраскосная ферма, наподобие балки Виренделя. Автор публикации входил в состав комиссии по расследованию произошедшей аварии.



Рис. 1. Обрушение покрытия подземной парковки в г. Сергиев Посад, ул. Фестивальная



Рис. 2. Обрушение покрытия подземной парковки в г. Сергиев Посад, ул. Фестивальная. Повреждение фасадного покрытия жилого дома



Рис. 3. Обрушение покрытия подземной парковки в г. Сергиев Посад, ул. Фестивальная



Рис. 4. Обрушение покрытия подземной парковки в г. Сергиев Посад, ул. Фестивальная. Повреждение колонны каркаса жилого дома



Рис. 5. Обрушение покрытия подземной парковки в г. Сергиев Посад, ул. Фестивальная. Колонны проткнули монолитное железобетонное покрытие в опорных зонах. Отрыв части нижней рабочей продольной арматуры плиты покрытия

«Лишние» связи в строительной системе могут быть внутренними и внешними. Например, для кессонной конструкции «лишние» внутренние связи — это многочисленные ребра, а «лишние» внешние связи — это количество опор, с тем или иным граничным условием (шарнир или заделка). Железобетонные перекрытия бывают безбалочные, ребристые, включающие в себя главные и второстепенные балки, а также часторебристые кессонные [3, 4]. Кессоны могут быть прямые, косые, треугольные и наподобие пчелиных сот [5, 6]. В связи с появлением новых технологий проектного и производственного направлений у заказчиков растет интерес к кессонным перекрытиям. Кессонные конструкции также могут использоваться в монолитных плитах фундаментов. Известны следующие опалубочные системы: *Победа*, *Skydome*, *Holedeck*, *Nautilus*, *Bubble Deck*, *Cobiax*.

При отношениях пролетов $0,5 < L_2/L_1 < 2$ все кессонные конструкции являются пространственно-работающими, с наличием значительного количества «лишних» связей и поэтому, хорошо противостоящими лавинообразному прогрессирующему обрушению. Косые и сотовые кессоны всегда работают пространственно [5–7]. В работе [7] изучаются конструкции прямого и косого кессонных железобетонных перекрытий. Отмечается, что перекрытие с балками, расположенными под углом 45° к опорным конструкциям, является более жестким, по сравнению с перекрытием с балками, расположенными ортогонально к опоре. Кессонное перекрытие состоит из полки, опирающейся на балки, пролетных балок и балки опорного контура, расположенной по периметру конструкции. При аналитическом расчете как прямых, так и косых кессонных железобетонных перекрытий наличие балки опорного контура не учитывается [3, 4, 8], в тоже время в работе [9] отмечается, что опорный контур существенно влияет на напряженно-деформированное состояние конструкции (НДС). Изучением НДС железобетонных кессонных перекрытий занимались многие исследователи. В работах [10, 11], при сравнении данных, полученных

методом конечных элементов в программном комплексе ЛИРА и аналитическим способом отмечается о существенном отличии (около 50 % и 40 %). Следует заметить, что в чертежах и конечно-элементных моделях данных работ обрамление по периметру конструкции отсутствует. О повышении несущей способности плит перекрытий, опертых по контуру, усиленных окаймляющими балками, в своих работах отмечали А. А.Гвоздев, Гелер, Амос [12, с. 39]. Эксперименты показали, что в зависимости от мощности окаймления несущая способность перекрытий увеличивалась на 46 % и 86 %.

Цели и задачи

Целью данной работы является выяснение влияния на НДС косоугольного кессонного железобетонного перекрытия наличие окаймляющей балки опорного контура.

Методика выполнения работы

Методика выполнения численного эксперимента предусматривает расчет на ЭВМ в вычислительном комплексе SCAD двух конечно-элементных моделей (КЭМ). Первая компьютерная модель включает в себя опорную контурную балку, вторая модель без нее. Сравниваются изгибающие моменты в пролетных балках $B_I - B_I$, $B_{II} - B_{II}$, $B_{III} - B_{III}$, $B_{IV} - B_{IV}$ и прогибы центра перекрытия (рис. 6).

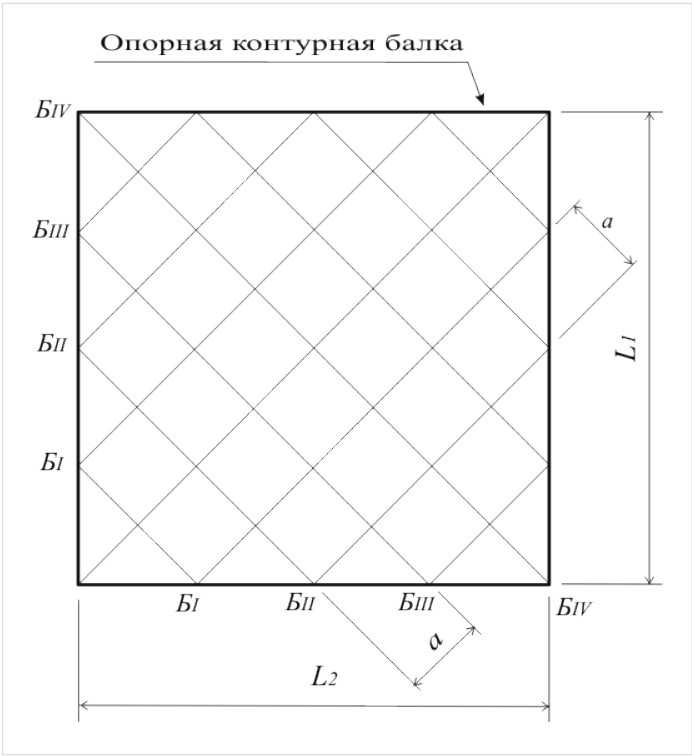


Рис. 6. Схема кессонного перекрытия

Перекрытие квадратное в плане с размерами $L_1 = L_2 = 10,0$ м, шарнирно опертые по контуру. Балки размещаются диагонально с шагом 1,768 м. Нагрузка равномерно-распределенная 1 Т/м^2 , приложена на гибкую пленку, работающую по биссектрисной схеме излома [13]. Такое решение позволяет просто прикладывать нагрузку на стержневые модели. Шарнирное прикрепление на опоре не предусматривает

возможного подъема углов конструкции. Это важно, так как при отрыве опор существенно увеличиваются усилия в конструкции и возрастают прогибы [14, с. 218]. В работе [10] приведены ориентировочные соотношения для определения поперечного сечения кессонной конструкции в зависимости от пролета. Учитывая данные рекомендации, в качестве конечного элемента перекрытия принят стержень — тавровая балка высотой 500 мм, с шириной ребра 250 мм, толщиной полки 80 мм, шириной полки 1768 мм. Окаймляющая балка отличается от пролетных балок меньшей шириной полки, равной 766 мм. Удобством данной конечно-элементной модели является возможность сравнения полученного изгибающего момента в соответствии с правилами строительной механики, так как балки являются изгибаемыми, без наличия продольной силы. Компьютерные модели железобетонных ребристых перекрытий могут быть созданы из разных типов конечных элементов [15–18]. Например, из плоских, моделирующих полку и стержневых, моделирующих ребро, соединенных специальным типом конечных элементов — жесткой вставкой. В такой модели балка становится растянуто-изгибаемой [16, с. 167], что не привычно с точки зрения аналитического метода расчета по правилам строительной механики. Кроме этого, в методе конечных элементов считается, что с математической точки зрения наиболее точными являются стержневые конечные элементы с постоянной жесткостью по их длине [17, с. 174]. Расчет кессонной конструкции выполняется в линейной постановке задачи, но для учета упругопластических свойств бетона и возможного трещинообразования начальный модуль упругости бетона класса В25 умножался на коэффициент 0,2 [19]. В пролетных балках возникают трещины, нормальные к продольной оси элемента, а в опорном контуре могут быть косые трещины от наличия кручения [20]. Для учета жесткости узлов монолитных балок в местах их пересечения были установлены жесткие вставки размером, равным ширине балок [21].

Результаты

На *рисунках 7, 8* показаны эпюры изгибающих моментов в балках моделей кессонного перекрытия. На *рисунках 9, 10* показаны прогибы центральных балок. В *таблице* представлены полученные данные численного эксперимента.

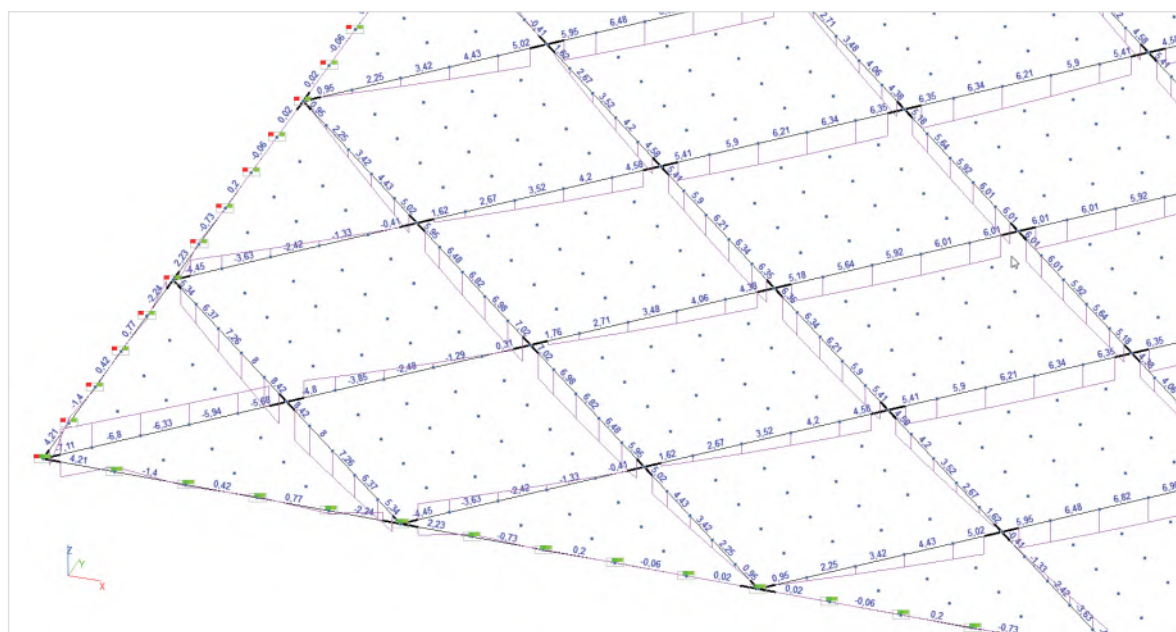


Рис. 7. Эпюры изгибающих моментов M_y , M_x в балках кессонного перекрытия с наличием балки опорного контура (модель № 1). Показана $\frac{1}{4}$ часть конструкции

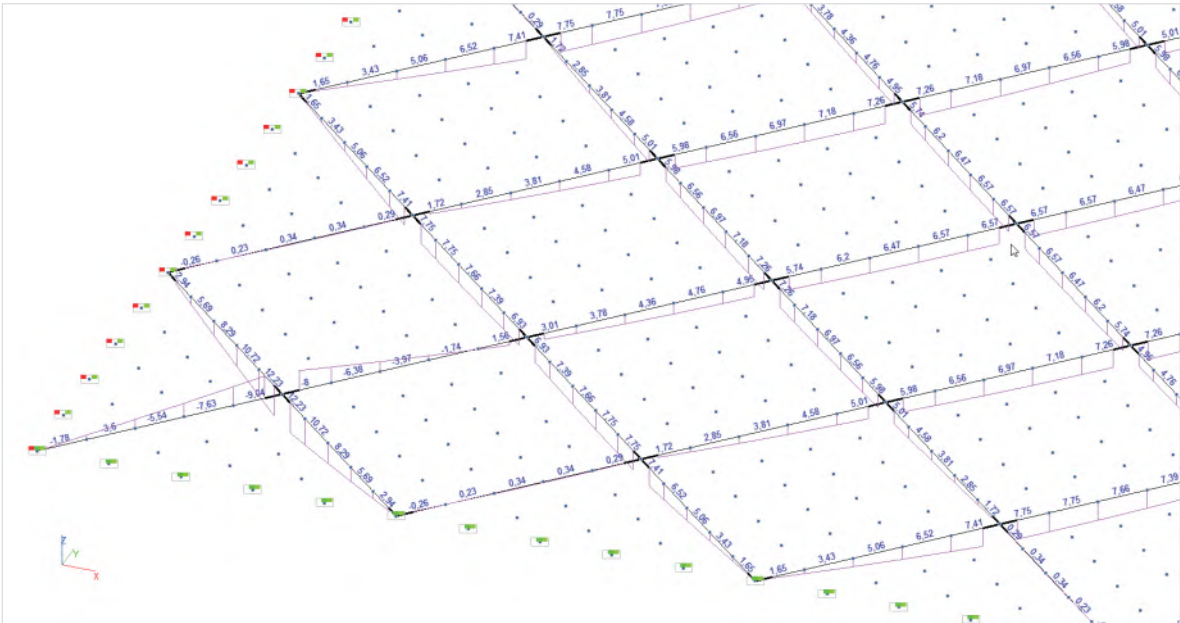


Рис. 8. Эпюры изгибающих моментов M_y , T_m в балках кессонного перекрытия без балки опорного контура (модель № 2). Показана $\frac{1}{4}$ часть конструкции

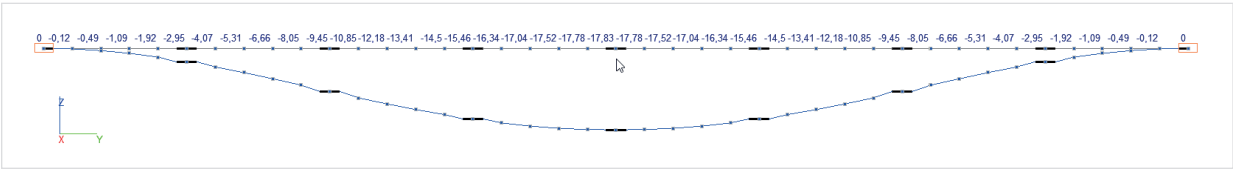


Рис. 9. Прогибы центральной балки кессонного перекрытия $f_z = 17,83$ мм (модель № 1)

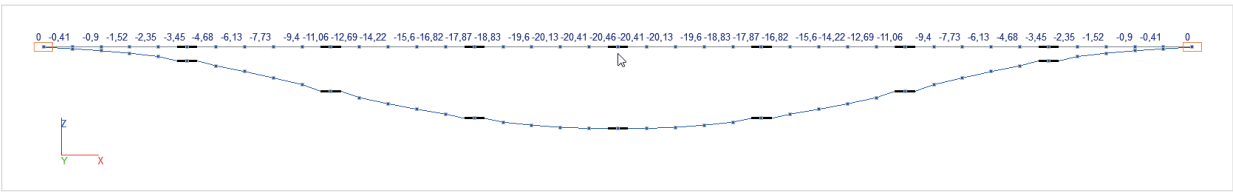


Рис. 10. Прогибы центральной балки кессонного перекрытия $f_z = 20,46$ мм (модель № 2)

Таблица 1

Сравнение изгибающих моментов в балках кессонного перекрытия

Балка	Модель № 1 с балкой опорного контура		Модель № 2 без балки опорного контура	
	Нижний изгибающий момент, M_y , Тм	Верхний изгибающий момент, M_y , Тм	Нижний изгибающий момент, M_y , Тм	Верхний изгибающий момент, M_y , Тм
Б _I – Б _I	8,42 (100 %)	0	12,23 (145 %)	0
Б _{II} – Б _{II}	7,02 (100 %)	0	7,75 (110 %)	0

$B_{III} - B_{III}$	6,35 (100 %)	4,45 (100 %)	7,26 (114 %)	0,26 (5,8 %)
$B_{IV} - B_{IV}$	6,01 (100 %)	7,11 (100 %)	6,57 (109 %)	9,04 (127 %)

Рассмотрев представленные в таблице данные, можно сделать вывод, что в балках кессонного перекрытия, не имеющего окаймления, изгибающие моменты по длине балки увеличиваются, как в нижней, так и в верхней зонах. Максимальное увеличение выявлено для балки $B_I - B_I$, которое составляет +45 %, что сопоставимо с данными, представленными в работе [12]. Прогиб перекрытия без балки опорного контура увеличился в $20,46 / 17,83 = 1,148$ раза.

Следует обратить внимание еще на один эффект в сравниваемых конструкциях. Заключается он в том, что в перекрытии с балкой опорного контура в пролетных балках крутящие моменты, практически равны нулю, а в конструкции без обрамления в пролетных балках кручение появилось (*рис. 11, 12*). Как известно, кручение необходимо воспринимать специально установленной арматурой, представляющей собой хомуты, образующие замкнутый контур [22, с. 237]. В случае армирования балок плоскими каркасами могут возникнуть косые трещины. По причине невозможности определения крутящих моментов в балках кессонных перекрытий аналитическим способом расчета в справочнике проектировщика рекомендуется армировать ребра плоскими арматурными каркасами [23, с. 284]. По мнению авторов, это является не верным конструктивным решением. Балки железобетонных кессонных перекрытий должны армироваться пространственными арматурными каркасами с замкнутыми хомутами, так как кручение может возникнуть по причине не симметричного приложения нагрузки или локального повреждения конструкции при аварийном воздействии.

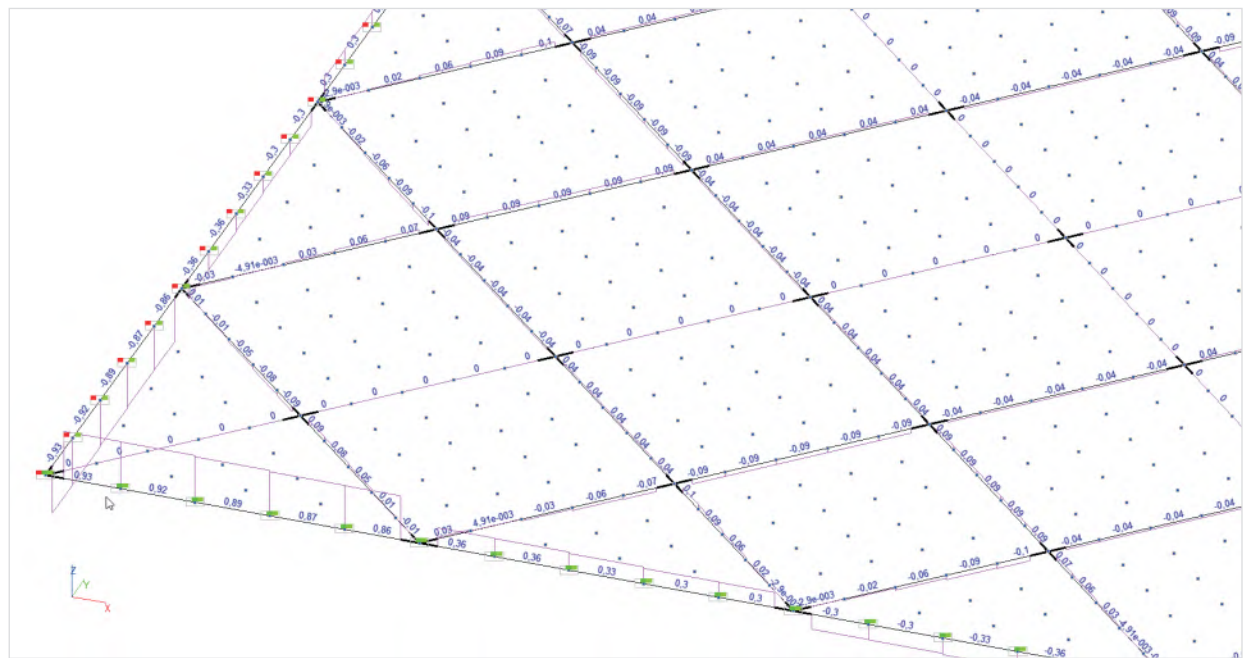


Рис. 11. Эпюры крутящих моментов $M_{кр}$, T_m в балках кессонного перекрытия с балкой опорного контура (модель № 1). Показана $\frac{1}{4}$ часть конструкции

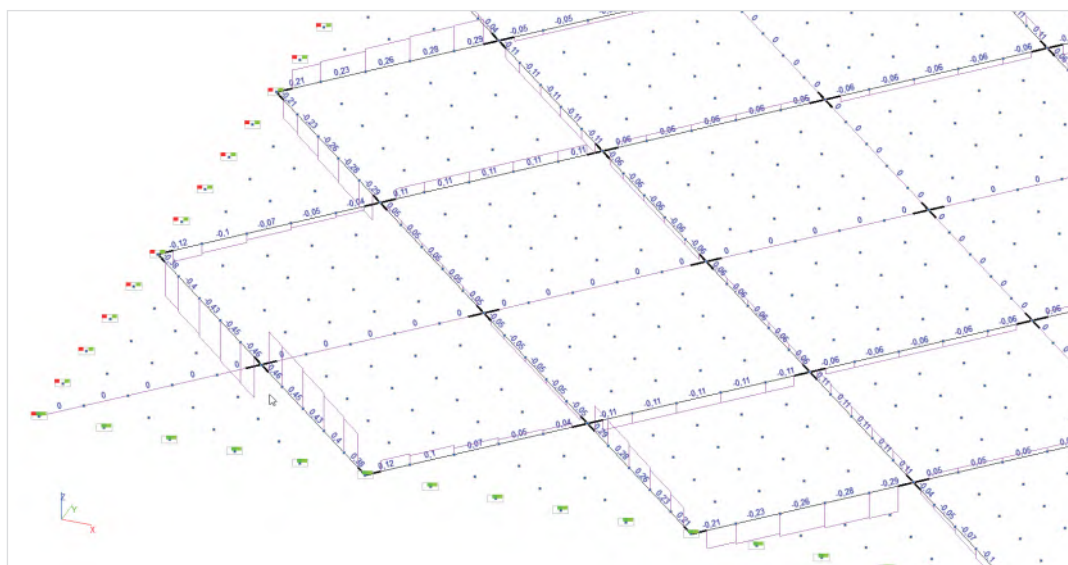


Рис. 12. Эпюры крутящих моментов $M_{кр}$, Тм в балках кессонного перекрытия без балки опорного контура (модель № 2). Показана $\frac{1}{4}$ часть конструкции

Выводы

1. В пролетных балках кессонного перекрытия, не имеющего балки опорного контура, изгибающие моменты увеличиваются, как в нижней, так и в верхней зонах.
2. Прогиб кессонного перекрытия, не имеющего балки опорного контура, увеличился в 1,148 раза, что свидетельствует об уменьшении жесткости конструкции.
3. Балка опорного контура косых кессонных железобетонных перекрытий является важным конструктивным элементом, увеличивающим жесткость конструкции, уменьшающим и перераспределяющим усилия в ней.
4. Расчет строительных систем при помощи метода конечных элементов позволяет учесть особенности конструкций, в данном случае наличие балки опорного контура, что не учитывают известные аналитические способы расчета.
5. С целью восприятия крутящих моментов балки железобетонных кессонных перекрытий должны армироваться пространственными арматурными каркасами с замкнутыми хомутами.
6. Следующим этапом численного эксперимента могут быть верификационные исследования рассмотренного перекрытия при помощи других конечно-элементных моделей.

Библиографический список

1. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. Москва, Стандартинформ. 2018.
2. Снитко Н. К. Строительная механика. М.: «Высшая школа», 1968. 535 с.
3. Дыховичный Ю. А., Максименко В. А., Кондратьев А. Н., Крейтан В. Т., Сканапи А. Н., Вайнштейн М. С. Жилые и общественные здания. Краткий справочник инженера-конструктора. М.: Стройиздат, 1991. 656 с.

4. Залигер Р. Железобетон его расчет и проектирование. Перевод с немецкого под ред. проф. П. Я. Каменцева. М., Л.: Изд-во ГНТИ, 1931. 671 с.
5. Мозголов М. В., Козлова Е. В. Об особенностях работы ребристой сотовой конструкции перекрытия, созданного на принципах архитектурно-строительной бионики // Вестник Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета. Сборник научных трудов. Москва, 2022. С. 391 – 408.
6. Мозголов М. В. Об одном применении плитного конечного элемента ВК SCAD на примере расчета сотового кессонного перекрытия // Вестник Коломенского института (филиала) Московского политехнического университета. Сборник научных трудов. Москва, 2023. С. 285 – 293.
7. Мозголов М. В., Туранова А. В. Об эффективности косых кессонных железобетонных перекрытий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 20-25. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.03.
8. Мозголов М. В. Об ошибках примера расчета железобетонной кессонной панели перекрытия в справочнике проектировщика // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3. С. 13 – 22. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.02.
9. Мозголов М. В., Брыль С. В., Козлова Е. В. О влиянии балки опорного контура на напряженно-деформированное состояние балок прямых кессонных железобетонных перекрытий // Системные технологии. 2 [43] 2022. С. 31 – 40. DOI: 10.55287/22275398_2022_2_31.
10. Малахова А. Н. Монолитные кессонные перекрытия зданий // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 79 – 86.
11. Шибеева В. Д. Исследование напряженно-деформированного состояния монолитных кессонных перекрытий // Молодой ученый. 2021. № 16 (358) часть II. С. 119 – 123.
12. Бушков В. А. Железобетонные конструкции. II часть. Стройиздат Наркомстроя, 1941. 503 с.
13. Мозголов М. В., Козлова Е. В. К вопросу создания верификационной модели для расчета кессонного железобетонного перекрытия в вычислительном комплексе SCAD. Вестник НИЦ «Строительство». 2022; 32 (1): 128 – 140. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-128-140](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-128-140).
14. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2019. 464 с.
15. Городецкий А. С., Барабаш М. С., Сидоров В. Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. М.: АСВ, 2016. 337 с.
16. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. 344 с.
17. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с.
18. Мозголов М. В., Козлова Е. В. Верификация моделей SCAD железобетонного кессонного перекрытия на основе аналитического метода расчета, учитывающего пролеты и жесткость конструкции // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2023. № 2. С. 29-40. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-29-40.
19. Плоские безбалочные железобетонные перекрытия. Методическое пособие. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». [Электронный ресурс] М.: 2017. 138 с. — Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739389.pdf> (accessed 2017)
20. Мозголов М. В., Козлова Е. В. О разгружающем действии крутящих моментов в балках железобетонных кессонных перекрытий // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 3. С. 11 – 20. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.2.

21. Мозголов М. В., Белан Е. А. О влиянии абсолютно жестких вставок на напряженно-деформированное состояние балок железобетонных кессонных перекрытий в вычислительном комплексе SCAD // Наука, техника, педагогика высшей школы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука-Общество-Технология-2022. Москва. 2022. С. 211 – 219.

22. Карпунин Н. С. Железобетонные конструкции. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957. 442 с.

23. Вахненко П. Ф., Хилобок В. Г., Андрейко Н. Т., Яровой М. Л. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий: справочник проектировщика. К.: Будівельник; 1987. 424 с.

ON THE INFLUENCE OF A EDGING BEAM ON THE STRESS-STRAIN STATE OF A SLOPING CAISSON REINFORCED CONCRETE FLOOR

M. V. Mozgolov
V. V. Kostyukov
D. G. Omelianchuk

Kolomna Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Moscow Polytechnic University”, Kolomna

Abstract

Two finite element models of the SCAD computing complex of oblique caisson reinforced concrete floors with plan dimensions of 10.0 m × 10.0 m are considered. The first model includes a border beam, the second model is without framing. The models consist of rod finite elements, with the application of a uniformly distributed load through a flexible film operating according to the bisector fracture pattern. A numerical experiment allowed us to conclude that the border beam of the support contour is an important structural element of caisson structures, it increases the rigidity of the floor, reduces and redistributes forces in the span beams. The publication contains 5 photographs and 7 drawings.

The Keywords

Reinforced concrete caisson floor, oblique caissons, bending moments, torsion, deflections, finite element model, border beam, progressive collapse, excess ties.

Date of receipt in edition

24.11.2024

Date of acceptance for printing

02.12.2024

Ссылка для цитирования:

М. В. Мозголов, В. В. Костюков, Д. Г. Омелянчук. О влиянии окаймляющей балки на напряженно-деформированное состояние косоугольного железобетонного перекрытия. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 32 – 42.



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_43-51

РЕАЛИЗАЦИЯ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МУСАЕВА В. К.

С. М. Шиянов^{*/**}

В. В. Стародубцев^{*/**}

С. В. Акатьев^{*/**}

А. В. Мусаев^{*/**}

Е. В. Дикова^{*/**}

^{*} Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва

^{**} Институт системных технологий, г. Махачкала

Аннотация

Актуальность исследования

Исследуется задача проверки точности приближенного уравнения, используемого для моделирования волн напряжений в основании. В качестве модели основания рассматривается двумерная область с определенными граничными условиями на внешней границе, которые не отражают волны. Для решения этой задачи применяются уравнения вычислительной физики.

Методика и алгоритм

В. К. Мусаев разработал комплекс программ, основанных на компьютерном моделировании уравнений переходного процесса. Задачи решаются с использованием явной схемы. Однако при вычислительном моделировании возникают сложности с оценкой достоверности полученных результатов.

Результаты исследования

Представлены результаты компьютерного (цифрового) моделирования, выполненного в виде трех периодов синусоиды. Основание моделировалось как двумерная область с неотражающими границами. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что комплекс программ Мусаева В. К. позволяет получать точные и количественные результаты. Рассмотрены следующие задачи на сейсмическое воздействие: плотина Койна; Курпайская плотина; Андижанская плотина; свободное квадратное отверстие; свободное круглое отверстие; подкрепленное круглое отверстие.

Ключевые слова

Численное (цифровое) моделирование, вычислительная физика, программный комплекс Мусаева В. К., синусоида, математическая точность, физическая достоверность, полуплоскость, геообъекты, нестационарный процесс, волновое уравнение, достоверность, импульс.

Дата поступления в редакцию

20.12.2024

Дата принятия к печати

22.12.2024

Введение

Постановка, методы и пути решения задач механики деформируемых тел приведены в следующих работах [1 – 25]. В работе приводится численное решение задачи о моделировании волн напряжений в полуплоскости при воздействии импульса из трех периодом синусоиды для оценки достоверности и точности вычислительного комплекса программ Мусаева В. К. Также приводится постановка следующих задач на сейсмическое воздействие: плотина Койна; Курпсайская плотина; Андижанская плотина; свободное квадратное отверстие; свободное круглое отверстие; подкрепленное круглое отверстие. Постановка и решение нестационарных волновых задач приведены в следующих работах [8, 16]. Математический мониторинг, как инструментальный фундаментальных и прикладных наук, имеет свой набор «кирпичиков-инструментариев» для исследования, анализа и описания полученных результатов [8, 16]. При распространении нестационарные волны в деформируемом теле взаимодействуют, друг с другом, что приводит к образованию новых областей возмущений. После трехкратного или четырехкратного прохождения и отражения волн напряжений в деформируемом теле процесс распространения возмущений становится установившимся, то есть напряжения и деформации усредняются, тело находится в стационарном колебательном процессе. Комментарий, научного результата, в котором отсутствует выход исследований в виде иллюстраций или таблиц, можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура. Поэтому создание инструментария математического (вычислительного) эксперимента для исследования поставленной проблемы является актуальной фундаментальной и прикладной научной задачей [8, 16]. Применение рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ для решения нестационарных волновых задач в деформируемых телах сложной (различной) формы приведено в работах [8, 16].

Модели и методы

Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы рассмотрено тело, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное воздействие. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяются уравнения динамической теории упругости [8, 16]. Система уравнений в некоторой области деформируемого тела интегрируется при начальных и граничных условиях [8, 16]. В работах [8, 16] получена явная двухслойная схема. Шаг по временной переменной определяем из условия [8, 16]. Оценка точности и достоверности (верификация) рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [8, 10 – 25]. На основе численного метода конечных элементов разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ Мусаева В. К. для решения двумерных волновых задач динамической теории упругости [8, 16].

Оценка достоверности моделирования волн напряжений

Рассматривается задача о распространении (*рис. 1*) плоской продольной волны в виде трех периодов синусоиды (*рис. 2*) для оценки физической достоверности и математической точности.

равно P ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа (-1 кгс/см²)). Граничные условия для контура BCDA при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура BCDA не доходят до исследуемых точек при $0 \leq n \leq 250$. Расчеты проведены при следующих исходных данных: $H = \Delta x = \Delta y$; $\Delta t = 1,862 \cdot 10^{-6}$ с; $E = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²; $\nu = 0,3$; $\rho = 0,8 \cdot 10^{-5}$ кгс с²/см⁴; $C_p = 5371$ м/с; $C_s = 3177$ м/с. Результаты расчетов приведены на **рис. 3**. На фронте плоской волны имеются следующие зависимости $\sigma_x = -|\sigma_0|$ и $\sigma_y = -\nu |\sigma_0|$ [4]. Сравнение результатов численного моделирования с аналитическим решением, показало хорошее совпадение.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о физической достоверности результатов численного моделирования упругих волн в деформируемых телах, полученных с помощью комплекса программ Мусаева В. К.

Моделирование волн напряжений в геообъектах при внешних сейсмических воздействиях

Приводится постановка для шести задач, которые решаются с помощью вычислительной волновой теории сейсмической безопасности.

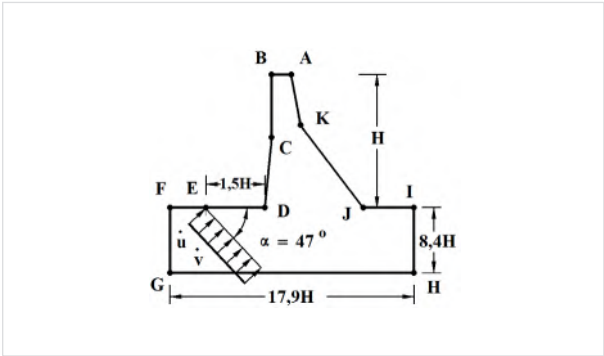


Рис. 4. Постановка задачи о сейсмическом воздействии на плотину Койна. Схема В. К. Мусаева [8, 16]

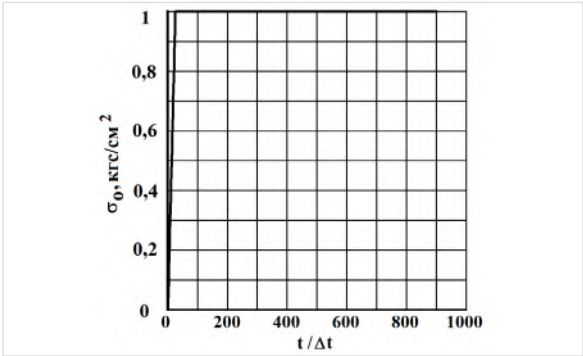


Рис. 5. Сейсмическое воздействие для моделирования волн напряжений в плотине Койна с основанием. График В. К. Мусаева [8, 16]

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на плотину Койна с основанием (**рис. 4**) [8, 16]. Сейсмическое воздействие моделируется в виде функции Хевисайда или ступеньки (**рис. 5**) [8, 16]. Исследуемая расчетная область имеет 953 узловых точек [8, 16].

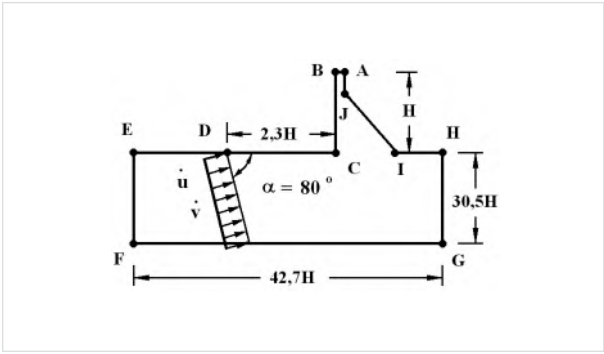


Рис. 6. Постановка задачи о сейсмическом воздействии на Курпсайскую плотину. Схема В. К. Мусаева [8, 16]

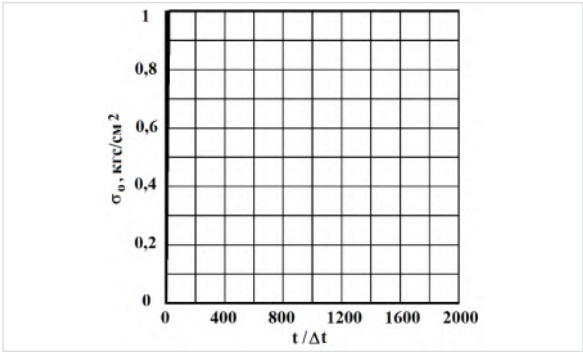


Рис. 7. Сейсмическое воздействие для моделирования волн напряжений в Курпсайской плотине с основанием. График В. К. Мусаева [8, 16]

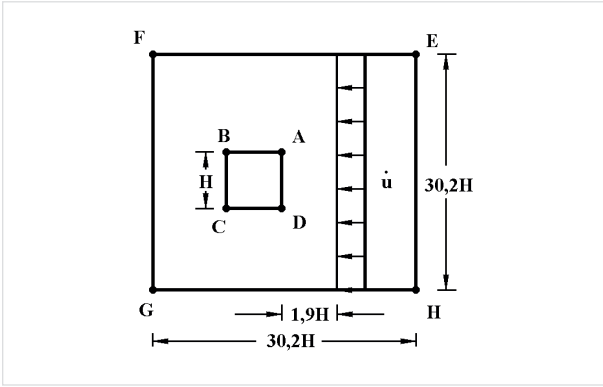


Рис. 12. Постановка задачи о воздействии плоской продольной упругой волны на свободное квадратное отверстие в виде ступеньки (функция Хевисайда). Схема В. К. Мусаева [8, 16]

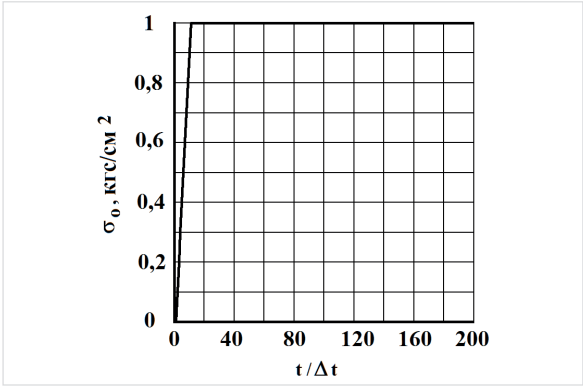


Рис. 13. Сейсмическое воздействие для моделирования волн напряжений в свободном квадратном отверстии. График В. К. Мусаева [8, 16]

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на свободное квадратное отверстие (**рис. 12**) в виде ступеньки (функции Хевисайда) (**рис. 13**) [8, 16]. Исследуемая расчетная область имеет 1337 узловых точек [8, 16].

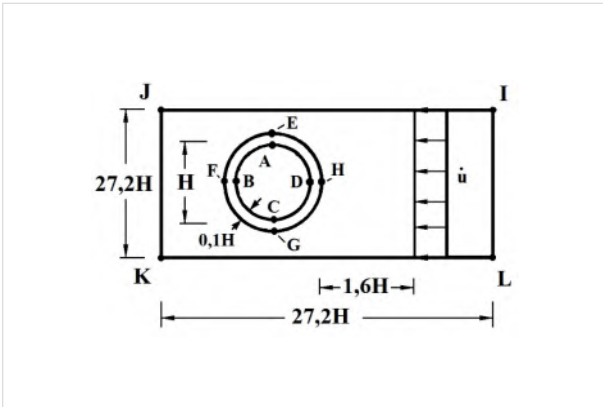


Рис. 14. Постановка задачи для подкрепленного круглого отверстия при сейсмическом воздействии в виде ступеньки (функция Хевисайда). Схема В. К. Мусаева [8, 16]

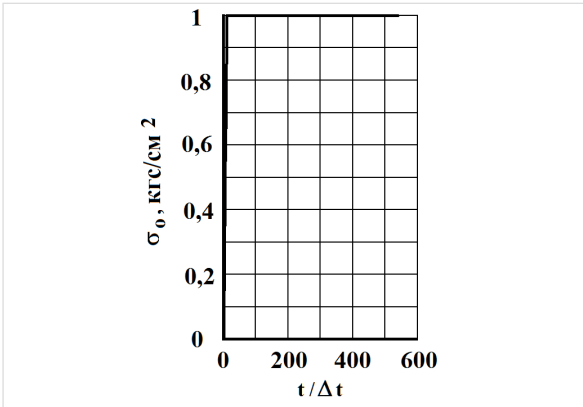


Рис. 15. Сейсмическое воздействие для моделирования волн напряжений в свободном круглом отверстии. График В. К. Мусаева [8, 16]

Рассматривается задача о воздействии плоской продольной упругой волны на подкрепленное круглое отверстие (**рис. 14**) в виде ступеньки (функции Хевисайда) (**рис. 15**) [8, 16]. Исследуемая расчетная область имеет 1536 узловых точек [8, 16].

Выводы

1. Для решения волновых задач механики деформируемых тел при нестационарных волновых воздействиях применяется математический мониторинг. Разработан вычислительный комплекс программ, автор Мусаев В. К.
2. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90.

3. Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде в виде трех периодов синусоиды на упругую полуплоскость. Проведено сопоставление с результатами аналитического решения, которое показало, количественное совпадение.

4. Приводятся постановки разных задач геообъектов при сейсмических нестационарных волновых воздействиях: плотина Койна; Курпсайская плотина; Андижанская плотина, свободное круглое отверстие; свободно квадратное отверстие; подкрепленное круглое отверстие.

5. Проведенные исследования позволяют сделать следующие утверждения: верификация показывает достаточную количественную точность; фронты и геометрия волн удовлетворяют допустимым оценкам для моделирования задач переходного процесса; вычислительная система Мусаева В. К. может быть применения для решения задач в области математического эксперимента.

6. Результаты решенных задач рекомендуются для использования в научно-технических организациях, специализирующихся в области динамического расчета сооружений с окружающей средой при сейсмических воздействиях.

7. Математический мониторинг (вычислительный эксперимент) позволяет учесть инженерные объекты при решении задач о безопасности территорий.

Авторы выражают благодарность Мусаеву В. К. за оказанную помощь и внимание к работе.

Библиографический список

1. Кольский Г. Волны напряжений в твердых телах. Москва: Иностранная литература, 1955. 192 с.
2. Годунов С. К. Уравнения математической физики. Москва: Наука, 1971. 416 с.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Москва: Мир, 1975. 543 с.
4. Тимошенко С. П., Гудьер Д. Теория упругости. Москва: Наука, 1975. 576 с.
5. Ионов В. И., Огибалов П. М. Напряжения в телах при импульсивном нагружении. Москва: Высшая школа, 1975. 464 с.
6. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. Москва: Мир, 1975. 392 с.
7. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. Москва: Стройиздат, 1982. 448 с.
8. Мусаев В. К. Численное моделирование динамического напряженного состояния сооружений уравнениями двумерной теории упругости и пластичности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04. Москва: Совинтервод, 1993. 46 с.
9. Кулиев В. Д. Сингулярные краевые задачи. Москва: Физматлит, 2005. 720 с.
10. Мусаев В. К. Определение упругих волновых напряжений в подкрепленном круглом отверстии с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2007. № 3. С. 29 – 33.
11. Куранцов В. А., Кормилицин А. И., Тарасенко А. А., Ситник В. Г., Котов О. Н. Математическое моделирование нестационарных упругих волн напряжений в сложных деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях с помощью численного метода Мусаева В. К. в перемещениях // Проблемы безопасности российского общества. 2014. № 3–4. С. 219 – 231.

12. Спиридонов В. П. Определение некоторых закономерностей волнового напряженного состояния в геообъектах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12–5. С. 832 – 835.
13. Дикова Е. В. Достоверность численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. при решении задачи о распространении плоских продольных упругих волн (восходящая часть – линейная, нисходящая часть – четверть круга) в полуплоскости // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 12–3. С. 354 – 357.
14. Дикова Е. В. Моделирование безопасности надземного нефтепровода при нестационарных сейсмических воздействиях с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. Москва: РГТУ. 2016. С. 247 – 251.
15. Куранцов В. А., Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Самойлов С. Н., Кузнецов М. Е. Моделирование импульса (первая ветвь: восходящая часть – четверть круга, нисходящая часть – линейная; вторая ветвь: треугольник) в упругой полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В. К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 2. С. 51 – 55.
16. Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. Москва: Российский университет транспорта, 2021. 629 с. ISBN 978-5-7473-1067-4.
17. Мусаев В. К. Вычислительная механика в задачах волновой теории сейсмической безопасности. Москва: Российский университет транспорта, 2021. 652 с. ISBN 978-5-7473-1068-1.
18. Мусаев В. К. Защита нарушенного авторского права (плагиат) в Пушкинском городском, Московском областном и Верховном Судах Российской Федерации. Москва: Российский университет транспорта, 2021. 874 с. ISBN 978-5-7473-1066-7.
19. Musayev V. K. Computer simulation of unsteady elastic stress waves in a console and a ten-storey building under fundamental influence in the form of a Heaviside function // RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies, 2022, 14 (2): 187 – 196.
20. Мусаев В. К. Математическое моделирование напряжений при нестационарных волновых воздействиях в геообъектах // Гидротехническое строительство. 2023. № 3. С. 14 – 28.
21. Мусаев В. К. Математическое моделирование внешнего сосредоточенного взрывного воздействия на десятиэтажное здание при полном разрушении перекрытия (первый этаж) // Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 6 – 16.
22. Musayev V. K. Mathematical Modeling of Stresses Under Unsteady Wave Action in Geo-Objects // Power Technology and Engineering. 2023. 57 (3). P. 351 – 364.
23. Musayev V. K. Mathematical Modeling of Explosive and Seismic Impacts on an Underground Structure // Power Technology and Engineering. 2024. 57 (6). P. 875 – 881.
24. Мусаев В. К. Моделирование напряженного состояния десятиэтажного здания (полное разрушение перекрытия первого этажа) при внешнем ударном воздействии на поверхности полуплоскости // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 61 – 74.
25. Курбанмагомедов А. К. Рост трещины при термомеханическом нагружении. Москва: Наука, 2024. 146 с.

INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF NEW GENERATION BUILDING MATERIALS

S. M. Shiyanov^{*/**}

V. V. Starodubtsev^{*/**}

S. V. Akatyev^{*/**}

A. V. Musayev^{*/**}

E. V. Dikova^{*/**}

^{*} P. Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

^{**} Institute of System Technologies, Makhachkala

Abstract

Relevance of the study

The problem of verifying the accuracy of the approximate equation used to model stress waves in the base is investigated. A two-dimensional region with certain boundary conditions at the outer boundary that do not reflect waves is considered as a base model. The equations of computational physics are used to solve this problem.

Methodology and algorithm

V. K. Musayev has developed a set of programs based on computer modeling of the equations of the transition process. The tasks are solved using an explicit scheme. However, in computational modeling, difficulties are with assessing the reliability of the results obtained.

Research results

The results of computer (digital) modeling performed in the form of three periods of a sinusoid are presented. The base was modeled as a two-dimensional area with non-reflective borders. The results obtained allow us to conclude that the complex of programs of V.K. Musayev allows us to obtain accurate and quantitative results. The following seismic impact problems are considered: Koyna dam; Kurpsai dam; Andijan dam; free square hole; free round hole; reinforced round hole.

The Keywords

Numerical (digital) modeling, computational physics, software package Musayev V. K., sine wave, mathematical accuracy, physical reliability, half-plane, geo objects, non-stationary process, wave equation, reliability, momentum.

Date of receipt in edition

20.12.2024

Date of acceptance for printing

22.12.2024

Ссылка для цитирования:

С. В. Шиянов, В. В. Стародубцев, С. В. Акатьев, А. В. Мусаев, Е. В. Дикова. Реализация волновой теории сейсмической безопасности с использованием вычислительного программного комплекса Мусаева В. К.. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 43–51.



РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ РАБОТЫ ВОДОЗАБОРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

И. К. Дмитриев*
И. И. Павлинова**
О. А. Стифеева***

* Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва
** АО «Мосводоканалстройтрест», г. Москва
*** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

В статье даются рекомендации, применение которых позволит улучшить работу водозаборных сооружений, забирающих воду на нужды промышленных предприятий. Для надежного получения воды из поверхностного источника следует выбирать такое расположение и заданную конструкцию сооружений, которые будут обеспечивать бесперебойность забора воды. В зависимости от особенностей природных условий при обосновании следует применять водозаборное сооружение на эстакаде с насосной станцией. Для отбора воды из источника с равномерным расходом в качестве оптимального решения рекомендуется использовать трубчатые водоприемные оголовки, имеющие приемную щель со специальным козырьком. Разработка и дальнейшее совершенствование конструкций водозаборных сооружений является основной задачей современного водоснабжения.

Ключевые слова

Водозаборное сооружение, водоснабжение, насосная станция, водопотребление, промышленное предприятие, город, природные условия.

Дата поступления в редакцию

29.11.2024

Дата принятия к печати

12.12.2024

В настоящее время достаточно хорошо видна тенденция к увеличению отбора воды из поверхностных источников (реки, водохранилища и др.) [1 – 2]. Это связано с тем, что промышленностью активно выпускается различная продукция, для которой требуются большие объемы водных ресурсов. Значительные расходы воды на промышленных предприятиях уже давно стали совершенно обычным явлением. Особенно это заметно в развивающихся странах, куда в последнее время активно переносится значительное количество производственных мощностей (например, Индия, Бангладеш, Филиппины, Индонезия и др.). Это происходит прежде всего по причине того, что стоимость рабочей силы там ниже, чем в развитых странах. Предприятиям-гигантам промышленной индустрии стано-

вится целесообразно переносить производственные мощности с обязательным контролем качества выпускаемой продукции, что позволяет получать прибыль, удовлетворяя все растущие потребности в определенной продукции. Кроме того, более щадящие требования к сбросу сточных вод в водные объекты развивающихся стран позволяют иностранным инвесторам значительно экономить, не возводя современных систем очистки воды.

Стоит отметить, что от температуры и качества отбираемой из источника воды в подавляющем большинстве случаев зависит экономичность работы промышленных предприятий и систем орошаемого земледелия [3 – 4]. Например, многие потребители, а особенно объекты энергетики, могут требовать для своей работы воду с более низкой температурой, что определяется их внутренним графиком работы в соответствии с необходимой инструкцией.

Для надежного отбора воды проектировщикам целесообразно выбирать такое расположение и такую конструкцию водозаборного сооружения, которые обеспечили бы бесперебойность водоснабжения [5 – 6]. На реках выбрать место отбора воды с минимальным содержанием насосов и без шуги достаточно просто. Что касается морей и внутренних водоемов, то там эта задача является чрезвычайно сложной и ответственной, так как волнение, течения и переработка берегов прямым образом затрудняют определение места отбора воды, свободного от перемещения насосов и шуги. Если говорить о конструкции водозаборного сооружения, то она должна обеспечить равномерность распределения расхода вдоль водозаборного фронта со скоростями, не превышающими допустимые. Принимая во внимание то обстоятельство, что при больших расходах воды длина водозаборного фронта измеряется сотнями метров и может достигать, к примеру, при отборе $500 \text{ м}^3/\text{с}$ зону длиной около 2 км, то становится очевидным, что выбор конструкции водозаборного сооружения является весомой задачей.

При проектировании водозаборных сооружений на источниках, имеющих рыбопромысловое значение, приходится учитывать требования, которые зачастую могут быть достаточно жесткими [7]. Например, бывали случаи, когда в крупных водных объектах специалистами предписывалось требование в обязательном порядке исключить попадание в водозаборные сооружения мальков рыбы длиной 1 мм, а в некоторых — даже икры рыб. Для выполнения этого требования выполнялись следующие задачи, приведенные ниже:

- 1) приходилось осуществлять забор воды с минимальными скоростями, что, в свою очередь, приводило к необходимости увеличения длины водозаборного фронта;
- 2) целесообразным становилось использование в практике водоснабжения особых конструкций водозаборных сооружений, например, фильтрующих;
- 3) необходимым действием стало использование на водозаборных сооружениях рыбозаградителей, что существенно усложняло конструкцию сооружений и увеличивало их стоимость, а также эксплуатацию.

Стоит сказать, что неправильно выбранные места отбора воды и конструкция водозаборного сооружения приводят к отбору воды со значительным количеством наносов, водорослей, шуги. Это может привести к перебоям в заборе воды, что в последствии может приводить к полному выходу из строя таких сооружений. Кроме того, увеличиваются капитальные затраты на ремонт и эксплуатацию, а также на повторный ввод объекта в работу.

Ниже приведены рекомендуемые действия по выбору оптимальных конструкций водозаборных сооружений, позволяющих отбирать воду из источника с равномерным расходом вдоль водозаборного фронта, со скоростями, не превышающими допустимые, селективно из стратифицированных водоемов, таких как, озеро или водохранилище, например:

- использование в практике водозаборных сооружений галерейного типа, имеющих прямоугольное сечение, в которых следует размещать водоприемные окна в несколько ярусов, которые способны будут работать, забирая должный объем воды в независимости от водности в природном объекте в конкретный период года; также для интенсификации забора воды следует применять специальные козырьки;
- применение таких видов водоприемных оголовков, как трубчатые, имеющих приемную щель, оборудованных специальным козырьком, находящимся сверху;
- использование в практике забора воды водоприемников с конфуззором и козырьком над приемным окном;
- применение водоприемников круглых или цилиндрических, или в виде восьмигранника, также с козырьком над приемными окнами.

Именно вышеперечисленные виды водозаборных сооружений на основании эксплуатации доказали свою надежность в работе в сложных гидрологических условиях на различных объектах нашего государства.

Выбор конструкции водозаборного сооружения определяется его расходом. К примеру, водозаборы в виде галереи и трубчатые позволяют отбирать воду с расходом до 50 м³/с на один оголовок, а водозаборы цилиндрические до 25 м³/с. Также они имеют свои особые методы возведения, которые выбираются исходя из результатов проведения необходимых и полных инженерных изысканий специалистами.

Для всех водозаборных сооружений были разработаны расчеты, а также методы их оптимальной эксплуатации. Надежность этих систем проверена не только в лабораторных исследованиях на макетах, но и также апробирована по результатам натурных испытаний на различных водных объектах.

Рекомендованной является также конструкция водозаборного сооружения на эстакаде с насосной станцией, расположенной в торце эстакады или на берегу. Такие сооружения положительно зарекомендовали себя при эксплуатации в сложных гидрологических условиях водного источника [8–9]. Однако затруднения со строительством и эксплуатацией таких сооружений (в варианте с длинными сифонными линиями) не позволяют широко рекомендовать их к проектированию. Решение об их использовании должно применяться после изучения и анализа местных природных условий, которые порой могут быть очень специфичны и осложнять захват воды. В некоторых случаях приходится использовать особый подход к организации забора воды.

Что касается водозаборных ковшей, то сама их конструкция предопределила заносимость взвешенными наносами, шугой, а также различным сором. Все существующие водозаборные ковши заносятся, эксплуатация их затруднена и является дорогостоящей. Однако, в достаточно сложных природных условиях, где по результатам проведенных исследований и особенностей водного объекта, не представляется возможным осуществить забор воды без водоприемного ковша, то он рекомендуется к проектированию по существующим на сегодня методикам.

Специалистам в области проектирования и эксплуатации необходимо знать, какого качества и какой температуры будет отбираться вода в тех или иных гидротермических условиях из источника, что, к сожалению, не всегда принимается во внимание. Вместе с тем, рекомендуемые конструкции позволяют производить селективный отбор воды из стратифицированного источника, из определенного слоя, с определенным, заранее известным качеством и температурой. Это позволяет значительно снизить дополнительные издержки для охлаждения воды на определенный процесс, где такое действие является необходимым и достаточным для нормального режима работы предприятия по выпуску продукции.

На основании многолетних изучений и исследований учеными был разработан расчетный метод определения глубины придонного слоя отбираемой воды и имеются расчетные зависимости для определения глубины слоя, поступающего из середины водоема или с его поверхности.

В заключении можно сделать следующие выводы.

1. Надежность работы водозаборных сооружений определяется местом отбора воды, исключая попадание в него наносов, шуги и других загрязнений. Необходимо производить расчет выбора места отбора воды на водоемах на основании параметров, характеризующих место отбора воды с точки зрения воздействия на них волнения и течений прибрежной зоны, или пользоваться результатами гидротермических экспериментов.
2. Забор воды из водоемов непосредственно из конкретных водных слоев позволяет широко использовать водозаборные сооружения с водоприемными окнами, расположенными в несколько ярусов. Созданные методы гидравлического расчета позволяют определить размеры этих водозаборных сооружений.
3. Следует проектировать именно такие виды водозаборных сооружений, которые хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации.
4. Прогнозирование качества отбираемой из источника воды, ее температуры, рекомендации по эксплуатации водозаборных сооружений в различных гидрологических условиях необходимо включать в состав пояснительной записки к рабочим чертежам водозаборного сооружения.
5. Разработка и дальнейшее совершенствование конструкций водозаборных сооружений является основной задачей в современном водоснабжении.

Библиографический список

1. Викулин П. Д. Реконструкция и увеличение производительности водозаборных сооружений из поверхностных источников // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 50 – 53.
2. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.
3. Хургин Р. Е., Кулагина А. С. Современный взгляд на водопотребление городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 62 – 65.
4. Орлов Е. В., Тайбарей В. В., Саймуллов А. В., Аушев А. М. Улучшение забора воды с помощью водоприемных ковшей на водных объектах // Системные технологии. 2018. № 1 (26). С. 125 – 127.
5. Орлов В. А. Пути обеспечения санитарной надежности водопроводных сетей // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 181-187.
6. Павлинова И. И., Банцеров О. Л., Хохлова Л. И. Обеспечение бесперебойной работы водозаборных сооружений из поверхностных источников // Системные технологии. 2023. № 1 (46). С. 72 – 75.
7. Недоступов В. Л., Антонян Д. В., Хецуриани Т. Е., Хецуриани Те. Е., Хецуриани Е. Д. Снижение эксплуатационных характеристик водозаборных сооружений в результате явления обрастания оросительных систем дрейссеной // Экология, здоровье, образование. IX Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных: сборник материалов. Ростов-на-Дону, 2023. С. 255 – 258.
8. Джангидзе З. У., Бурова Н. Ю., Квитка Л. А. К вопросу о организации защиты водозаборных сооружений, построенных на горных реках, от селевых потоков // Системные технологии. 2020. № 3. С. 43 – 49.

9. Носуля И. С., Соколова И. В. Выбор типа водозаборного сооружения для оросительной системы на основе экономического анализа // Инновационные технологии в земледелии и мелиорации на современном этапе развития АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием посвященной 90-летию кафедры земледелия почвоведения и мелиорации, Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова. Махачкала, 2022. С. 568 – 575.

RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE OPERATION OF WATER
INTAKE FACILITIES OF INDUSTRIAL WATER SUPPLY SYSTEMS

I. K. Dmitriev*
I. I. Pavlinova**
O. A. Stifeeva***

* State University Of Land Use Planning (SULUP), Moscow
** JSC “Mosvodokanalstroytrest”, Moscow
*** Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

The article provides recommendations, the application of which will improve the operation of water intake facilities that take water for the needs of industrial enterprises. For reliable receipt of water from a surface source, it is necessary to choose such an arrangement and a given design of structures that will ensure uninterrupted water intake. Depending on the characteristics of the natural conditions, an intake structure on an overpass with a pumping station should be used in the justification. For the extraction of water from a source with a uniform flow rate, it is recommended to use tubular water intake heads with a receiving slot with a special visor as an optimal solution. The development and further improvement of water intake structures is the main task of modern water supply.

The Keywords

Water intake structure, water supply, pumping station, water consumption, industrial enterprise, city, natural conditions.

Date of receipt in edition

29.11.2024

Date of acceptance for printing

12.12.2024

Ссылка для цитирования:

И. К. Дмитриев, И. И. Павлинова, О. А. Стифеева. Рекомендации по улучшению работы водозаборных сооружений систем промышленного водоснабжения. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 52 – 56.



УДК 624.01

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_57-63

АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОБЪЁМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫМ И КОНСТРУКТИВНЫМ РЕШЕНИЯМ КРУГЛЫХ В ПЛАНЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

И. А. Синянский *

А. К. Кошкин *

И. А. Леоненко *

Е. А. Шныренков **

* Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва

** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

В статье приведён сравнительный анализ отечественного и зарубежного опытов проектирования, строительства и эксплуатации сельскохозяйственных производственных зданий в зависимости от их объёмно-планировочных и конструктивных параметров. За основу взяты варианты зданий свинарников-откормочников прямоугольных, широко применяемых, и круглых в плане. Сравнивались основные параметры по площадям покрытия и наружных стен, полезной и коммуникационной площади. Выявлены значительно лучшие показатели круглых в плане зданий по сравнению с прямоугольными. Предложены варианты устройства несущих и самонесущих наружных круглых стен с использованием термоармопакетов.

Ключевые слова

Агропромышленный комплекс, свинарник-откормочник, объёмно-планировочные показатели, архитектурная выразительность, техническая и экономическая целесообразность, групповой станок, логовищная часть, навозная часть, термоармопакеты.

Дата поступления в редакцию

08.12.2024

Дата принятия к печати

20.12.2024

Целью исследования является выбор оптимальных объёмно-планировочных и конструктивно-технологических параметров проектирования, строительства и эксплуатации производственных зданий АПК. К ним предъявляются практически те же требования, что и для гражданских, но существуют и свои особенные требования: зооветеринарные, санитарные, технологические, эстетические, а также надёжность, долговечность и максимальная экономичность в эксплуатации. В большинстве проектов сходные по своему назначению здания имеют приблизительно одинаковые объёмно-плани-

ровочные схемы, но могут значительно различаться по их капитальности, экономичности и эксплуатационным характеристикам [1 – 2].

В сельской местности сельскохозяйственные здания в большинстве одноэтажные. Основные требования к ним касаются объёмно-планировочных параметров [3 – 4]. Внутренние помещения должны быть просторными, минимальное количество внутренних стен и опор для перекрытий. Это вполне осуществимо, так как несущие конструкции в них воспринимают внешние нагрузки только от собственной массы, а также временные снеговые и ветровые. Самыми распространёнными объёмно-планировочными решениями одноэтажных зданий являются здания павильонного типа стоечно-балочной системы с применением балок, ферм, распорных рам и арок с полным или неполным каркасом, наружными стенами из монолитного железобетона: несущими, самонесущими, навесными слоистой конструкции [5 – 7].

Для выбора экономически выгодных объёмно-планировочных и конструктивных параметров животноводческих зданий проведён анализ отечественного и зарубежного опытов их проектирования, строительства и эксплуатации. За основу для сравнения взяты варианты зданий свинарников-откормочников прямоугольных, широко применяемых, и круглых в плане. Общими характеристиками для всех видов выбранных зданий являются бесподстилочный способ содержания животных в станках (логовищах). В них сплошные полы в логовищной части и щелевые в навозной, а также одинаковая вместимость групповых станков и сходные рационы кормления. Выбраны станки, оптимально рассчитанные не более чем на 15 животных. Анализ показал, что сокращение числа животных в станке приводит к снижению расхода кормов на 4% при тех же самых приростах массы. Увеличение числа животных в станке до 20 голов приводит к снижению прироста массы на 5%, соответственно до 30 голов на 7%, до 40 голов на 10%.

Наиболее простое планировочное решение круглого в плане здания свинарника-откормочника представлено в варианте 1 (*рис. 1, а*). В центральной части здания диаметром 11,4 м выделена навозная часть, к которой примыкает логовищная часть групповых станков. Между зоной содержания животных и наружной стеной здания находится кольцевой в плане служебно-кормовой проход шириной 1,3 м, в котором устроены кормушки. Вся зона содержания животных разбита на шесть секторов, в каждом из которых устроен групповой станок, рассчитанный на 12 животных. Деление зоны содержания животных на шесть станков признано оптимальным, так как увеличение количества станков привело бы к неоправданному сужению навозной части каждого станка.

Вариант 1 круглого в плане свинарника-откормочника был сравнён с прямоугольным в плане свинарником размерами 7 × 13,5 м с центральным продольным кормовым проездом и двумя рядами групповых станков (см. табл. 1).

Отличительными особенностями варианта 2 (*рис. 1, б*) по сравнению с предыдущими является уменьшение наружного диаметра здания до 10 м и одновременно увеличение численности животных до 78 голов. В варианте 2 вся площадь здания используется для размещения животных, а служебный проход запроектирован в виде кольцевых в плане мостков, расположенных над станками для животных и примыкающих к наружной стене здания. Как и в первом случае, в здании выделено шесть станков, глубина каждого станка 5 м, вместимость 13 голов. Кормушки расположены не по кольцу, как в первом варианте, а радиально. Это связано, в первую очередь, с тем, что выдачу жидких и влажных кормов в кормушки осуществляется при помощи трубчатых кормопроводов.

Сравнение такого варианта круглого в плане свинарника-откормочника проведено с прямоугольным в плане свинарником размерами в плане 8,2 × 9 м с поперечным по отношению к продольной оси здания размещением кормушек.

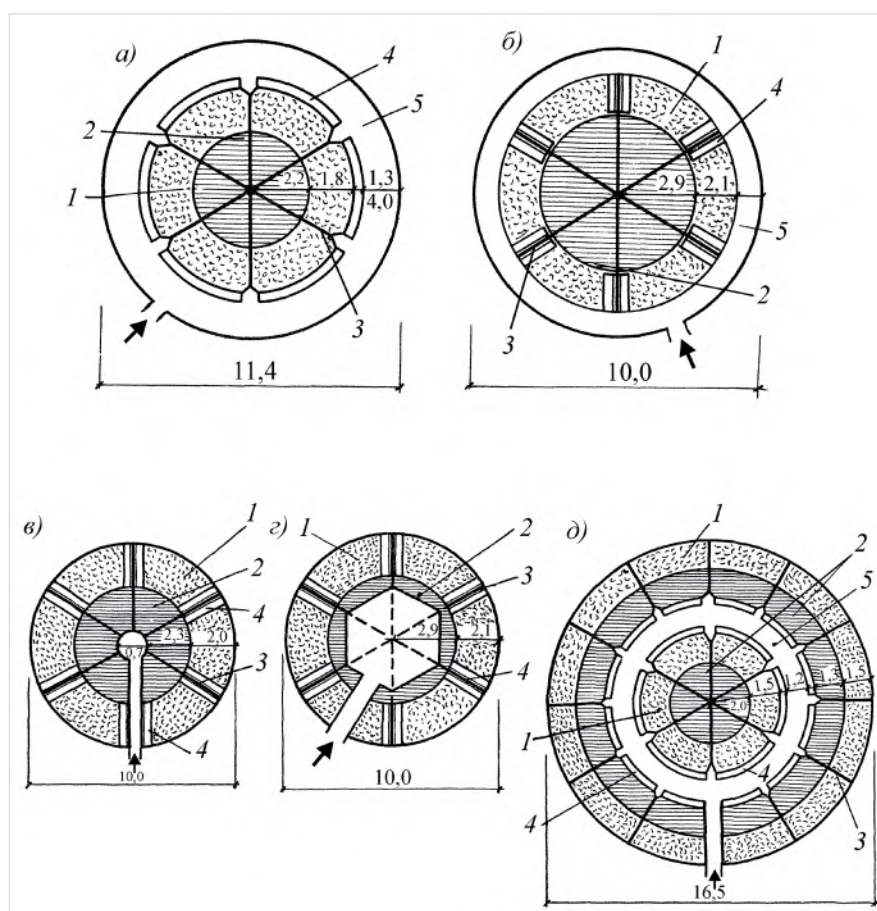


Рис. 1. Варианты планировочных решений круглых в плане зданий свиарников-откормочников: **а** — вариант 1; **б** — вариант 2; **в** — вариант 3; **г** — вариант 4; **д** — вариант 5; 1 — логовищная часть станков; 2 — навозная часть; 3 — разделитель станков; 4 — кормушка; 5 — кормовой проход (проезд)

Характерной особенностью объемно-планировочного решения здания свиарника ((рис. 1, в), вариант 3 с наружным диаметром 10 м, вместимостью 72 животных) является то, что в его центральной части выделена небольшая круглая в плане служебная площадка, из которой можно войти в любой из шести станков (рис. 1, в). Служебная площадка соединена с входным проемом здания проходом. Логовищная часть станков расположена у наружных стен здания. Подача кормов к кормушкам производится по кормопроводам. Сравнение такого здания проводилось с прямоугольным в плане свиарником 8,2×9 м.

Вариант 4 объемно-планировочного решения здания свиарника-откормочника (диаметр 10 м, вместимость 78 голов (рис. 1, г)) был составлен на основе ранее разработанного проекта круглого в плане здания того же назначения вместимостью 150 голов. Над расположенной в центральной части здания навозной площадкой находится служебная площадка (помост), соединенная переходом с кормоцехом. Вместимость станка 13 животных. Для данного объемно-планировочного решения сравнение проведено по аналогии с вариантом 2.

Вариант 5 запроектирован двухрядным с кормовым проездом между рядами станков (рис. 1, д). Диаметр здания 16,5 м, ширина проезда 1,2 м. Центральная часть здания разбита на шесть секторов, в каждом из которых устроен групповой станок. Глубина станка 3,5 м, вместимость 14 животных. Эти станки предназначены для размещения молодняка предварительной стадии откорма. Кольцевая

часть здания, примыкающая к наружной стене, разделена на 12 групповых станков. В эти станки переводят животных для последующего откорма из станков центральной части свинарника. Кормушки для животных тех и других станков вынесены в кормовой проход. Общая вместимость свинарника 150 голов. Выделение в здании зон предварительного и окончательного откорма позволяет наиболее рационально использовать его производственную площадь. При этом вместимость станков в зоне предварительного откорма более высокая, чем в зоне окончательного откорма. По мере роста животных их переводят в групповые станки для окончательного откорма. Сравнение круглого в плане здания свинарника-откормочника диаметром 16,5 м проведено с прямоугольным в плане зданием свинарника (7 × 29 м) с двухрядным расположением станков и секциями предварительного и окончательного откорма. Основные результаты, полученные после проведенных сравнений по пяти вариантам, приведены в *табл. 1*.

Таблица 1

Сравнительный анализ свинарников-откормочников

Наименование показателей	Вариант						
	1		2 и 4		3	5	
	Форма здания в плане						
	круглое	прямоу- гольное	круглое	прямоу- гольное	круглое	круглое	прямоу- гольное
Площадь покрытия, м²	102	94,5	78,5	78,3	81,6	213,7	203
Площадь стен, м²	78,7	90,2	69,1	75,7	70,5	113,9	158,4
Суммарная площадь наружных ограждений, м²	180,7	184,7	147,6	149,5	152,1	327,6	361,4
Площадь станков, м²	60,8	69	78,5	67,5	77,0	176,4	159,2
Площадь проходов и проездов, м²	41,2	25,5	7,9	6,3	4,6	37,3	43,8
Площадь здания в расчете на одну голову, м²	0,84	0,96	1,0	0,85	1,07	1,04	0,94

Проводя сравнительный анализ основных характеристик объёмно-планировочных вариантов свинарников-откормочников, выявлена тенденция к значительному улучшению экономических показателей по основным параметрам круглых в плане зданий по сравнению с прямоугольными.

При одинаковой высоте помещений, равной 2,2 м, площадь стен оказалась меньше для круглых в плане зданий от 7,4% (вариант 2 и 4), до 39% для варианта 5. Суммарная общая площадь ограждающих конструкций круглых зданий свинарников-откормочников в вариантах 1, 2, 3, 4 также незначительно, но ниже. Следовательно, в круглых зданиях значительно лучший тепловой баланс, меньший расход строительных материалов, большая площадь проходов и проездов в расчёте на одну голову животных.

При увеличении площади круглого в плане здания свинарника-откормочника наилучшие результаты получены для варианта 5 с групповыми станками различной площади и для различных категорий животных.

Однако, площадь покрытия круглых в плане зданий свинарников оказалась несколько больше, чем соответствующая площадь прямоугольных в плане зданий. Так, для варианта 1 разница составила 5,2%, а для варианта 3 — 10,5%. Но эти отрицательные показатели возможно значительно снизить за счёт применения эффективных теплоизоляционных материалов для наружных кровельных покрытий.

Для несущих конструкций круглых зданий можно использовать различные варианты конструктивных систем, но наиболее приемлемая — это стоечно-балочная, монолитная, стеновая из мелких камней и блоков. Выбор вариантов зависит, прежде всего, от формы здания в плане и удалённости сельского строительного объекта, от строительно-индустриальной базы. Поэтому предпочтение отдаётся мелкоштучным строительным материалам. Но применение таких строительных материалов предполагает работы всегда с большой трудоемкостью и значительными затратами времени на строительство. В связи с вышесказанным предлагается использовать конструктивно-технологическую систему нанесением бетонной смеси торкретированием на не снимаемую опалубку. Эта технология предусматривает использование в качестве формообразования теплоизоляционных плит из различных минеральных и полимерных материалов. Так как они не обладают достаточной несущей способностью и жесткостью, использование формообразователей в качестве оставляемой в стеновой конструкции опалубки применяются дополнительные элементы крепления, обеспечивающие стабильность их положения в процессе монтажа. При этом, в качестве несущей основы, обеспечивающей неизменяемость и стабильное проектное положение, образующих криволинейную форму, рекомендуется использовать арматурные сетки и каркасы, которые на стадии эксплуатации выступают в качестве технологической арматуры. При возведении больших криволинейных поверхностей для образования стабильной формы предлагается использование внутренней не извлекаемой каркасной системы. Внутренняя каркасная система обеспечивает четкую геометрическую форму и может выполняться из любых материалов: сталь, алюминий, дерево, железобетон, пластмассы. По соображениям доступности и экономической целесообразности следует рекомендовать в сельской местности в первую очередь дерево, а затем сталь в виде жестких или гибких элементов.

Данный принцип конструирования реализуется разбиванием создаваемой формы поверхности на отсеки, проектное положение каждого из которых гарантируется каркасной системой. Внутри каждого отсека (между элементами каркаса) устанавливается термоармопакет, который образуется жесткими плитами или полужесткими матами соответствующей формы и пространственным арматурным каркасом (сеткой), обрамляющим её. Формообразующим элементом для наружных стен круглых в плане сельскохозяйственных зданий рекомендуется использовать термоармопакеты из жестких плит крупнопористого керамзитобетона (рис. 2, а), арболита (рис. 2, б), пенополистирола (рис. 2, в) со стереорегулярной макроструктурой, разработанных кафедрой строительства Государственного университета по землеустройству (ГУЗ).

Термоармопакеты устанавливаются между жестким основным несущим каркасом, а арматурные сетки каждого из пакетов связываются между собой и с оставляемым жестким каркасом. Размер пакета подбирается таким образом, чтобы обеспечить неизменяемость его при транспортировке, монтаже или при динамическом воздействии от усилия струи при торкретировании мелкозернистой бетонной смесью. Каркас рассчитывается на воздействие от массы термоармопакетов, временных нагрузок от массы монтажников, ветровой и снеговой и не рассчитывается на эксплуатационные воздействия.

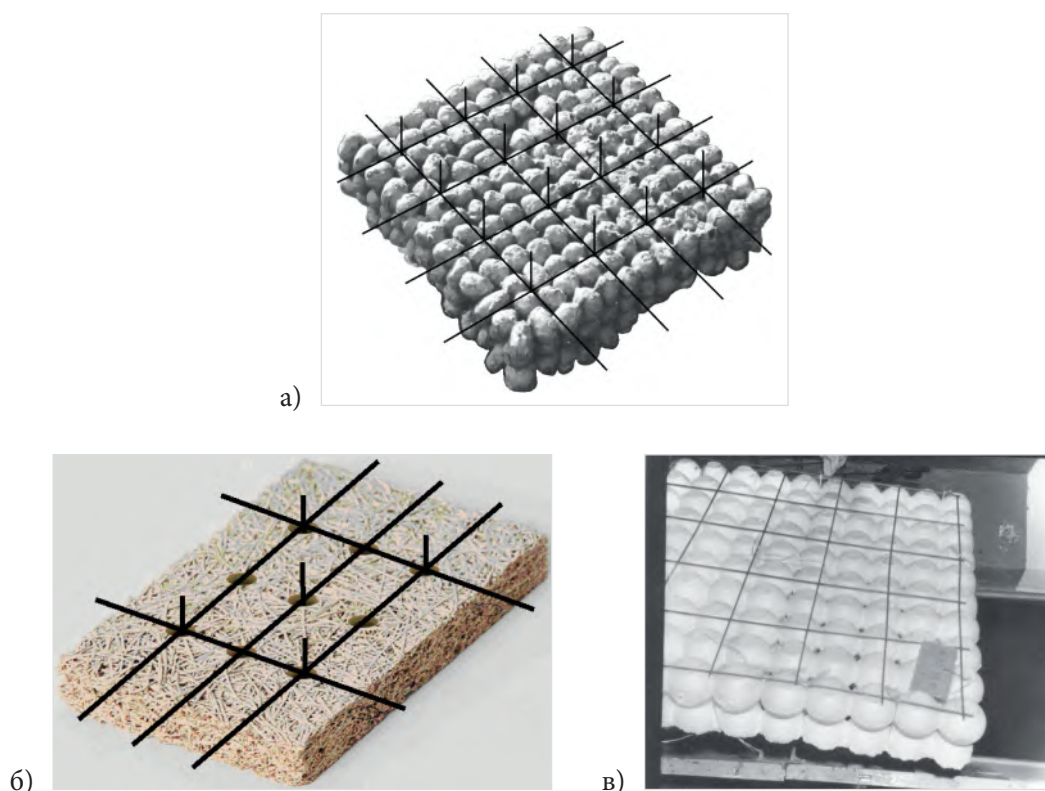


Рис. 2. Термоармопакеты из плит со структурирующей макроструктурой: **а** — из крупнопористого керамзитобетона; **б** — из арболита или фибролита с отверстиями для жёстких связей внешних несущих бетонных слоёв панели; **в** — из пенополистирола

Проведённый анализ объёмно-планировочных параметров зданий свинарников дал возможность определить основные доказательства экономической эффективности круглых сельскохозяйственных зданий. Ими являются высокий показатель использования полезной площади, малая протяженность проездов и проходов внутри здания, благоприятные объёмно-планировочные условия для механизации основных производственных процессов. И, что немаловажно, поддержания в помещениях для животных требуемого теплового режима за счет уменьшения площади наружных стен и применения архитектурно-конструктивно технологической системы с использованием термоармопакетов и нанесением на их поверхности торкретированием бетонной смеси. Данная технология рассчитана на строительство практически без привлечения тяжёлого подъёмно-транспортного оборудования.

Библиографический список

1. Пустоветов Г. И. О развитии архитектурной типологии сельских общественных и производственных зданий // Региональные архитектурно-художественные школы. 2011. № 1. С. 3 – 8.
2. Кузнецов Е. Н. Использование термопанелей из торфа для утепления жилых и производственных зданий в сельской местности // Вестник науки. 2020. Т. 4. № 12 (33). С. 161 – 165.
3. Бурчик В. В., Кузьмич Н. П. Строительство овцеводческих и козоводческих объектов как направление производственного развития села // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2019. № 2 (40). С. 55 – 59.

4. Черных О. В. К вопросу о состоянии и структуре основных средств в сельскохозяйственных предприятиях Курской области // Научный журнал молодых ученых. 2024. № 2 (37). С. 121 – 127.
5. Синянский И. А., Кошкин А. К., Леоненко И. А. Предложения по архитектурно-планировочным, конструктивным и экономическим решениям мобильных зданий для агропромышленного комплекса (АПК) // Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 120 – 126.
6. Вершинин В. П., Дмитриев И. К. Бионические принципы легких оболочек // Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 94 – 99.
7. Окольников Г. Э., Хамракулов Р. А., Сулов Ю. В. Перспективы развития железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов // Системные технологии. 2016. № 1 (18). С. 7 – 17.

ANALYSIS AND SUGGESTIONS ON SPATIAL PLANNING AND STRUCTURAL SOLUTIONS FOR ROUND AGRICULTURAL BUILDINGS

I. A. Sinjanskij *
A. K. Koshkin *
I. A. Leonenko *
E. A. Shnyrenkov **

* State University Of Land Use Planning (SULUP), Moscow

** Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

The article provides a comparative analysis of domestic and foreign experience in the design, construction and operation of agricultural production buildings, depending on their spatial planning and design parameters. It is based on the variants of buildings of pigsty feedlots rectangular, widely used, and round in plan. The main parameters were compared in terms of coverage areas and exterior walls, useful and communication areas. Significantly better indicators of round buildings in terms of plan compared to rectangular ones have been revealed. Variants of the device of load-bearing and self-supporting external round walls using thermoarm packages are proposed.

The Keywords

Agro-industrial complex, pigsty-feedlot, spatial planning indicators, architectural expressiveness, technical and economic feasibility, group machine, lair part, manure part, thermoarm packages.

Date of receipt in edition

08.12.2024

Date of acceptance for printing

20.12.2024

Ссылка для цитирования:

И. А. Синянский, А. К. Кошкин, И. А. Леоненко, Е. А. Шныренков. Анализ и предложения по объёмно-планировочным и конструктивным решениям круглых в плане сельскохозяйственных зданий. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 57 – 63.



ДОЛГОСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Ю. С. Захаров

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы долгосрочного планирования ремонтно-восстановительных мероприятий на канализационных сетях. Подробно изложены подходы и рекомендации по решению взаимосвязанных технических, экономических и юридических задач, связанных с достижением целей, сформулированных управляющей компанией в рамках долгосрочной стратегии капитального ремонта и реконструкции сетей.

Процесс восстановления канализационной сети, как замкнутой регулируемой системы, при реализации мероприятий капитального ремонта и реконструкции рассматривается как непрерывный процесс, который нельзя ограничивать локальным временным интервалом, за пределами которого восстановительные мероприятия не требуются.

Ключевые слова

Водоотводящие сети, оценка, стоимость, капитальный ремонт, реконструкция, восстановление, стратегия.

Дата поступления в редакцию

12.11.2024

Дата принятия к печати

22.11.2024

Безаварийная эксплуатация систем водоотведения требует, чтобы управляющие компании наряду с постоянным мониторингом состояния трубопроводов канализационных сетей, сопоставляли результаты ремонтно-строительных мероприятий с плановыми показателями долгосрочной стратегии капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей, анализировали возможные причины несоблюдения сроков производства работ и плана финансирования. Изменения проектных решений должны быть обоснованы.

Информационной основой для разработки долгосрочных планов капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей с горизонтом планирования не менее 20 лет и оценки эффективности реализации ремонтно-строительных работ, является их регулярное обследование [1, 2].

Капитальный ремонт и реконструкция сетей проводятся с целью обеспечения надежного непрерывного водоотведения хозяйственно-бытовых, промышленных сточных вод, а также атмосферных осадков, талых поверхностных или подземных вод. Надежность водоотведения обеспечивается за счет своевременного выполнения локального ремонта или восстановления трубопроводов (при капиталь-

ном ремонте), изменения (при реконструкции) эксплуатационных характеристик сетей, оптимизации затрат на обслуживание и внедрение ресурсосберегающих технологий [3, 4].

Планирование и реализацию мероприятий капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей следует рассматривать как непрерывный процесс в замкнутой системе, который нельзя ограничивать локальным временным интервалом, за пределами которого никакие восстановительные мероприятия не требуются (рис. 1). Каждая управляющая компания должна вести системную работу по обеспечению работоспособного состояния канализационной сети, что предполагает достижение в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе целей, установленных в рамках долгосрочной стратегии капитального ремонта и реконструкции сетей.



Рис. 1. Непрерывный процесс капитального ремонта и реконструкции канализационной сети

Чтобы обеспечить успешную реализацию стратегии капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей, следует решить комплекс взаимосвязанных технических, производственно-экономических и юридических задач, перечень которых должен формироваться с учетом состояния трубопроводов системы водоотведения и условий их эксплуатации. Приоритетность решения задач определяется фактическим состоянием системы трубопроводов и положениями действующего законодательства [5, 6, 7].

Результатом стратегического планирования капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей, является создание приоритетного списка ремонтно-строительных мероприятий, который предусматривает решение технических, экономических и юридических задач, исходя из установленных управляющей компанией долгосрочных целей (рис. 2).

Наиболее важными техническими задачами при капитальном ремонте и реконструкции канализационных сетей являются обеспечение их герметичности, статической устойчивости, пропускной способности и надежности при эксплуатации [8, 9].

Несмотря на то, что перед вводом в эксплуатацию канализационных трубопроводов обязательно проводятся их испытания на герметичность, требование к герметичности действующих сетей в нормативной документации отсутствуют.

Следует отметить, что в большинстве используемых при стратегическом планировании ремонтно-восстановительных мероприятий методик оценки состояния канализационных сетей, критерий герметичности является определяющим. Герметичность канализационных трубопроводов позволяет избежать вымывания грунта в их основании при эксфильтрации сточных вод и, как следствие, возникновения механических повреждений; инфильтрации грунтовых вод в систему водоотведения, что может привести к перегрузке очистных сооружений, а также загрязнения окружающей среды. Обеспечение герметичности трубопроводов и колодцев, а также специальных сооружений канализационной сети является долгосрочной задачей управляющей компании.

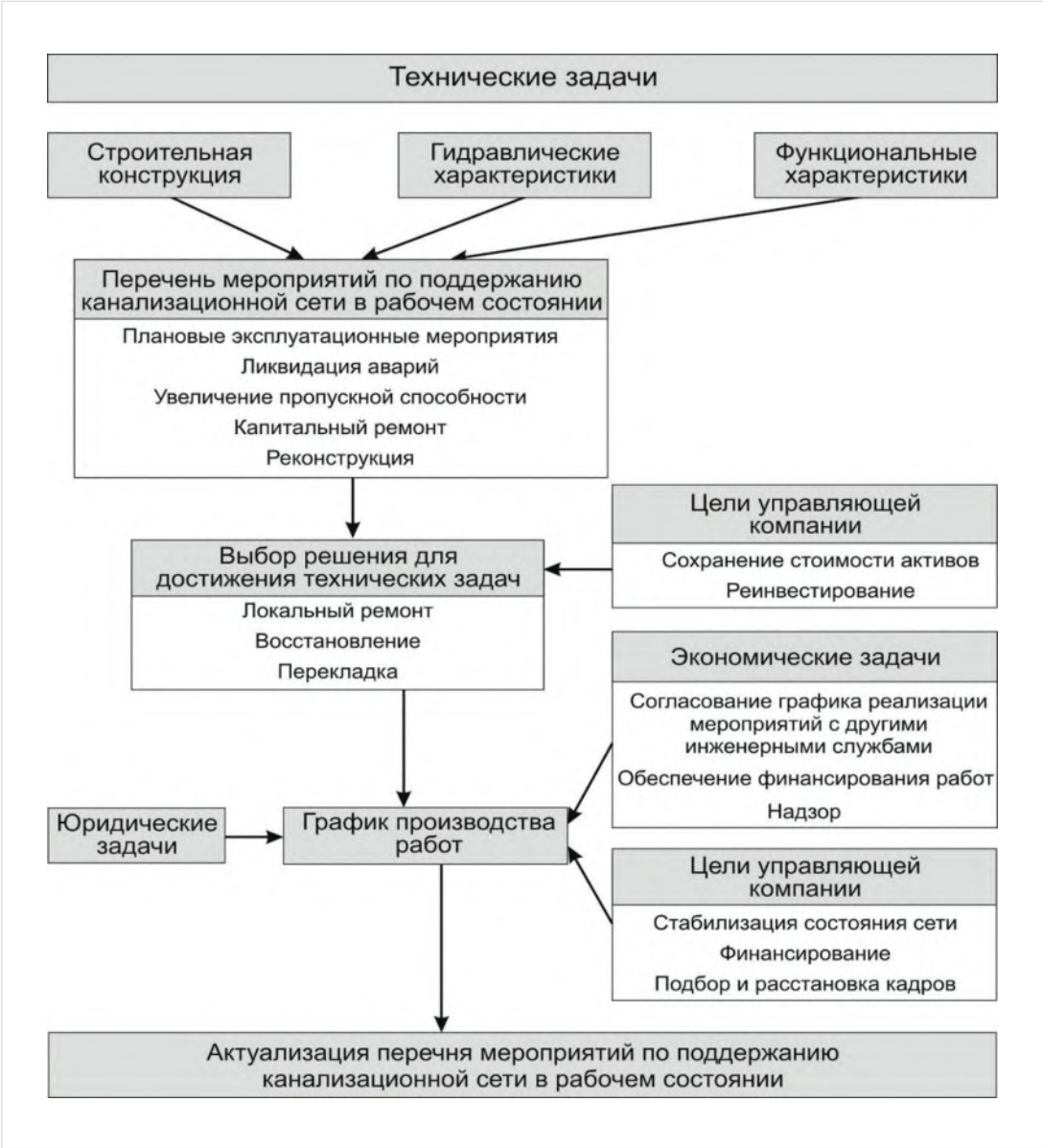


Рис. 2. Процесс создания перечня приоритетных мероприятий

При определении приоритетности ремонтных мероприятий, по восстановлению герметичности интервалов трубопровода, следует учитывать состав отводимых сточных вод, функциональные и конструктивные отличия сетей хозяйственно-бытовой и ливневой, раздельной и смешанной канализации,

а также повышенные требования к герметичности канализационных трубопроводов в водоохранных зонах и районах с высоким уровнем грунтовых вод.

В настоящее время оценка герметичности трубопроводов системы водоотведения проводится на основании анализа дефектов и повреждений конструкции трубопроводов, выявленных при визуальном обследовании. Важным индикатором негерметичности трубопроводов системы водоотведения в районах с высоким уровнем грунтовых вод является увеличение объема отводимых сточных вод.

Визуальное обследование позволяет оценить состояние строительной конструкции трубопроводной сети, определить интервалы, подлежащие капитальному ремонту или реконструкции, и предполагаемый объем строительных работ, но результаты визуального обследования не позволяют обнаружить все источники инфильтрации грунтовых вод и эксфильтрации сточных вод.

Однако, если в результате визуального обследования негерметичные участки не обнаружены, объем водоотведения стабилен, то можно принять допущение, что трубопроводная система герметична.

В тоже время, при эксплуатации канализационных трубопроводов в районах с высоким уровнем грунтовых вод, предотвращение их поступления в трубопроводную сеть может стать решающим, а иногда и основным фактором, определяющим всю стратегию реализации ремонтно-строительных мероприятий. В зависимости от площади бассейна стока может потребоваться разработка отдельного проекта по устранению источников инфильтрации грунтовых вод.

При решении задачи герметизации поврежденных трубопроводов в первую очередь нужно определить источники инфильтрации грунтовых вод, концепцию их устранения, в том числе последовательность реализации ремонтно-восстановительных мероприятий. Например, работы по устранению источников эксфильтрации сточных вод и /или инфильтрации грунтовых вод с использованием технологий локального ремонта должны быть выполнены в краткосрочной перспективе (как правило, в течение 5 лет). В то время как герметизация трубопроводов с использованием гибких полимерных рукавов, ввиду более высокой стоимости работ проводится как среднесрочной (до 10 лет) и долгосрочной (в течение 20 лет) перспективе.

Чтобы обеспечить выполнение своих функций, канализационные трубопроводы должны быть статически устойчивыми, что предполагает их способность в течение всего срока службы выдерживать внешние и внутренние нагрузки.

Оценить состояние действующих канализационных трубопроводов и классифицировать их с точки зрения статической устойчивости, можно с высокой степенью достоверности на основании результатов визуального обследования. Результаты классификации позволяют ограничить круг возможных технологических решений при капитальном ремонте и реконструкции трубопроводов [10]. Если при визуальном обследовании канализационных, проведенном с соблюдением нормативных требований, механических повреждений труб, в первую очередь продольных и поперечных трещин, не обнаружено, то можно считать, что трубопровод, на момент обследования, обладает необходимой статической устойчивостью.

Статическая устойчивость канализационных колодцев также оценивается визуально.

При оценке статической устойчивости трубопровода с продольными трещинами следует выполнить проверочный расчет системы «трубопровод-грунт» с учетом толщины слоя грунта над шельгой и транспортных нагрузок. Также могут потребоваться исследования механических свойств грунта в зоне заделки трубопровода.

Для определения интервалов, где требуются ремонтно-восстановительные мероприятия для обеспечения требуемой статической устойчивости, управляющая компания должна использовать информационную систему (кадастр сети). Кадастр сети должен содержать информацию о трубопроводных

сетях системы водоотведения, необходимую для планирования эксплуатационных и ремонтно-восстановительных мероприятий. Примерный перечень данных для хранения в кадастре сети приводится в *табл. 1*.

Таблица 1

Данные об интервалах трубопровода и колодцах для хранения в кадастре сети	
Обязательная информация	Дополнительная информация
Колодцы	
Обозначение колодца	Год постройки
Географическое положение объекта	Вид и конструкция люка
Размеры горловины и рабочей камеры	Смещение люка относительно оси колодца
Форма колодца	Адрес (название улицы)
Вид колодца и его функционал	
Параметры сточных вод	
Интервалы	
Код интервала	Профиль
Направление стока	Год постройки
Длина интервала	Уровень грунтовых вод
Форма сечения, размеры и материал труб	Адрес (название улицы)
Уклон	Результаты ТВ-обследования
Вид трубопровода (самотечный, напорный)	Результаты проверки на герметичность
Параметры сточных вод	
Система водоотведения	

Следует отметить исключительную важность знания года ввода трубопровода в эксплуатацию. Год ввода в эксплуатацию позволяет оценить качество и долговечность трубной продукции, использованной при строительстве канализационных сетей и, как следствие, остаточный срок службы трубопроводов с точки зрения статической устойчивости.

Низкое качество трубной продукции, использовавшейся при строительстве трубопроводов в середине XX века, стало причиной их высокой аварийности и выхода из строя в течение планового срока службы [11 – 14].

При потере трубопроводом статической устойчивости, производится оперативная перекладка поврежденного участка. Если предполагается восстановление интервала с использованием семейства технологий «труба в трубе», то статическая устойчивость восстановленного интервала в течение не менее 50 лет должна быть подтверждена расчетным путем.

Управляющая компания должна обеспечить надежную эксплуатацию канализационной сети, а именно:

- заданную пропускную способность сети
- безопасное отведение сточных вод;
- поддержание системы водоотведения в работоспособном состоянии (независимо от состояния строительной конструкции).

Если информационной основой для планирования капитального ремонта или реконструкции трубопроводов являются результаты их визуального обследования, то для оценки надежности эксплу-

атации систем водоотведения используется информация о частоте возникновения подпора. Следует отметить, что оценка пропускной способности канализационной сети является первым шагом при разработке долгосрочного плана капитального ремонта и реконструкции.

Для обеспечения надежной эксплуатации сетей необходимо обеспечить свободную проходимость трубопроводов, используя их периодическую очистку. Частота очистки зависит от скорости образования отложений на конкретном участке сети.

На основании анализа количества намываемой при очистке трубопровода массы, можно диагностировать интервалы, где происходит интенсивное заиливание трубопровода, что ухудшает его гидравлические характеристики. Эту информацию следует учитывать при планировании реконструкции сетей. Кроме того, полученные результаты позволяют оптимизировать планы промывки сети, что является серьезным потенциалом для экономии средств при реализации мероприятий по текущему обслуживанию систем водоотведения.

Разработка стратегии реконструкции канализационных сетей невозможна без учета величины тарифа на водоотведение. Действующие в Российской Федерации тарифы не позволяют управляющим компаниям за счет поступлений от потребителей в полном объеме выполнить реконструкцию сетей. Главной предпосылкой для разработки технико-экономического обоснования стратегии реконструкции и привлечения инвестиций является знание стоимости и остаточного срока службы канализационной сети.

Новое строительство или реконструкция канализационных сетей, особенно в крупных мегаполисах, требуют больших временных и финансовых затрат. Для решения этих комплексных задач необходимо определение и реализация в ограниченном промежутке времени объемов строительных работ на сети с учетом долгосрочного планирования.

Предотвращение разрушения сетей за счет своевременного капитального ремонта или реконструкции и, обусловленное этим, поддержание на заданном уровне или увеличение их балансовой стоимости, играет важную роль с точки зрения обеспечения надежности (принципа продолжительного использования) эксплуатации систем водоотведения.

Различные циклы строительства канализационных сетей, применение различных технологий и конструкционных материалов, позволяют прогнозировать сильные колебания объемов необходимых инвестиций для поддержания надежного функционирования систем водоотведения.

Таким образом, реализация целей управляющей компании требует решения следующих производственно-экономических задач:

- сохранение или поддержание стоимости сетей на определенном уровне;
- разработка и реализация программы финансирования ремонтно-восстановительных мероприятий;
- стабилизация объемов перекладки трубопроводов за счет применения долговечных материалов и современных бестраншейных технологий строительства, капитального ремонта и реконструкции сетей.

Оценка стоимости канализационной сети, как материального актива, отражает существующее и может быть использована для прогнозирования будущего состояния сети.

На основании вышеизложенного управляющая компания может разработать долгосрочный план ремонтно-строительных мероприятий на основании стратегии сохранения стоимости чистых активов системы водоотведения. Использование этой стратегии позволит управляющей компании обосновать возможность решения долгосрочных производственно-экономических задач. План финансирования позволит контролировать изменение стоимости сети, выявлять отклонения плановых показателей на

ранней стадии и, при необходимости, корректировать перечень ремонтно-восстановительных мероприятий.

При разработке стратегии капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей, а также при непосредственной реализации ремонтно-восстановительных мероприятий, ввиду постоянного совершенствования законодательства и комплексности решаемых технических, экономических задач, требуется решать большое количество юридических задач, связанных соблюдением положений, установленных действующим законодательством, подзаконными актами или техническими регламентами.

На основе результатов, полученных при реализации мероприятий по капитальному ремонту и реконструкции канализационных сетей управляющая компания должна регулярно анализировать и, при необходимости, корректировать свой план производства работ, исходя из целесообразности и эффективности запланированных мероприятий. В зависимости от полученных результатов также может потребоваться коррекция установленных при планировании целей или задач.

Библиографический список

1. СП 272.1325800.2016 Системы водоотведения городские и поселковые. Правила обследования (с Изменением № 1).
2. Захаров Ю. С., Информационно-аналитическая основа для разработки стратегии планирования реконструкции водоотводящей сети// БСТ: Бюллетень строительной техники, 2022, № 6 (1054), с. 30–33.
3. СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения» (с Изменением № 1, 2).
4. СП 129.13330.2019 «СНиП 3.05.04-85 Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации».
5. Gemeinschaftspublikation DIN EN 14654-2/ Arbeitsblatt DWA-A 143-1 Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Abwasserleitungen und -kanälen—Teil 2: Sanierung/ Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden—Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen Februar 2015, 51 Seiten.
6. DWA-A 143-14— Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden—Teil 14: Entwicklung einer Sanierungsstrategie— August 2017; Stand: korrigierte Fassung, Dezember 2018.
7. Захаров Ю. С., Технические аспекты реконструкции трубопроводов канализационных сетей // БСТ: Бюллетень строительной техники, 2023, №7 (1067), с. 16–19.
8. Ремонт и восстановление самотечных водоотводящих сетей. Монография // Ю. С. Захаров, В. А. Орлов. — Москва: Издательство АСВ, 2023. — 266 с. ISBN 5-4365-1342-5.
9. DIN EN 752 — Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden — Kanalmanagement — Juli 2017, 100 Seiten.
10. СП 273.1325800.2016 Водоснабжение и водоотведение. Правила проектирования и производства работ при восстановлении трубопроводов гибкими полимерными рукавами (с Изменением № 1).
11. Орлов В. А., Чухин В. А., Нечитаева В. А. Меры предупреждения эмиссии запахов от систем канализации в атмосферу // Системные технологии. 2020. № 3 (36). С. 64–70.

12. Орлов В. А., Крашенинина Ю. Е. Запах в самотечных водоотводящих сетях и мероприятия по борьбе с ним // Системные технологии. 2019. № 1 (30). С. 41 – 46.

13. Орлов В. А., Орешкина Р. Д. Технология запахивания трубопроводов в грунт // Системные технологии. 2019. № 1 (30). С. 71 – 75.

14. Захаров Ю. С. Европейская практика статических расчетов подземных трубопроводов самотечных систем водоотведения // Системные технологии. 2021. № 4 (41). С. 97 – 102.

LONG-TERM PLANNING OF CAPITAL REPAIRS AND RECONSTRUCTION OF SEWER NETWORKS

Y. S. Zakharov

Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow

Abstract

The article examines the issues of long-term planning of repair and restoration activities on sewer networks. Approaches and recommendations for solving interrelated technical, economic and legal problems related to achieving the goals formulated by the management company within the framework of the long-term strategy of capital repairs and reconstruction of networks are described in detail.

The process of restoration of the sewer network, as a closed regulated system, during the implementation of capital repairs and reconstruction activities is considered as a continuous process that cannot be limited to a local time interval, outside of which restoration activities are not required.

The Keywords

Drainage networks, assessment, cost, overhaul, reconstruction, restoration, strategy.

Date of receipt in edition

12.11.2024

Date of acceptance for printing

22.11.2024

Ссылка для цитирования:

Ю. С. Захаров. Долгосрочное планирование капитального ремонта и реконструкции канализационных сетей. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 64 – 71.



КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ И ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА

С. Г. Саиян ^{*}/^{**}/^{***}

^{*} Научно-образовательный центр компьютерного моделирования им. А. Б. Золотова (НИУ МГСУ), г. Москва

^{**} Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

^{***} Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), г. Москва

Аннотация

Одним из направлений цифровизации строительной отрасли является цифровой двойник зданий и сооружений. Цифровой двойник — это математическая модель (чаще всего компьютерная), представляющая собой виртуальный аналог реального объекта, отражающий наиболее ключевые характеристики и динамически воспроизводящий его состояние при различных сочетаниях внешних или внутренних условий. Наиболее важным свойством для цифровой модели объекта строительства является корректное отображение физического объекта, а также внешних воздействий. Наибольшую сложность вызывает описание ветрового воздействия, которое является, пожалуй, важнейшим фактором для механической безопасности высотных зданий и сооружений. Большинство цифровых двойников не учитывают в своих моделях реальное ветровое воздействие, которое зависит от множества факторов, к которым относят: окружающую застройку, рельеф местности, экранирование территории посредством зеленых насаждений и различных конструкций. Предлагается усовершенствовать системы цифровых двойников, посредством структуры, состоящей из трех блоков: карты ветрового микрорайонирования, предварительного численного моделирования аэродинамики и динамического отклика, а также существующей системы мониторинга, что позволит полноценно воссоздать цифровую математическую модель объекта. Назначением цифрового двойника является: диагностика состояния конструкций и её структурных изменений, а также прогнозирование остаточного ресурса. Карта ветрового микрорайонирования необходима для отслеживания скорости ветра на метеостанции и определения его расчетных значений в зоне объекта (посредством CFD-моделирования) с возможностью определения максимального динамического отклика соо-

Ключевые слова

Цифровой двойник, высотные здания, механическая безопасность, численное моделирование, аэродинамика, ветровые воздействия, ветровое микрорайонирование, CFD-моделирование, динамический отклик, городская застройка, коэффициент усиления ветра.

Дата поступления в редакцию
22.12.2024

Дата принятия к печати
24.12.2024

ружения (посредством конечно-элементного анализа), избавляя от необходимости мониторинга скоростей ветра непосредственно на объекте. Определение коэффициентов усиления ветра и углов сдвига розы ветров позволяет скорректировать показания метеостанций в условиях городской застройки, и определить реальную аэродинамическую ситуацию.

Введение

Наряду с сейсмическими воздействиями, ветровые воздействия являются определяющими в вопросах, касающихся механической безопасности зданий и сооружений. С увеличением высотности зданий и сооружений, ветровое воздействие вносит все более существенный вклад в напряженно-деформированное состояние несущих конструкций.

Динамический вклад в напряженно-деформированное состояние становится настолько значительным, что по своей интенсивности может превосходить даже сейсмические воздействия. На **рисунке 1** показаны соотношения относительной спектральной плотности мощности и частот (периодов) колебаний к приблизительным интервалам частот собственных колебаний некоторых видов строительных конструкций. Из рисунка видно, что хоть и сейсмическое воздействие является более «мощным», чем ветровое воздействие, однако, реализуется на более высоких частотах колебаний, что покрывает интервал наиболее энергоемкого спектра при частотах, близких к собственным частотам колебаний для нормальных по высоте зданий.

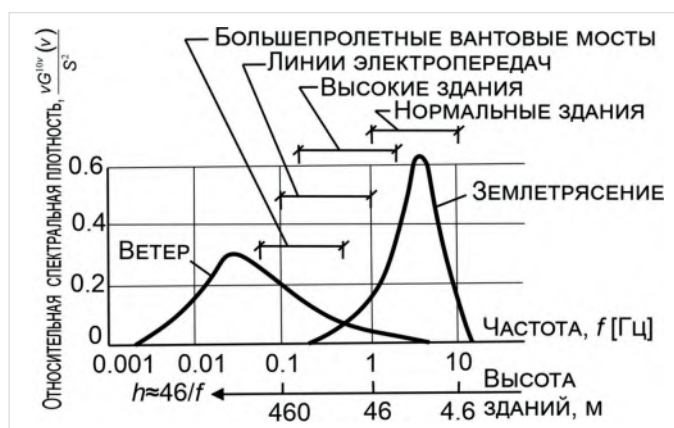


Рис. 1. Сопоставление спектральных плотностей мощности скорости ветра и ускорения грунта с частотами собственных колебаний основных типов сооружений [1, 2]. Ординаты представлены в безразмерной форме; спектр ветра вычислен для $\mu_{V10} = 20$ м/с и $S_{V10}^2 = 2400$ м²/с² (где γ — коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности грунта, и принимаемый обычно в пределах от 0.005 до 0.015); спектр землетрясения соответствует значениям $\mu_a = 0$ и $S_{V10}^2 = 0.38$ м²/с⁴.

Ветровое воздействие, являясь стохастическим и неустойчивым фактором нагружения, требует тщательного анализа в условиях городской застройки. Существующие нормативные документы и эксперименты в аэродинамических трубах не способны охватить полный спектр реальных ветровых воздействий в условиях городской застройки и базируются, в вопросах назначения ветровых параметров, на данные ветровых карт районирования, представленные в нормативном документе СП20.13330.2016.

Карта ветрового районирования СП 20.13330.2016 года демонстрирует снижение ветровых районов для ряда регионов по сравнению с редакцией СНиП 2.01.07-85 1985 года. Примерами подобных городов являются Екатеринбург, Барнаул, Пермь, Чебоксары и других крупных городов России. Снижение может быть связано с эффектами экранирования метеостанций, расположенных на застроенных территориях, что приводит к занижению регистрируемых скоростей ветра. На **рисунке 2** представлена карта, демонстрирующая изменения ветровых районов по сравнению с предыдущими нормативами.

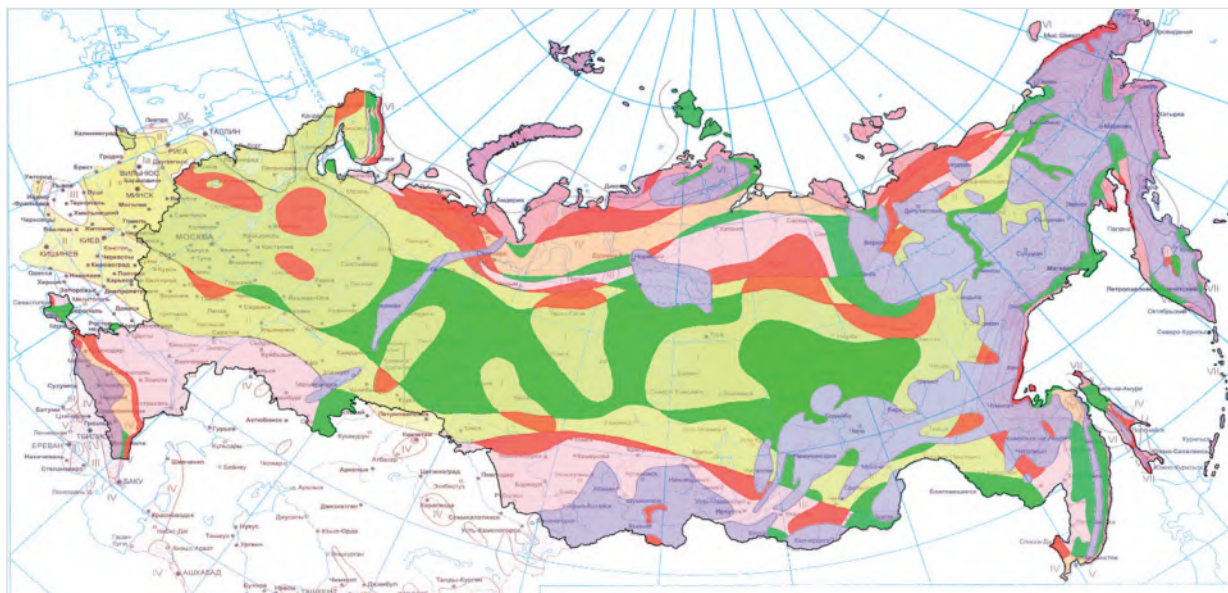


Рис. 2. Карта ветрового районирования территории Российской Федерации. Сравнение карт СП 20.13330.2016 и СНиП 2.01.07-85: **зеленое** — значение ветрового района уменьшилось; **красное** — значение ветрового района увеличилось; **фиолетовое** — нет информации в СНиП 2.01.07-85 (горные и малоизученные территории); **розовое и желтое** — без изменения.

Показанные изменения подчеркивают необходимость разработки более детализированных методов, таких как ветровое микрорайонирование, чтобы уточнить данные о ветровых нагрузках и адаптировать их для условий реальной городской застройки.

Для дальнейшего исследования напряженно-деформированного состояния и структурных изменений систем высотных зданий и сооружений, которое будет меняться с течением времени при действии ветровых и иных нагрузок различной интенсивности, необходимо прогнозирование опасных ситуаций, для которых предлагается технология цифрового двойника на базе численного моделирования.

Цифровизация строительной отрасли развивается по многим направлениям. Одним из этих направлений является создание так называемых «цифровых двойников объектов строительства». В концепции строительной отрасли и безопасности зданий и сооружений мы выделяем наиболее значимую проблему, связанную с мониторингом состояния несущих и ограждающих конструкций, прогнозирования ресурса и отслеживания структурных изменений и диагностики состояния конструкций, на основе которого возможно создание цифровой модели объекта.

Цифровой двойник — технология, позволяющая на основе результатов численного моделирования дублировать и воспроизводить реальное состояние зданий и сооружений при различных внешних или

внутренних условиях. По своей сути является математической моделью (чаще всего компьютерной), которая представляет собой виртуальный аналог реального объекта, отражающий наиболее ключевые характеристики. На примере зданий и сооружений виртуальная модель (цифровой двойник) представляет собой некоторый массив обновляемых данных, содержащий как информацию о состоянии элементов здания или сооружения, так и изменение физического состояния здания или сооружения в режиме реального времени. Все это позволит дополнить существующую систему мониторинга и свести их показания к некоторым критериальным оценкам состояния конструкций.

На **рисунке 3** представлены некоторые характерные системные модели, представляющие собой цифровые двойники [3 – 7].

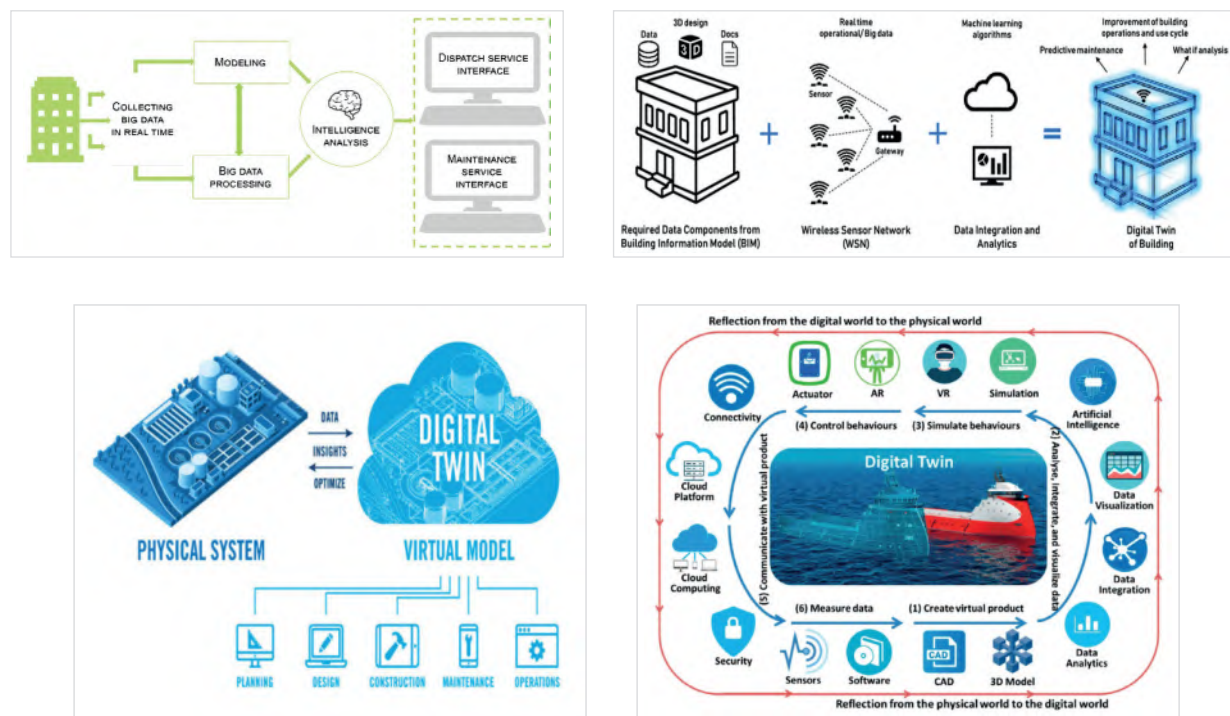


Рис. 3. Системные модели цифровых двойников [3 – 7]

Большинство цифровых двойников не учитывают в своих моделях реальное ветровое воздействие, которое зависит от множества факторов, к которым относят: окружающую застройку, рельеф местности, экранирование территории посредством зеленых насаждений и различных сооружений и конструкций. Предлагается усовершенствовать системы путем учета реального ветрового воздействия, полученного на основе численного моделирования аэродинамики и динамики сооружений, а также применения уточненных метеоданных. Подобное возможно реализовать только посредством численного моделирования ветровых воздействий на рассматриваемые здания и сооружения. Предлагается методика ветрового микрорайонирования (аналогичная широко уже применяемому микросейсмо-районированию), позволяющей более детально оценивать аэродинамическую ситуацию в условиях городской застройки. Базироваться система ветрового микрорайонирования будет на результатах численного моделирования аэродинамики для городской территории с расчетом «полей коэффициентов усиления ветра» относительно данных метеостанции. Определение динамического отклика зданий и сооружений в рамках цифрового двойника проводится на основе прочностного конечно-элементного анализа с использованием суперэлементного подхода.

1. Методика численного моделирования аэродинамики и динамического отклика

1.1. Моделирование ветровых нагрузок и воздействий

Расчеты ветровых потоков и воздействий в составе цифрового двойника сводятся в общем случае к численному решению системы трехмерных нестационарных нелинейных уравнений гидрогазодинамики, основанное на уравнениях Навье-Стокса, описывающих движение жидкости или газа. В практических задачах определения ветровых воздействий на здания и сооружения вводят дополнительные обоснованные незначительностью влияния гипотезы. Потоки принимаются несжимаемыми ($\rho = \text{const}$), изотермическими ($T = \text{const}$), а внешние массовые силы не учитываются. Тогда нестационарные уравнения гидрогазодинамики примут следующий вид [8]:

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]; \\ \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right]; \\ \rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right].\end{aligned}\quad (1)$$

Кроме того, должны удовлетворяться уравнения неразрывности потока (сохранения массы) и состояния:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

$$\rho = \text{const}, \quad (3)$$

где: u, v, w — искомые компоненты вектора скорости (по осям x, y, z), p — давления, t — физическое время, μ — динамический коэффициент вязкости для воздуха, ρ — плотность.

Прямое решение уравнений (1) – (3) с учетом вихрей всех масштабов (DNS, Direct Numerical Simulation) при современных вычислительных мощностях практически реализуемо только для очень малых скоростей потока и только для исследовательских задач. Для создания ветровой карты микро-районирования необходимы большие масштабы расчетной области (гораздо большего размера, чем существующие подходы численного моделирования ветровых воздействий на здания и сооружения), в которые должны войти рельефы и местная метеостанция. Поэтому необходимо использовать подходы, связанные с моделированием турбулентности. Используют следующие подходы к моделированию турбулентности [8 – 14]:

- **Large Eddy Simulation (LES):** этот подход является вторым по трудоемкости из существующих после DNS. Идея подхода состоит в «фильтрации» характеристик турбулентного течения от коротковолновой турбулентности, которая описывается подсеточными моделями для вихрей размерами порядка фильтра, а для вихревой турбулентности превышающим размер фильтра, решаются точно;
- **Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes — (RANS / URANS):** подход основан на разложении скорости на осредненную во времени и пульсационную составляющие ($u_i(t) = \bar{u}_i + u_i'(t)$).

В результате соответствующих преобразований уравнений Навье-Стокса появляются дополнительные неизвестные (сдвиговые «рейнольдсовы» напряжения);

- **Detached Eddy Simulation — (DES):** этот подход является комбинацией LES и RANS. Он заключается в том, что отсоединенные энергонесущие вихри в отрывных зонах моделируются LES, а области присоединенных пограничных слоёв моделируются RANS.

Для решения практических наукоемких инженерных задач в современной расчетной практике преобладает применение подхода RANS / URANS, которая обладает достаточной точностью и простотой для использования.

1.2. Моделирование динамического отклика высотных зданий и сооружений

Численное моделирование динамического отклика высотных зданий и сооружений при ветровом воздействии в рамках цифрового двойника основано на методе конечных элементов (МКЭ) в матричной форме перемещений. Для решения основной системы уравнений движения формируются глобальные матрицы жесткости $[K]$, демпфирования $[C]$, матрицы масс $[M]$, а также вектора внешней узловой нагрузки, зависящие от времени $\{F(t)\}$. В качестве искомых функций берется вектор узловых перемещений $\{u(t)\}$. Матричное уравнение движения выглядит следующим образом [8]:

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{F(t)\}. \quad (4)$$

Так как прямое интегрирование уравнений движения вычислительно очень затратно для больших систем, возможно использование технологий суперэлементного моделирования. Суперэлементное моделирование представляет собой «свертку» большеразмерной системы в статическую и динамическую эквивалентную систему (суперэлемент), отражающий наиболее важные интегральные параметры системы. Например, частоты и формы хорошо совпадают только для низших, наиболее энергоемких частот колебаний. В последние годы разработаны различные модификации методов динамического или модального синтеза.

Для расчета динамических характеристик возможно использование метода динамического синтеза подконструкций. Суть метода динамического синтеза подконструкций состоит в переходе от полного набора физических степеней свободы к редуцированному набору обобщенных координат, т. е. для представления перемещений подконструкции используется процедура Релея-Ритца, в которой перемещение представляется в виде суперпозиции базисных векторов (форм колебаний) [15, 16].

В данной записи степени свободы внешних узлов подконструкции (СЭ) обозначаются индексом « m », для остальных, внутренних узлов, входящих в состав суперэлемента — « s ». Вектор физических перемещений можно покомпонентно представить в обобщенных координатах:

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_m \\ u_s \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} u_m \\ y_\delta \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

где y_δ — усеченный набор обобщенных модальных координат, $[T]$ — матрица преобразования.

Для метода фиксированной границы матрица преобразования определяется как:

$$[T] = \begin{bmatrix} [I] & [0] \\ [G_{sm}] & [\Phi_s] \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $[G_{sm}] = -[K_{ss}]^{-1} [K_{sm}]$ — избыточные статические граничные формы, $[\Phi_s]$ — нормальные собственные формы колебаний подконструкции с фиксированными границами. Подставляя преобразование (5) в матричное уравнение движения (4), получим уравнение движения в редуцированном пространстве.

2. Структура цифрового двойника высотных зданий и сооружений при ветровом воздействии

Общая структурная схема цифрового двойника зданий и сооружений при ветровом воздействии приведена на **рисунке 4**. Три крупных «блока» и составляют цифровой двойник высотных зданий и сооружений при ветровом воздействии:

- 1. Ветровое микрорайонирование включает статистические данные ближайшей метеостанции (направление ветра, средняя скорость и в порывах), карты усиления скоростей ветра, верифицированные по наблюдавшимся разрушениям, а также информации об окружающей застройке и рельефе.
- 2. Предварительное численное моделирование ветровой аэродинамики и динамического отклика.
- 3. Существующая система мониторинга, дополнением к которой и является разрабатываемая концепция-методика.



Рис. 4. Структурная блок-схема цифрового двойника зданий и сооружений при ветровом воздействии

Назначением цифрового двойника служит:

- 1. Диагностика состояния конструкций. Данная методика предусматривает калибровку цифрового двойника на показания систем мониторинга. Диагностика состояния заключается в контроле рассогласования данных замеров с результатами модели цифрового двойника (свидетельствующего о возникновении значимых дефектов). Уточненное моделирование позволит локализовать места возникновения проблем в несущей или опорной системе здания или сооружения.

2. Отслеживание структурных изменений конструкции. Данная методика предусматривает определение тенденций изменения свойств конструкции и её внесение в расчетные модели.

3. Прогнозирование остаточного ресурса. Данная методика предоставляет возможность ретроспективного анализа ветрового нагружения. Имея в распоряжении карту ветрового микрорайонирования территории, а также истории показаний метеостанций, можно частично восстановить историю ветрового воздействия, приходящего непосредственно в месте рассматриваемого объекта. В совокупности с моделями усталостного роста, например, представленными в работах авторов [17, 18], можно оценить накопленные разрушения, а также спрогнозировать остаточный ресурс. Предполагая сохранение розы ветров в будущем, возможно спрогнозировать и дальнейшее накопление повреждений вплоть до примерного срока исчерпания несущей способности.

Необходимость проводимого ветрового микрорайонирования для создания цифровых двойников обуславливается вероятностью проявления экстремальных ветровых нагрузок, приводящих к катастрофическим последствиям. Определив расчетные скорости ветра, приведшие к разрушениям конструкций, мы можем верифицировать карту усиления скоростей ветра, позволяющую корректировать показания метеостанции.

Используя такую технологию уже не обязательно иметь датчик замеров скоростей на самом здании, так как верифицированная модель, которая связывает показания метеостанции с расчетными скоростями ветра вблизи рассматриваемого здания, позволит с достаточной точностью определять ветровое нагружение, что важно, например, для обеспечения комфортности верхних этажей (предсказывая временные промежутки, когда здание будет сильно раскачиваться при экстремальных ветрах).

Также подобная технология может войти в состав цифрового города, предсказывая конкретные зоны экстремальных ветровых воздействий на основе показаний метеостанции и позволяя предпринять заранее меры для обеспечения безопасности жизней людей и имущества.

На **рисунке 5** показаны для примера некоторые модели ветрового микрорайонирования для города Барнаул.

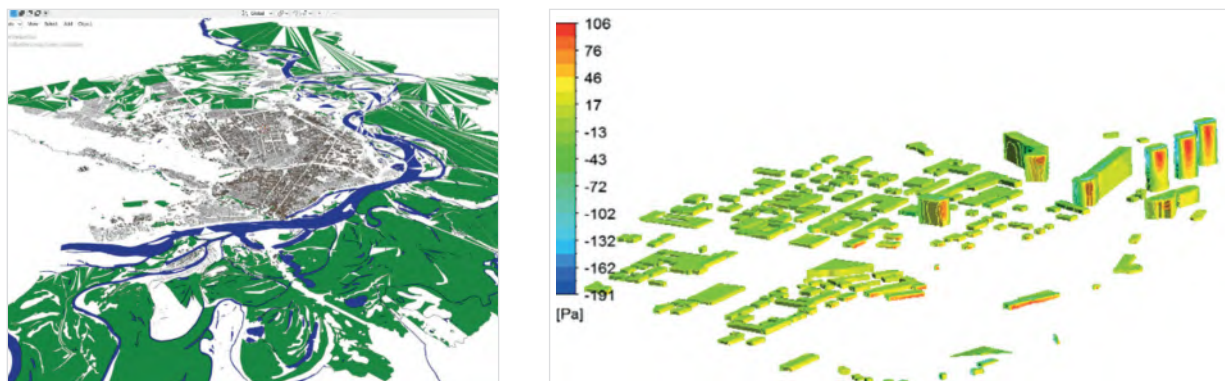


Рис. 5. Модель для оценки аэродинамики и фрагмент ветрового микрорайонирования города Барнаул

В перспективе будут созданы карты ветрового микрорайонирования и иных городов (в частности Екатеринбурга). Для верификации таких моделей используются данные о реально отмеченных разрушениях (повал деревьев и навесов, опрокидывание автомобилей, разрушение кровель и фасадов).

Для примера рассмотрим мощный ураган, который произошел 23.06.2018 в городе Барнаул. Сильнейшие порывы ветра вырывали из земли деревья, крушили рекламные щиты, переворачивали машины. На метеостанции «Научный городок» зарегистрирован «ветер 5 м/с с порывами до 12 м/с», что вполне можно объяснить экранированием рельефом станции (расположенной более чем в 20 км от центра города).

Приведем оценочные расчеты прочности разрушенного ограждения на набережной (**рисунок 6**) во время рассматриваемого урагана в городе Барнаул. Решалась обратная аэро-прочностная задача, т. е. определение расчетной ветровой скорости по расчету предельной нагрузки на конструкцию, приведшей к разрушениям. Параметры расчетной модели: сечение квадратная труба размерами 50×3 мм, прочностные и механические параметры брались, как для стали 08X18H10, геометрические размеры как для типовых ограждающих конструкций набережных.

Были определены предельные ветровые нагрузки, приведшие к разрушению конструкции. Значение расчетной скорости ветра находилась обратной подстановкой в формулу для напора воздуха, определяемого, как $q = \frac{\rho V^2}{2}$. При коэффициенте использования $k > 1$ предполагается разрушение конструкции. По проведенным расчетным исследованиям было установлено, что реальная ветровая скорость в приземной зоне составляла 35 – 40 м/с (соответствует 40 – 50 м/с на высоте метеозамеров 10 м).

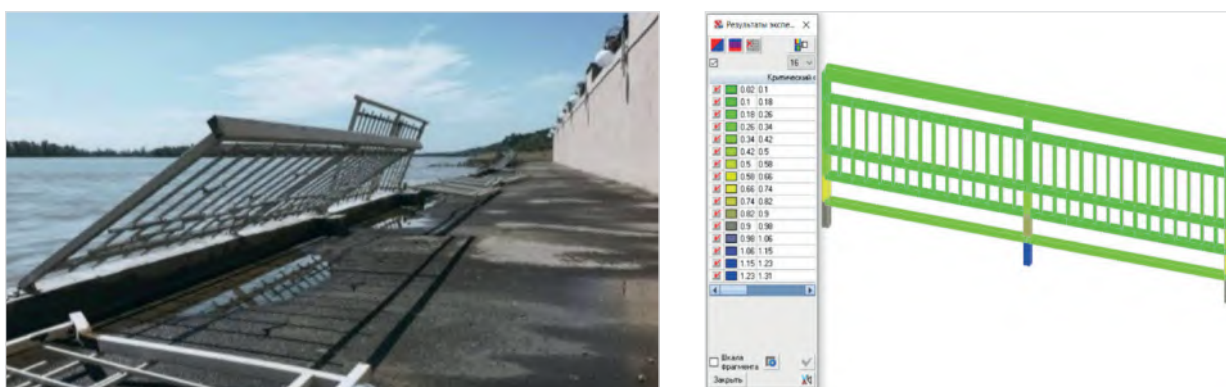


Рис. 6. Разрушение ограждения набережной в городе Барнаул при урагане 23.06.2018 (слева), а также результаты расчетных исследований по определению предельных нагрузок при разрушениях ограждения (справа)

Для верификации таких моделей используются данные о реально отмеченных разрушениях (повал деревьев и навесов, опрокидывание автомобилей, разрушение кровель и фасадов).

В качестве второго примера отмеченных разрушений рассмотрим обратную задачу определения скорости ветра по опрокидыванию автомобиля ГАЗ-3302 «ГАЗель» в городе Новороссийск во время урагана 20 марта 2022 (**рисунок 7**).

$$V \geq \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot l}{C_x \cdot \rho \cdot S \cdot h}}, \quad (7)$$

где: l — ширина автомобиля, h — высота от точки опрокидывания до центра тяжести, ρ — плотность воздуха, g — ускорение свободного падения, m — масса автомобиля, S — площадь проекции автомобиля вдоль фронта ветра, C_x — аэродинамический коэффициент.



Рис. 7. Опрокидывание автомобиля ГАЗ-3302 «ГАЗель» в городе Новороссийск во время урагана 20 марта 2022 на проспекте Ленина

При подстановке данных параметров в уравнение (7) для случая с опрокидыванием ГАЗ-3302 «ГАЗель» в городе Новороссийск, скорость ветра составляла порядка 42.6 м/с, что значительно превышает скорости по показаниям метеостанций для города Новороссийск (максимальная скорость порывов ветра по данным Gismeteo составляла до 28 м/с). Одной из особых отличительных особенностей подобных обратных задач аэродинамики является то, что ошибка в ветровом давлении в 2 раза приведет к ошибке в скорости ветра в $\sqrt{2}$ раза.

Цифровой двойник на базе ветрового микрорайонирования, предварительного аэродинамического и прочностного анализа, совместно с существующей системой мониторинга зданий и сооружений позволит полноценно воссоздать цифровую математическую модель объекта на ветровое воздействие (рисунк 8). При отслеживании скоростей ветра на метеостанции, можно определить расчетные скорости ветра в зоне объекта и вычислить значение максимального динамического отклика. Согласование показаний метеостанций с аэродинамической ситуацией в застройке возможно с применением гипотезы о линейном масштабировании скоростей, позволяя определять коэффициенты усиления ветра и углов сдвига розы ветров, которые характеризуют взаимосвязь между показаниями метеостанций с реальными скоростями и направлениями ветра (рисунк 8).

Коэффициент усиления ветра $K_{\hat{u}}$ для 24 направлений ветра определяется:

$$K_{Rumb,z}^{\hat{u}} = \frac{u_{Rumb,z}^{(zastr)}}{u_{Rumb,z}^{(meteo)}}, \quad (8)$$

где $u_{Rumb,z}^{(meteo)}$ — скорость ветра в месте расположения метеостанции, $u_{Rumb,z}^{(zastr)}$ — скорость ветра в зоне застройки, полученный на основе аэродинамического моделирования, $Rumb$ — направление ветра (72 направления с шагом 5°), z — абсолютная высота относительно поверхности земли.

Для определения угла сдвига розы ветров:

$$K_{FRW} = \arccos \left(\frac{u_{x,Rumb,z}^{(mateo)} \cdot u_{x,Rumb,z}^{(zastr)} + u_{y,Rumb,z}^{(mateo)} \cdot u_{y,Rumb,z}^{(zastr)}}{\sqrt{\left(u_{x,Rumb,z}^{(mateo)}\right)^2 + \left(u_{y,Rumb,z}^{(mateo)}\right)^2} \cdot \sqrt{\left(u_{x,Rumb,z}^{(zastr)}\right)^2 + \left(u_{y,Rumb,z}^{(zastr)}\right)^2}} \right), \quad (9)$$

где: $u_{y,Rumb,z}^{(mateo)}$, $u_{x,Rumb,z}^{(mateo)}$, $u_{y,Rumb,z}^{(zastr)}$, $u_{x,Rumb,z}^{(zastr)}$ — проекции скоростей ветра на ортогональные оси x и y при фиксированном z .

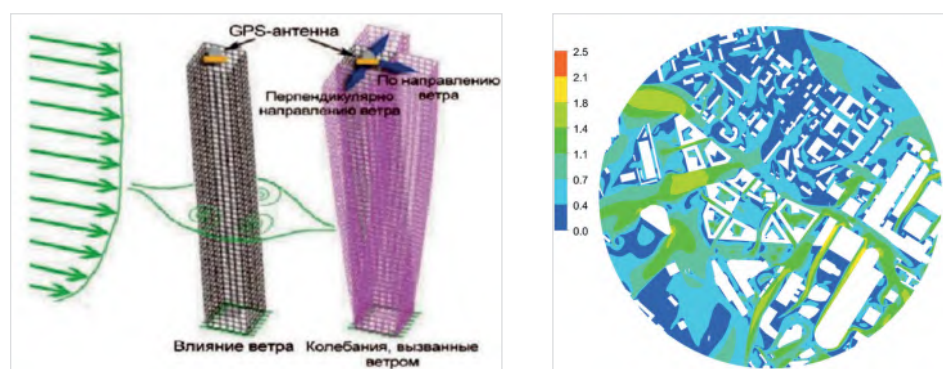


Рис. 8. Пример системы мониторинга высотного здания на ветровые воздействия (слева) и коэффициенты усиления ветра относительно показаний метеостанции (справа)

Подобная система может встраиваться в существующие системы мониторинга и на её базе создать совместную платформу цифрового двойника высотного здания или сооружения на ветровое воздействие, предназначенного для диагностики конструкций и отслеживании её структурных изменений с возможностью прогнозировать остаточный ресурс для выявления уязвимых мест с последующими точечными ремонтами. Поступающие метеопрогнозы с ближайшей метеостанции могут автоматически пересчитываться через карту ветрового микрорайонирования в скорости вблизи высотного здания и определять ветровой напор, на основе которого выдается прогноз перемещений и ускорений с использованием суперэлементных расчетных технологий. Для верификации методики и калибровки «цифровых двойников» может быть выполнен «ретроанализ» динамики высотных зданий.

3. Заключение

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Описаны существующие подходы и проблемы цифровых двойников зданий и сооружений.
2. Предложена усовершенствование систем цифровых двойников путем учета реального ветрового воздействия, полученного на основе численного моделирования аэродинамики и динамического отклика зданий и сооружений.
3. Предложена общая структурная схема цифрового двойника зданий и сооружений при ветровом воздействии, представленная тремя крупными блоками, которые составляют цифровой двойник высотных зданий и сооружений при ветровом воздействии:
 - a. Ветровое микрорайонирование, состоящее из входящих блоков показаний ближайшей метеостанции (направление ветра, средняя скорость и в порывах) и карты скоростей ветра, учитывающая окружающую застройку и рельеф, построенная методами CFD моделирования.
 - b. Предварительного численного моделирования, состоящего из аэродинамических и прочностных расчетов цифрового объекта.
 - c. Существующей системы мониторинга объекта.
4. Разработана методика ветрового микрорайонирования территории, основанная на создании расчетной аэродинамической модели, включающей в себя территорию целого города с застройками, рельефами, а также местных метеостанций и их метеоданных по замерам скоростей и направлений ветра, позволяющая, используя гипотезу о линейном масштабировании скоростей ветра, ввести по-

нятие коэффициентов усиления ветра и углов сдвига розы ветров, которые характеризуют взаимосвязь между показаниями метеостанций (которые могут находиться далеко за пределами города и не отражать объективную аэродинамическую ситуацию в городе) со скоростями и направлениями ветра в условиях городской застройки.

5. Была обоснована важность ветрового микрорайонирования на примере урагана в городе Барнаул, при котором были определены расчетные скорости ветра порядка 35–40 м/с методом обратной аэро-прочностной задачи, при показаниях метеостанции для рассматриваемого периода «ветер 5 м/с с порывами до 12 м/с», а также на примере урагана в Новороссийске, где показания Gismeteo отличаются от реальных скоростей в более, чем 1.5 раза.

Работа (Саияна Сергея Гургеновича) выполнена за счет гранта РНФ № 24-49-02002.

Библиографический список

1. *Ferry-Borges, J., Castanheta, M.* Structural Safety. Lisbon: LNEC, 1971.
2. *Аугусту, Г., Барамта, А., Кашиати, Ф.* Вероятностные методы в строительном проектировании / Пер. с англ. *Ю. Д. Сухова*. М.: Стройиздат, 1988. 584 с. Перевод издания: Probabilistic Methods in Structural Engineering. London, New York: Chapman and Hall, 1984. ISBN 5-274-00212-9.
3. *Дубинский, С., Саиян, С.* Цифровые двойники конструкций высотных зданий с использованием метеоданных и результатов численного моделирования аэродинамики и динамики // Стройкомплекс Среднего Урала. 2021. № 12. С. 52–53.
4. Group of Companies «SODIS Lab» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sodislab.com/ru/digitaltwin> (дата обращения: 22.12.2024).
5. *Siavash, K., Motlagh, H., Jaribion, N., Werner, A., Holmström, L.* Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 147406–147419. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2946515.
6. *Gökmenoğlu, F.* Digital Twin [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/deico/digital-twin-2c5b5462e3cf> (дата обращения: 22.12.2024).
7. *Tao, F., Fangyuan, S., Ang, L., Qinglin, Q.* Digital twin-driven product design framework // International Journal of Production Research. 2018. Vol. 57. P. 1–19. DOI: 10.1080/00207543.2018.1443229.
8. Theory Reference. Release 2024R1. Canonsburg: ANSYS Inc., 2024.
9. *Белостоцкий, А. М., Акимов, П. А., Афанасьева, И. Н.* Вычислительная аэродинамика в задачах строительства. М.: АСВ, 2017. 720 с.
10. Методическое пособие «Математическое (численное) моделирование ветровых нагрузок и воздействий» (к СП 20.13330.2016). М.: ФАУ ФЦС Минстроя России, 2020. Разработано ЗАО НИЦ СтаДиО.
11. *Годунов, С. К.* (ред.) Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 400 с.
12. *Holmes, J. D.* Wind Loading of Structures. Eastbourne: Great Britain, 2005. 356 p.
13. *Роуч, П.* Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. 618 с.

14. Zheng, X., Montazeri, H., Blocken, B. CFD simulations of wind flow and mean surface pressure for buildings with balconies: Comparison of RANS and LES // Building and Environment. 2020. Vol. 173.
15. Rezaeiha, A., Montazeri, H., Blocken, B. On the accuracy of turbulence models for CFD simulations of vertical axis wind turbines // Energy. 2019. Vol. 180. P. 838 – 857.
16. Craig, Bampton. Coupling of Substructures for Dynamic Analysis // AIAA Journal. 1968. Vol. 6. № 7. P. 1313 – 1319.
17. Бурман, З. И., Артюхин, Г. А., Зархин, Б. Я. Программное обеспечение матричных алгоритмов и метода конечных элементов в инженерных расчетах. М.: Машиностроение, 1988. 256 с.
18. Saiyan, S., Paushkin, A. Formulation of a Method for Assessment of Fatigue Life, Formation and Propagation of Cracks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 661. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012018.
19. Saiyan, S., Paushkin, A. Fatigue cracks in castellated I-beams under cyclic loads // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1425. 012163. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012163.

THE CONCEPT OF A DIGITAL TWIN FOR HIGH-RISE BUILDING STRUCTURES USING NUMERICAL MODELING OF AERODYNAMICS AND DYNAMICS

S. G. Saiyan * / ** / ***

* Scientific and Educational Center for Computer Modeling of A. B. Zolotov (NRU MGSU), Moscow

** Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

*** Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract

One of the key directions in the digitalization of the construction industry is the development of digital twins for buildings and structures. A digital twin is a mathematical model (most often computer-based) that represents a virtual counterpart of a real object, reflecting its most critical characteristics and dynamically reproducing its state under various combinations of external or internal conditions. The most important property of a digital model for a construction object is the accurate representation of the physical object and external influences. The greatest challenge lies in describing wind impacts, which are arguably the most critical factor for the mechanical safety of high-rise buildings and structures. Most digital twin systems do not account for actual wind impacts in their models, which depend on numerous factors such as surrounding urban development, terrain features, shielding effects from vegetation, and various structures. This paper proposes improving digital twin systems through a structure consisting of three components: a wind micro-zoning map, preliminary numerical modeling of aerodynamics and dynamics, and an existing monitoring system. This approach enables

The Keywords

Digital twin, high-rise buildings, mechanical safety, numerical modeling, aerodynamics, wind impacts, wind micro-zoning, CFD modeling, dynamic response, urban environment, wind amplification coefficient.

Date of receipt in edition

22.12.2024

Date of acceptance for printing

24.12.2024

the creation of a comprehensive digital mathematical model of the object. The primary purposes of the digital twin are to diagnose the condition of structures and their structural changes, as well as to predict their remaining service life. A wind micro-zoning map is essential for tracking wind speeds at a meteorological station and determining their calculated values in the object's vicinity (using CFD modeling), with the ability to identify the structure's maximum dynamic response (using finite element analysis), thereby eliminating the need for direct wind speed monitoring at the object. Determining wind amplification coefficients and wind rose deviation angles allows for the adjustment of meteorological station readings in urban environments and the identification of the actual aerodynamic conditions.

Ссылка для цитирования:

С. Г. Саиян. Концепция цифрового двойника конструкций высотных зданий и сооружений с использованием методики численного моделирования аэродинамики и динамического отклика. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 72 – 85.





GRADIENT STRAIN CRITERION OF BRITTLE FRACTURE OF SOLIDS

A. K. Kurbanmagomedov*

V. D. Kuliyeв**

E. M. Morozov***

* RUDN University named after Patrice Lumumba, Moscow

** Moscow Polytechnic University (MPU), Moscow

*** National Research Nuclear University MEPhI (NRU MEPhI), Moscow

Abstract

In [1], we proposed a new fracture criterion based on the assumption that brittle fracture occurs when the modulus of the strain gradient reaches the limit value. In this paper, it is shown in more detail that the modulus of the temperature gradient and, consequently, the strain becomes significant in a thin boundary layer, where a sharp temperature change occurs. The solution of a new thermoelastic problem of a sharp temperature change in a circular region is given. Moreover, it turned out that in the case of a curved boundary of the cooled region E_2 , where E_2 is the Euclidean plane, the fracture criterion becomes complicated and takes the form of a limiting value of the gradient modulus of the sum of the main strains or simply the sum of the main stresses. Destruction will be determined by the criterion which onset time is less. It is also shown that in the case of a heated circular region in E_2 , the criterion for brittle fracture of a continuum medium will be the limiting value of the gradient modulus of the sum of the main strain. The results of a preliminary experiment with samples with a sharp temperature change are presented.

Keywords

Brittle fracture, gradient strain criterion of fracture, Cauchy problem, Heaviside functions, regularization of the initial temperature distribution, the logarithmic potential of the circle.

Date of receipt in edition

20.12.2024

Date of acceptance for printing

22.12.2024

1. Introduction

1.1 Problem statement. A new criterion of brittle fracture

One of the types of violation of the strength of a solid deformable body is a brittle fracture. It occurs suddenly, on the background of macro elastic strain, the danger is obvious, and the development of new and existing criteria for brittle fracture is very relevant.

Among the existing criteria, we can name the classical first (greatest tensile stresses, G. Galilei) and second (greatest tensile strain, E. Marriott) hypotheses of strength. Despite the archaism in some cases, they find appli-

cation. There are criteria based on the assumption that in places of stress concentration, at the most dangerous point the voltage exceeds the limit by a certain percentage [2]. There are related criteria in which restrictions are imposed on the area with a high-stress gradient. Stress gradients are also used as fracture criteria for models of materials with a multi-scale hierarchical structure (examples of such criteria can be found in [3–6]). The modern model of brittle fracture is represented by a structural-temporal criterion created and developed by the school of N. F. Morozov and Y. V. Petrov [7, 8]. For bodies with cracks we use methods of linear fracture mechanics [8, 9].

We propose a criterion for the occurrence of brittle fracture in a continuum environment in the form of equality:

$$|\text{grad } \varepsilon| = \theta_0 \quad (1.1)$$

in which ε is the component of the tensile strain in the direction normal to the fracture front (crack), and θ_0 is the empirical value of the limiting strain gradient as a material characteristic.

Let us explain the proposal made in the following example. Let a finite region be selected in a three-dimensional body, the boundary of which is a closed piecewise smooth surface. This region at time $t = 0$ is suddenly heated (or cooled) to a constant temperature T_0 . An attempt to formulate the initial conditions of the problem encounters a contradiction, consisting in the fact that on the one side of the boundary temperature and strain are zero, on the other side, temperature consequently, strain is not zero. There is a violation of the condition of continuity of strain. We see the way out in the assumption of the existence of a thin boundary layer, within which there is a drop in both temperature and strain from zero to a given value. Therefore, there is a need to regularize (average) the initial temperature distribution, for example, according to S. L. Sobolev [10] and to set the Cauchy problem according to the regularized initial temperature distribution. In this case, the Cauchy problem becomes correct.

2. Strain gradient

We will give one solution to illustrate the proposed destruction criterion.

Consider the following Cauchy problem. Let the heat-conducting medium fill the entire Euclidean plane E_2 . Next, let

$$T(x, y, t)|_{t=0} = \begin{cases} T_0 \equiv \text{const}, & (x, y) \in S^- (S^-: x \leq 0, |y| < \infty); \\ T_1 \equiv \text{const}, & (x, y) \in S^+ (S^+: x \geq 0, |y| < \infty). \end{cases} \quad (2.1)$$

We will assume: a) the thermomechanical properties of the heat-conducting medium S^- and S^+ do not depend on temperature and are the same; b) the hypotheses of Duhamel and Neumann are fulfilled.

Under these conditions, the solution of the Cauchy problem (2.2) for the homogeneous Fourier heat equation is defined as:

$$T(x, t) = \frac{T_0}{2} \left[1 + \text{erf} \left(-\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right] + \frac{T_1}{2} \left[1 + \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right], \quad \text{erf}(\tau) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau e^{-\xi^2} d\xi. \quad (2.2)$$

Here a is the coefficient of thermal conductivity, $\text{erf}(-\tau) = -\text{erf}(\tau)$ is a function of the probability of errors, and $\text{erf}(\infty) = 1$.

From (2.2) in the limit $t \rightarrow 0$, we come to the following representation of the initial temperature distribution for any $y \in (-\infty; \infty)$ (cf. with the formula (2.1)):

$$\lim_{t \rightarrow 0} T(x, y, t) = T_0 H^-(x) + T_1 H^+(x), \quad (2.3)$$

$$H^-(x) = \begin{cases} 1, & x < 0; \\ \frac{1}{2}, & x = 0; \\ 0, & x > 0, \end{cases} \quad H^+(x) = \begin{cases} 1, & x > 0; \\ \frac{1}{2}, & x = 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (2.4)$$

$$H^-(0-0) = 1, \quad H^-(0+0) = 0, \quad H^+(0+0) = 1, \quad H^+(0-0) = 0.$$

Here $H^\pm$ are symmetric unit functions (Heaviside functions). These functions are approximated by the following continuous functions:

$$H^\pm(x) = \lim_{\alpha \rightarrow +\infty} \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(\pm \alpha x)] \quad \left(\alpha = \frac{1}{2\sqrt{\alpha t}}, \quad t \rightarrow 0 \right).$$

The functions $H^\pm$ have discontinuities of the 1-st kind at the point $x = 0$. Therefore, they don't have a finite derivative at $x = 0$ in the usual sense, but functions $H^\pm$ being locally integrable (i. e. functions $H^\pm$ defined on the entire numerical axis are integrable on any finite segment) can be considered as generalized functions and therefore have derivatives of any order in the generalized sense.

Note that since the point $x=0$ is a point set of measure zero there is no need to determine the values of the function $H^\pm$ at $x = 0$.

It can be seen from (2.3) and (2.4) that there is a need to regularize (average) the initial temperature distribution according to S. L. Sobolev:

$$H_h(x) = \int_{r < h} \omega_h(r) [T_0 H^-(\xi) + T_1 H^+(\xi)] d\xi \quad (r = |x - \xi|). \quad (2.5)$$

Here h is the averaging radius, $\omega_h(r)$ is some kind of averaging core, for example,

$$\omega_h(r) = \begin{cases} C_h e^{-\frac{h^2}{h^2-r^2}}, & r < h; \\ 0, & r \geq h, \end{cases} \quad C_h \int_{r < h} e^{-\frac{h^2}{h^2-r^2}} d\xi = 1, \quad C_h = \frac{1}{2h} \left\{ \int_0^1 e^{-\frac{1}{1-t^2}} dt \right\}^{-1}. \quad (2.6)$$

Given (2.6) in (2.5), the function $H_\varepsilon(x)$ can be represented as:

$$H_\varepsilon(x) = C_\varepsilon \int_{-\varepsilon+0}^{\varepsilon-0} e^{-\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2-u^2}} [T_0 H^-(x+u) + T_1 H^+(x+u)] du. \quad (2.7)$$

It follows that the function $H_\varepsilon(x)$ ($-\infty < x < \infty$) is continuous and has continuous derivatives of any order and:

$$H_\varepsilon(x) = \begin{cases} T_0, & x \leq -\varepsilon; \\ T_1, & x \geq \varepsilon, \end{cases} \quad \frac{dH_\varepsilon}{dx} = C_\varepsilon (T_1 - T_0) \begin{cases} e^{-\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2-x^2}}, & |x| < \varepsilon; \\ 0, & |x| \geq \varepsilon. \end{cases} \quad (2.8)$$

Now we can correctly set the Cauchy problem $\tilde{T}(x, y, t)|_{t=0} = H_\varepsilon(x)$, $|y| < \infty$. The solution of this problem is determined by the Poisson formula and does not depend on $y \in (-\infty; \infty)$:

$$\tilde{T}(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi at}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4at}} H_\varepsilon(\xi) d\xi. \quad (2.9)$$

From (2.9) by virtue of (2.5) – (2.8) we find:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \tilde{T}(x,t)}{\partial x} &= -\frac{1}{2\sqrt{\pi at}} \int_{-\infty}^{\infty} H_{\varepsilon}(\xi) \frac{\partial}{\partial \xi} e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4at}} d\xi = \\ &= \frac{(T_1 - T_0)}{2\sqrt{\pi at}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\xi^2}{4at}} \omega_h(r) d\xi \quad (r = |x - \xi|, |x| < \infty).\end{aligned}\quad (2.10)$$

For this problem the system of Duhamel-Neumann equations for a plane stressed state and in the absence of mass forces takes the form:

$$\frac{\partial \varepsilon_x(x,t)}{\partial x} = (1 + \nu) \alpha \frac{\partial \tilde{T}(x,t)}{\partial x}.\quad (2.11)$$

Here ν is the Poisson's ratio, α is the coefficient of linear expansion.

From the formula (2.11), taking into account (2.10), we obtain:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\partial \varepsilon_x(x,t)}{\partial x} = (1 + \nu) \alpha C_{\varepsilon} (T_1 - T_0) \begin{cases} 0, & |x| \geq \varepsilon; \\ e^{-\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 - x^2}}, & |x| < \varepsilon - 0. \end{cases}$$

Thus, the criterion for the occurrence of brittle fracture (1.1) for this problem by virtue of (2.10) and (2.11) is defined as follows:

$$\begin{aligned}|grad(\varepsilon)| &= \left| \frac{\partial \varepsilon_x(x,t)}{\partial x} \right| = \frac{(1 + \nu) \alpha |T_1 - T_0|}{2\sqrt{\pi at}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\xi^2}{4at}} \omega_h(r) d\xi = \\ &= \frac{(1 + \nu) \alpha |T_1 - T_0|}{2\sqrt{\pi at}} \int_{r < h} e^{-\frac{\xi^2}{4at}} \omega_h(r) d\xi = \theta \quad (r = |x - \xi|, |x| < \infty).\end{aligned}\quad (2.12)$$

A crack is formed along the $x = 0$ axis at a small value of time $t > 0$, which follows from the application in (2.12) of the convergence theorem of mean functions [11, 12]. Temperature stresses taking into account (1.7) – (1.9) are equal to:

$$\sigma_x = \tau_{xy} = 0; \quad \sigma_y = -\alpha E \tilde{T}(x, t).\quad (2.13)$$

Thus, there is no stress σ_x , but there is a strain's gradient ε_x .

Remark 1. To analytically substantiate the experimental results given below, consider the Cauchy problem:

$$T(x, y, t)|_{t=0} = \begin{cases} T_0, & -b < x \leq 0, \quad |y| < \infty; \\ 0, & x < -b, \quad |y| < \infty; \\ T_1, & x \geq 0, \quad |y| < \infty. \end{cases}\quad (2.14)$$

The solution to this Cauchy problem is given by the formula:

$$T(x, t) = \frac{T_0}{2} \left\{ \left[1 + \operatorname{erf} \left(-\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right] - \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x+b}{2\sqrt{at}} \right) \right] \right\} + \frac{T_1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \right],\quad (2.15)$$

from where

$$\lim_{t \rightarrow 0} T(x, t) = T_0 \left[H^-(x) - H_0^-(x+b) \right] + T_1 H^+(x),$$

$$H_0^-(x+b) = \begin{cases} 0, & x > -b; \\ \frac{1}{2}, & x = -b; \\ 1, & x < -b. \end{cases} \quad (2.16)$$

Next:

- It is necessary to regularize the initial temperature distribution according to S. L. Sobolev.
- Formulate the Cauchy problem on a regularized initial temperature distribution.

After these operations, it is not difficult to show that for any $t > 0$

$$|grad(\varepsilon)| = \frac{(1+\nu)\alpha}{2\sqrt{\pi at}} \left\| \left[(T_1 - T_0)e^{-\frac{x^2}{4at}} + T_0e^{-\frac{(x+b)^2}{4at}} \right] \right\|. \quad (2.17)$$

Since the crack is formed along the $x = 0$ axes at a small value of time $t > 0$, the second term inside the square bracket in (2.17) can be neglected. In this case, we come to the formula (2.12).

There is

Statement 1:

- 1) Let the initial temperature be distributed in E2 according to the law

$$\tilde{T}(x, y, t)|_{t=0} = H_\varepsilon(x) \quad (-\infty < x, y < \infty), \quad (2.18)$$

where the function $H_\varepsilon(x)$ is defined by the formula (2.7);

- 2) The thermomechanical properties of the heat-conducting medium $S^- (x \leq 0, |y| < \infty)$ and $S^+ (x \geq 0, |y| < \infty)$ do not depend on temperature and are the same;
- 3) The hypotheses of Duhamel and Neumann are fulfilled;
- 4) Equality (2.12) holds.

Then a crack is formed along the $x = 0$ axis at a small-time value $t > 0$.

From statement 1 we come to an important consequence.

Corollary 1: The criterion of brittle destruction of a continuum medium along the $x = 0$ axis is the limiting value of the modulus of the strain gradient (2.12).

Let now in statement 1 the conditions 2) and 3) remain in force. Further, without violating generality, assume that $T_1 \equiv 0$ in formulas (2.1)–(2.12).

Replace only condition 1) in statement 1 with the condition: the heated region D^+ in E_2 has a nonzero curvature of the boundary, for example, D^+ is a circle with radius R . The question arises: for such a class of thermoelastic problems is it possible to unambiguously specify the criterion of brittle destruction of a continuum medium?

To answer this question, consider the following problem of thermal elasticity.

3. Temperature stresses and strain in the circle

3.1 The Cauchy problem

Let

$$T(x, y, t)|_{t=0} = \begin{cases} T_0, & (x, y) \in \bar{D}^+, \\ 0, & (x, y) \in E_2 \setminus \bar{D}^+. \end{cases} \quad (3.1)$$

Here $T_0 \equiv \text{const}$, $\bar{D}^+$ — is a closed circle with radius R , E_2 is the Euclidean plane.

The solution of the Cauchy problem (3.1) for the homogeneous Fourier heat equation by virtue of the Poisson formula will be:

$$T(x, y, t) = \frac{T_0}{4\pi at} \iint_{\bar{D}^+} e^{-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}{4at}} d\xi d\eta. \quad (3.2)$$

Let

$$\begin{cases} \xi = r \cos \varphi, \\ \eta = r \sin \varphi \end{cases} \text{ and } \begin{cases} x = \rho \cos \theta, \\ y = \rho \sin \theta \end{cases} \quad (3.3)$$

$$(0 \leq \varphi \leq 2\pi, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi).$$

Then from (3.2) taking into account (3.3) we have:

$$\begin{aligned} T(\rho, \theta, t) &= \frac{T_0}{4\pi at} \int_0^R \int_0^{2\pi} e^{-\frac{(\rho \cos \theta - r \cos \varphi)^2 + (\rho \sin \theta - r \sin \varphi)^2}{4at}} r d\varphi dr = \\ &= \frac{T_0}{4\pi at} e^{-\frac{\rho^2}{4at}} \int_0^R e^{-\frac{r^2}{4at}} r \left[\int_0^{2\pi} e^{\frac{\rho r \cos(\varphi - \theta)}{2at}} d\varphi \right] dr. \end{aligned} \quad (3.4)$$

The internal integral in (3.4) can be calculated in closed form. Indeed,

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} e^{\frac{\rho r \cos(\varphi - \theta)}{2at}} d\varphi &= \left\{ \alpha = \varphi - \theta, \right. \\ &\quad \left. d\alpha = d\varphi \right\} = \int_{-\theta}^{2\pi - \theta} e^{\frac{\rho r \cos \alpha}{2at}} d\alpha = \\ &= \int_{-\theta}^0 e^{\frac{\rho r \cos \alpha}{2at}} d\alpha + \int_0^{2\pi} e^{\frac{\rho r \cos \alpha}{2at}} d\alpha - \int_{2\pi - \theta}^{2\pi} e^{\frac{\rho r \cos \alpha}{2at}} d\alpha = \\ &= 2 \int_0^{\pi} e^{\frac{\rho r \cos \alpha}{2at}} d\alpha = 2\pi I_0\left(\frac{\rho r}{2at}\right). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Here $I_0(u)$ is a modified zero-order Bessel function (see, for example, [11, pp. 116–118], [13, 14]).

It should be noted that [11]

$$\frac{dI_0(u)}{du} = I_1(u), \quad \frac{dI_1(u)}{du} = I_0(u) - \frac{1}{u} I_1(u). \quad (3.6)$$

Considering (3.5) in (3.4), we have:

$$T(\rho, t) = \frac{T_0}{2at} e^{-\frac{\rho^2}{4at}} \int_0^R e^{-\frac{r^2}{4at}} r I_0\left(\frac{\rho r}{2at}\right) dr. \quad (3.7)$$

It follows that the temperature does not depend on the polar angle θ .

It also follows from (3.7) that if $R \rightarrow \infty$, then $T(\rho, t) = T_0$.

Now we define the initial temperature distribution $T(\rho, t)$.

The integral in (3.7) can be considered as a generalization of the Laplace integral (see [11], pp. 166–172). To obtain an asymptotic formula for a function represented by the Laplace integral, one of the suitable Laplace methods is usually used—the Watson type method. However, the authors of this work failed to find such a method in the literature for this integral (3.7) for the following reasons: firstly, there is another parameter in integral (3.7), and secondly, for $\rho = R$, the main term of the asymptotes of integral (3.7) may have a discontinuity of the first kind. Therefore, here, relying on the theory of generalized functions, we propose a method that allows us to find the main term of the asymptotes of the integral (3.7). For this we can use the asymptotic representation of functions $I_0\left(\frac{\rho r}{2at}\right)$ (see [11], p. 223):

$$I_0(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\lambda}} e^\lambda \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\Gamma^2(m+1/2)}{\pi \cdot m! (2\lambda)^m} \quad (3.8)$$

$$\left(0! = 1, \quad t \rightarrow +0, \quad \lambda = \frac{\rho r}{2at} \rightarrow +\infty \right),$$

$$\Gamma(m+1/2) = \frac{\sqrt{\pi}(2m)!}{m!4^m}.$$

From (3.7) with (3.8) we have:

$$\lim_{t \rightarrow +0} T(\rho, t) = T_0 \lim_{t \rightarrow +0} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi at}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho}} \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{\Gamma^2(m+1/2)}{\pi \cdot m! \rho^m} (at)^m \times \int_{\delta > 0}^R e^{-\frac{(r-\rho)^2}{4at}} r^{\frac{1}{2}-m} dr \right] \right\}. \quad (3.9)$$

From (3.9), using the approximation of the Dirac function $\delta(x)$ continuously differentiable function

$$\delta(x, \alpha) = \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} e^{-\alpha^2 x^2} \left(\alpha = \frac{1}{2\sqrt{at}}, \quad t \rightarrow 0 \right),$$

we find the main term of the asymptotic integral (3.7):

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow 0} T(\rho, t) &= \frac{T_0}{\sqrt{\rho}} \int_0^R \delta(r - \rho) \sqrt{r} dr = T_0 H(R - \rho), \\ H(R - \rho) &= T_0 \begin{cases} 1, & R > \rho; \\ \frac{1}{2}, & R = \rho; \\ 0, & R < \rho. \end{cases} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Here $H(R - \rho)$ is the symmetric unit Heaviside function.

It can be seen from (3.10) that the function $H(R - \rho)$ and, thus, the function $\lim_{t \rightarrow 0} T(\rho, t)$, has a discontinuity of the first kind at the point $\rho = R$, which was to be expected [15].

Therefore, it is necessary to regularize the initial temperature distribution according to S. L. Sobolev

$$H_h(\rho) = \int_{\rho_2 < h} \omega_h(\rho_2) H(R - \rho_1) d\rho_1 \quad (\rho_2 = |\rho - \rho_1|). \quad (3.11)$$

The function at can be represented as:

$$H_\varepsilon(\rho) = C_\varepsilon \int_{-\varepsilon+0}^{\varepsilon-0} e^{-\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 - \rho_3^2}} H(R - \rho + \rho_3) d\rho_3. \quad (3.12)$$

It follows from (3.11) and (3.12) that the function $H_h(\rho)$, including the function $H_\varepsilon(\rho)$, is continuous and continuously differentiable of any order in E_2 . In addition,

$$H_\varepsilon(\rho) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \rho \leq R - \varepsilon; \\ 0, & \rho \geq R + \varepsilon. \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\frac{dH_\varepsilon(\rho)}{d\rho} = \begin{cases} -C_\varepsilon e^{-\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 - (R-\rho)^2}}, & R - \varepsilon < \rho < R + \varepsilon; \\ 0, & |R - \rho| \geq \varepsilon. \end{cases} \quad (3.14)$$

We now have the opportunity to correctly formulate the Cauchy problem for a regularized initial temperature distribution

$$\tilde{T}(\rho, \theta, t) \Big|_{t=0} = T_0 H_\varepsilon(\rho), \quad \theta \in [0, 2\pi]. \quad (3.15)$$

The solution of this problem has the form:

$$\tilde{T}(\rho, t) = \frac{T_0}{2at} e^{-\frac{\rho^2}{4at}} \int_0^{R+\varepsilon} e^{-\frac{r^2}{4at}} r H_\varepsilon(r) I_0\left(\frac{\rho r}{2at}\right) dr. \quad (3.16)$$

Since the function $H_\varepsilon(r)$ is continuous and continuously differentiable of any order in E_2 , then from (3.16) at $t \rightarrow 0$, using the Laplace method (while doing exactly the same as in [15]), we arrive at the formula (3.15).

3.2 Derivation of the Duhamel-Neumann equation

Since axial symmetry takes place in the problem under consideration, strain, stresses and displacements do not depend on the polar angle θ . Therefore, for a flat stressed state we have:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\rho &= \frac{\partial u_\rho}{\partial \rho} = \frac{1}{E} (\sigma_\rho - \nu \sigma_\theta), \quad \varepsilon_\theta = \frac{u_\rho}{\rho} = \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \nu \sigma_\rho), \\ \varepsilon_z &= -\frac{\nu}{E} (\sigma_\rho + \sigma_\theta), \quad \gamma_{\rho\theta} = 0, \quad u_\theta = 0, \quad \tau_{r\theta} = 0, \quad \sigma_z = 0. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Here σ_ρ —radial stress, σ_θ —tangential stress, $\tau_{\rho\theta}$ —tangential stress, u_ρ and u_θ —displacements in polar coordinates, respectively, in the direction of the radius and perpendicular to it, ε_ρ , ε_θ , and $\gamma_{\rho\theta}$ —strain, E —Young's modulus.

From the system of elliptic-type equilibrium equations of elasticity theory we obtain:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0. \quad (3.18)$$

Based on the law established by Duhamel and Neumann the following relationship exists between the components of strain and stress:

$$\begin{aligned} \sigma_\rho(\rho, t) &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial u_\rho(\rho, t)}{\partial \rho} + \nu \frac{u_\rho(\rho, t)}{\rho} - (1+\nu) \alpha \tilde{T}(\rho, t) \right], \\ \sigma_\theta(\rho, t) &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{u_\rho(\rho, t)}{\rho} + \nu \frac{\partial u_\rho(\rho, t)}{\partial \rho} - (1+\nu) \alpha \tilde{T}(\rho, t) \right]. \end{aligned} \quad (3.19)$$

Considering (3.19) in (3.18) we come to the Duhamel-Neumann equation:

$$\frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{\partial u_\rho(\rho, t)}{\partial \rho} + \frac{u_\rho(\rho, t)}{\rho} \right) = (1+\nu) \alpha \frac{\partial \tilde{T}(\rho, t)}{\partial \rho}, \quad (3.20)$$

from where after integration by ρ ,

$$\frac{\partial u_\rho(\rho, t)}{\partial \rho} + \frac{u_\rho(\rho, t)}{\rho} = (1+\nu) \alpha \tilde{T}(\rho, t). \quad (3.21)$$

3.3 The Papkovitch-Goodyear thermoelastic potential

Let

$$u_\rho(\rho, t) = \frac{\partial \Psi(\rho, t)}{\partial \rho}. \quad (3.22)$$

Considering (3.22) in (3.21), we obtain:

$$\Delta \Psi(\rho, t) = (1+\nu) \alpha \tilde{T}(\rho, t) \quad \left(\Delta = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \right). \quad (3.23)$$

On the other hand, the temperature $\tilde{T}(\rho, t)$ determined by the formula (3.16) is the solution of the homogeneous Fourier heat equation

$$\frac{\partial \tilde{T}(\rho, t)}{\partial t} = a \Delta \tilde{T}(\rho, t). \quad (3.24)$$

From (3.23) by virtue of (3.24) we get:

$$\Delta \Psi(\rho, t) = (1+\nu) \alpha \tilde{T}(\rho, t) \quad \left(\Delta = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \right). \quad (3.25)$$

The integration of this equation leads to the dependence

$$\Psi(\rho, t) = (1+\nu) \alpha a \int_0^t \tilde{T}(\rho, \tau) d\tau + \Psi_0(\rho) + t \Psi_1(\rho). \quad (3.26)$$

Here:

$$1) \quad \Psi_0(\rho) = \Psi(\rho, t) \Big|_{t=0},$$

and

$$\Delta \Psi_0(\rho) = T_0(1+\nu)\alpha H_\varepsilon(\rho) \quad \left(\Delta = \frac{d^2}{d\rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \right). \quad (3.27)$$

2) A function $\Psi_1(\rho)$ is an arbitrary harmonic function.

Obviously, a function $\Psi_1(\rho) \equiv 0$. Indeed, otherwise, by virtue of (3.26) and (3.22), there would be:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u_\rho(\rho, t) = \infty,$$

which is physically unacceptable.

Before proceeding to the solution of equation (3.27) we note the following.

If $\mu(\zeta) \in C(\bar{G})$, where $\zeta = \xi + i\eta$, $\bar{G}$ $\zeta = \xi + i\eta$ is a closed two-dimensional domain, then the logarithmic potential

$$V(z) = \int_G \mu(\zeta) \ln \frac{1}{|z-\zeta|} d\xi d\eta, \quad z = x + iy,$$

regular and harmonious in any finite region that belongs $\mu(\zeta) \in C^1(G)$ $G_1 = E_2 \setminus \bar{G}$ and asymptotic equality [14]:

$$V(z) = \ln \frac{1}{|z|} \int_G \mu(\zeta) d\xi d\eta + O\left(\frac{1}{|z|}\right), \quad |z| \rightarrow \infty. \quad (A)$$

If, in addition, $\mu(\zeta) \in C^1(G)$, then $V \in C^2(G)$, and $\Delta V = -2\pi\mu$.

It follows from (A) that the logarithmic potential of the area $V(z)$ is not regular at $|z| \rightarrow \infty$.

Now let's construct the solution of equation (3.27).

From (3.27) by virtue of (3.13) we have:

1) If $\rho \geq R + \varepsilon$, then

$$\Delta \Psi_0(\rho) = 0. \quad (3.28)$$

2) If $0 < \rho \leq R + \varepsilon$, then $\Delta \Psi_0(\rho) = T_0(1+\nu)\alpha H_\varepsilon(\rho)$.

Therefore, the potential $\Psi_0(\rho)$ is the logarithmic potential of the circle at the point (ρ, θ) :

$$\begin{aligned} \Psi_0(\rho) &= \frac{T_0(1+\nu)\alpha}{4\pi} \int_0^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) \int_0^{2\pi} \ln[\rho^2 - 2r\rho \cos(\varphi - \theta) + r^2] d\varphi dr = \\ &= \frac{T_0(1+\nu)\alpha}{2\pi} \int_0^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) \int_0^\pi \ln[\rho^2 - 2r\rho \cos \alpha + r^2] d\alpha dr. \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\text{Integral} \int_0^\pi \ln[\rho^2 - 2r\rho \cos \alpha + r^2] d\alpha$$

it can be calculated in different ways. Let's show it.

The first method is the method of G. M. Fichtenholz. In [16] it is proved that

$$\int_0^{n\pi} \ln[1 - 2b \cos \alpha + b^2] d\alpha = \begin{cases} 0, & b^2 < 1; \\ n\pi \ln b^2, & b^2 > 1. \end{cases} \quad (3.30)$$

Consider two possible cases.

Case 1. Let $\rho \geq R + \varepsilon$. Then from (3.29) by virtue of (3.30) we have:

$$\Psi_0(\rho) = T_0(1+\nu)\alpha \ln \rho \int_0^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) dr. \quad (3.31)$$

Hence it can be seen that the logarithmic potential of a circle $\Psi_0(\rho)$ is regular and harmonious in any finite region outside the circle, (i. e. at $\rho \geq R + \varepsilon$), and at $\rho \rightarrow \infty$ the potential $\Psi_0(\rho)$ is not regular.

It is important to note: the second term of formula (A) is not included in (3.31).

Case 2. Let $0 < \rho \leq R + \varepsilon$. Then from (3.29) by virtue of (3.30) we have:

$$\begin{aligned} \Psi_0(\rho) &= T_0(1+\nu)\alpha \lim_{\delta \rightarrow +0} \left[\ln \rho \int_0^{\rho-\delta} r H_\varepsilon(r) dr + \int_{\rho+\delta}^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) \ln r dr \right] = \\ &= T_0(1+\nu)\alpha \left[\ln \rho \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr + \int_\rho^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) \ln r dr \right]. \end{aligned} \quad (3.32)$$

It follows that:

$$\Delta \Psi_0(\rho) = T_0(1+\nu)\alpha H_\varepsilon(\rho).$$

It also follows from (3.31) and (3.32): the logarithmic potential of a circle $\Psi_0(\rho)$ is continuous and has continuous derivatives of any order when crossing the boundary of $\gamma_{R+\varepsilon}$ of the domain $\bar{D}_{R+\varepsilon}$, where $\gamma_{R+\varepsilon}$ is the circumference of a closed circle $\bar{D}_{R+\varepsilon}$ with radius $\rho = R + \varepsilon$. Obviously, all derivatives $\Psi_0(\rho)$ are normal derivatives.

Therefore, the function $\Psi_0(\rho)$ defined by the formula (3.29) is the solution of the Poisson equation inside the circle and the solution of the Laplace equation outside the circle.

The second way. The essence of this method is to decompose the function

$$\ln \frac{1}{\sqrt{\rho^2 - 2r\rho \cos \varphi + r^2}}$$

in trigonometric series at $\rho > r$ and at $r > \rho$, which is easily achieved if we rely on two identities:

- first identity: $\frac{2b \sin t}{1 - 2b \cos t + b^2} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} b^n \sin nt \quad (|b| < 1);$
- second identity: $\ln(1-b) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b^n}{n} \quad (|b| < 1).$

The second identity is quite simply proved using K_α ($\alpha = \pi/2$) — the summation formula [12].

The first identity is also proved using the K_α ($\alpha = \pi/2$) — summation formula, but perhaps the following proof is somewhat simpler. The series in the first part of the first identity absolutely converges. Multiply both its parts by the denominator of the left part. In the right part we get:

$$\begin{aligned} 2(1 - 2b \cos t + b^2) \sum_{n=1}^{\infty} b^n \sin(nt) &= \\ &= 2(1 + b^2) \sum_{n=1}^{\infty} b^n \sin(nt) - 4b \sum_{n=1}^{\infty} b^n \sin(nt) \cos t = \\ &= 2 \sum_{n=1}^{\infty} b^n \sin(nt) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} b^{n+2} \sin(nt) - 2b \sum_{n=1}^{\infty} b^n [\sin(n+1)t + \sin(n-1)t] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} b^n \sin(nt) - \sum_{n=1}^{\infty} b^{n+1} \sin(n+1)t \right] + 2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} b^{n+2} \sin(nt) - \sum_{n=1}^{\infty} b^{n+1} \sin(n-1)t \right] = \\
&= 2 \left[\sum_{m=1}^{\infty} b^m \sin(mt) - \sum_{m=2}^{\infty} b^m \sin(mt) \right] + 2 \left[\sum_{m=1}^{\infty} b^{m+2} \sin(mt) - \sum_{m=0}^{\infty} b^{m+2} \sin(mt) \right] = \\
&= 2b \sin t.
\end{aligned}$$

The proof is finished.

Now integrating both parts of the first identity with respect to t from zero to some angle φ , taking into account the second identity, we have:

$$\ln(1 - 2b \cos \varphi + b^2)^{-1/2} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} b^n \cos n\varphi \quad (|b| < 1).$$

Using this formula, it is not difficult to obtain the following equalities

$$\ln \frac{1}{\sqrt{\rho^2 - 2r\rho \cos \varphi + r^2}} = \begin{cases} \ln \frac{1}{\rho} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{r}{\rho} \right)^n \cos n\varphi, & \rho > R + \varepsilon; \\ \ln \frac{1}{\rho} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{r}{\rho} \right)^n \cos n\varphi, & r < \rho < R + \varepsilon; \\ \ln \frac{1}{r} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\frac{\rho}{r} \right)^n \cos n\varphi, & \rho < r < R + \varepsilon. \end{cases} \quad (B)$$

Considering (B) in (3.29), we come to formulas (3.31) and (3.32).

It should be noted that equation (3.27) is a linear inhomogeneous ordinary differential equation of the second order. Methods for solving such types of equations have been developed in the theory of differential equations (see, for example, [11], pp. 108 – 122). Let's construct a solution (3.27) using one of them [13]. For this purpose, equation (3.27) is represented as:

$$\frac{d}{d\rho} \left[\rho \frac{d\Psi_0(\rho)}{d\rho} \right] = T_0(1 + \nu) \alpha \rho H_\varepsilon(\rho). \quad (3.33)$$

We construct the solution (3.33) under the following conditions:

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \Psi_0(\rho) = T_0(1 + \nu) \alpha \int_0^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) \ln r \, dr = T_0(1 + \nu) \alpha C \equiv \text{const}, \quad (3.34)$$

$$\lim_{\rho \rightarrow +0} \frac{d\Psi_0(\rho)}{d\rho} = T_0(1 + \nu) \alpha. \quad (3.35)$$

In addition, when constructing the solution (3.33), it should be taken into account:

1. The function $H_\varepsilon(\rho)$ is continuous and has continuous derivatives of any order in E_2 , and

$$H_\varepsilon(\rho) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \rho \leq R - \varepsilon; \\ 0, & \rho \geq R + \varepsilon. \end{cases} \quad (3.36)$$

2. We have the relation:

$$\lim_{\rho \rightarrow +0} [\ln \rho \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr] = 0, \quad (3.37)$$

$$\lim_{\rho \rightarrow +0} \frac{1}{\rho} \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr = 1. \quad (3.38)$$

These limiting equalities are easily proved by the Lopital method.

From (3.33) by virtue of (3.35) and (3.38) we have:

$$\frac{d\Psi_0(\rho)}{d\rho} = T_0(1+\nu)\alpha \frac{1}{\rho} \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr,$$

from where, taking into account (3.34) and (3.37), we find

$$\Psi_0(\rho) = T_0(1+\nu)\alpha [\ln \rho \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr - \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) \ln r dr + C]. \quad (3.39)$$

Consider two possible cases.

1. Let $0 < \rho \leq R + \varepsilon$. Then from (3.39), taking into account (3.34), we come to the formula (3.32)
2. Let $\rho \geq R + \varepsilon$. Then from (3.39), taking into account (3.36) and (3.34), we come to the formula (3.31).

We will continue the research. Let $0 < \rho \leq R$. Then using (3.17), (3.22), (3.26) and (3.32) we get:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\rho(\rho, t) &= \frac{\partial u_\rho(\rho, t)}{\partial \rho} = \frac{\partial^2 \Psi(\rho, t)}{\partial \rho^2} = \\ &= (1+\nu)\alpha a \int_0^t \frac{\partial^2 \tilde{T}(\rho, \tau)}{\partial \rho^2} d\tau + T_0(1+\nu)\alpha \left[H_\varepsilon(\rho) - \frac{1}{\rho^2} \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr \right], \\ \varepsilon_\theta(\rho, t) &= \frac{u_\rho(\rho, t)}{\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Psi(\rho, t)}{\partial \rho} = \\ &= (1+\nu)\alpha a \int_0^t \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{T}(\rho, \tau)}{\partial \rho} d\tau + \frac{T_0(1+\nu)\alpha}{\rho^2} \int_0^\rho r H_\varepsilon(r) dr, \end{aligned} \quad (3.40)$$

from where we find:

$$\varepsilon_\rho(\rho, t) + \varepsilon_\theta(\rho, t) = (1+\nu)\alpha \tilde{T}(\rho, t). \quad (3.41)$$

Let it be now $\rho \geq R + \varepsilon$. In this case, using (3.17), (3.22), (3.26) and (3.31) we have:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\rho(\rho, t) &= (1+\nu)\alpha a \int_0^t \frac{\partial^2 \tilde{T}(\rho, \tau)}{\partial \rho^2} d\tau - T_0(1+\nu)\alpha \frac{1}{\rho^2} \int_0^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) dr, \\ \varepsilon_\theta(\rho, t) &= (1+\nu)\alpha a \int_0^t \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{T}(\rho, \tau)}{\partial \rho} d\tau + \frac{T_0(1+\nu)\alpha}{\rho^2} \int_0^{R+\varepsilon} r H_\varepsilon(r) dr. \end{aligned} \quad (3.42)$$

Hence, taking into account (3.24), (3.15) and (3.13), we get:

$$\varepsilon_\rho(\rho, t) + \varepsilon_\theta(\rho, t) = (1+\nu)\alpha \tilde{T}(\rho, t). \quad (3.43)$$

It follows from (3.40), (3.42) that strain $\varepsilon_\rho(\rho, t)$ and $\varepsilon_\theta(\rho, t)$ are continuous and have continuous derivatives of any order with respect to ρ in E_2 . In addition, the functions have a second-order zero at infinity (i. e. for $\rho \rightarrow \infty$) for any $t \in (0, \infty)$.

With (3.17), (3.19), (3.22), (3.31) and (3.32) it can be shown that:

$$\begin{aligned}\sigma_\rho(\rho, t) &= -2G \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Psi(\rho, t)}{\partial \rho}, \\ \sigma_\theta(\rho, t) &= -2G \frac{\partial^2 \Psi(\rho, t)}{\partial \rho^2}, \quad \tau_{r\theta}(\rho, t) \equiv 0,\end{aligned}\tag{3.44}$$

and

$$\sigma_\rho(\rho, t) + \sigma_\theta(\rho, t) = -E\alpha \tilde{T}(\rho, t).\tag{3.45}$$

It follows from (3.17) and (3.44) that the stresses $\sigma_\rho(\rho, t)$ and $\sigma_\theta(\rho, t)$ are continuous and have continuous derivatives of any order with respect to ρ in E_2 . In addition the functions $\sigma_\rho(\rho, t)$ and $\sigma_\theta(\rho, t)$ are the same as strain $\varepsilon_\rho(\rho, t)$ and $\varepsilon_\theta(\rho, t)$ have a second-order zero at infinity (i. e., at $\rho \rightarrow \infty$) for any $\rho \in (0, \infty)$, which is to be expected. From (3.22), (3.31) and (3.32) it also follows: the displacement $u_\rho(\rho, t)$ is continuous and has continuous derivatives of any order with respect to ρ in E_2 . In addition, the function $u_\rho(\rho, t)$ has a first-order zero at infinity (i. e. for $\rho \rightarrow \infty$).

4. Results of the experiment

Ingenious mathematical techniques successfully overcome the discontinuity of functions, unlike the environment for which these functions are material and excessively high gradients can't be sustained purely physically, which ends in the rupture of the material. It is impossible to withstand brittle (elastic) destruction because plasticity smoothes gradients. Based on our observations of cracks on graphite, silicate and organic glasses, it can be assumed that the gradient criterion is not far from real reliability.

The above photo shows parts of destroyed flat samples made of silicate glass with a width of 15–20 mm, a thickness of 2 mm. Strips of glass in the free state were immersed in liquid nitrogen to a depth of 3–4 mm. The strips were immersed in a nitrogen bath by hand and almost immediately there was a slight crack and the broken-off lower part of the strip ended up at the bottom of the bath. There are no visible external forces on this part of the strip, as there are no prohibited movements. But in the vertical direction (i. e. a significant temperature gradient was created along the Ox axis and, consequently, a strain gradient at the nitrogen surface level (along the $x = 0$ axis). There was a brittle fracture of the glass at this point, although, as shown in problem 1 (section 2), there was no stress across the crack.

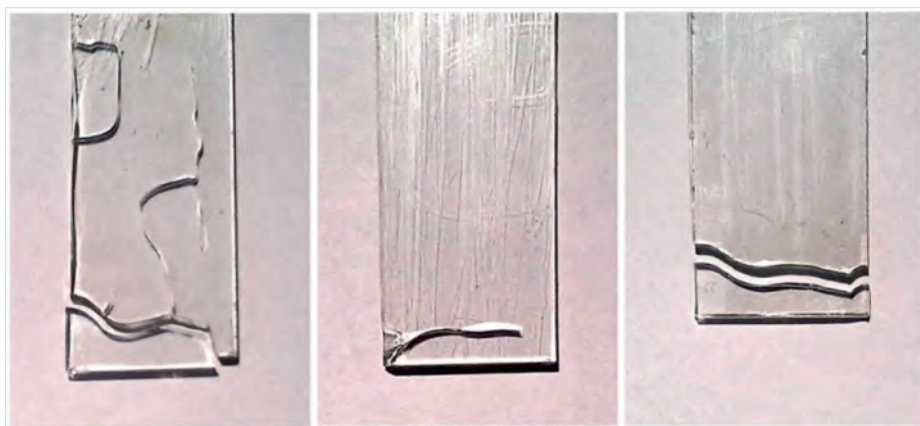


Fig. 1. Parts of destroyed flat samples made of silicate glass with a width of 15–20 mm, a thickness of 2 mm.

5. Conclusions

Analysing the results obtained by us in this work we come to the following conclusions:

1. In section 2, we have shown (see Statement 1) that the criterion for the occurrence of brittle fracture in a continuum medium along the $x = 0$ axis is the limiting value of the modulus of the strain gradient (2.12). This criterion has found its experimental confirmation (see section 5 below).

2. In Section 3, the formulas (3.34) and (3.38) obtained by us, valid in E_2 , allow us to state unequivocally: the criterion for the occurrence of brittle fracture at $T_0 > 0$ is the limiting value of the gradient modulus of the sum of the main strain

$$\left| \text{grad}[\varepsilon_\rho(\rho, t) + \varepsilon_\theta(\rho, t)] \right| \Big|_{\substack{\rho=R, \\ t=t_*}} = (1 + \nu)\alpha \left| \frac{\partial \tilde{T}(\rho, t)}{\partial \rho} \right| \Big|_{\substack{\rho=R, \\ t=t_*}} = \theta \equiv \text{const}, \quad (3.46)$$

since in this case for any $\rho \in (0, \infty)$ and for any $t \in (0, \infty)$

$$\sigma_\rho(\rho, t) + \sigma_\theta(\rho, t) = -E\alpha\tilde{T}(\rho, t) < 0. \quad (3.47)$$

3. If $T_0 < 0$, then formulas (3.41) and (3.45) do not allow unambiguously specifying the brittle fracture criterion. One of two cases is possible here.

3.1. Either at $p = R$ and at $t = t_1$ there is a limit value of the gradient modulus of the sum of the main strain.

$$\left| \text{grad}[\varepsilon_\rho(\rho, t) + \varepsilon_\theta(\rho, t)] \right| \Big|_{\substack{\rho=R, \\ t=t_1}} = (1 + \nu)\alpha \left| \frac{\partial \tilde{T}(\rho, t)}{\partial \rho} \right| \Big|_{\substack{\rho=R, \\ t=t_1}} = \theta_0 \equiv \text{const}, \quad (3.48)$$

3.2. Either at $p = R$ and at $t = t_2$ there is a limit value of the sum of the main stresses

$$[\sigma_\theta(\rho, t) + \sigma_\rho(\rho, t)] \Big|_{\substack{\rho=R, \\ t=t_2}} = -E\alpha\tilde{T}(R, t_2) = \sigma_0 \equiv \text{const} > 0. \quad (3.49)$$

Obviously, a brittle fracture will be determined by the criterion whose onset time is less.

The resulting uncertainty in the destruction criterion at $T_0 < 0$ is, in our opinion, related to the finiteness of the cooled region (the rest of E_2 is assumed to have zero temperature at the initial moment of time). If the empirical constants of the material θ_0 and σ_0 and the results of the analytical solution are known, then the mutual ratio of the four quantities determines the cause of destruction.

References

1. KuliyeV V. D., Morozov E. M. Gradient strain criterion of brittle fracture. Reports of AN. 2016. Vol. 470. No. 5. pp. 1–3 (in Russian). ISSN 1028-3358, Doklady Physics, 2016, Vol. 61, No. 10, pp. 502–504. © Pleiades Publishing, Ltd., 2016 (in English).
2. Morozov E. M., A. K. Kurbanmagomedov. Is It Possible to Determine the Whole Crack Path at Once? / E. M. Morozov, A. K. Kurbanmagomedov // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. — 2024. — Vol. 20, No. 4. — P. 364–373. — DOI 10.22363/1815-5235-2024-20-4-364-373. — EDN TCMXGL.

3. *Levin V. A., Morozov E. M.* Non-local criterion of destruction. Finite strain. Reports of AN. 2002. Vol. 386. No. 1. pp. 46–47. (in Russia). *Levin V. A., Morozov E. M.* Nonlocal fracture criterion: finite strains // Doklady Physics. 2002, V. 47. # 9. 580–581 (in English).
4. *Novopashin M. D., Suknev S. V.* Gradient criteria of the limit state. Bulletin of Sam. GU. Natural Science Series, 2007. No. 4 (54). pp. 316–335. (in Russia).
5. *Kharlab V. D., Minin V. A.* The criterion of strength, taking into account the influence of the gradient of the stress state / Research on the mechanics of building structures and materials: Inter-university. thematic collection of tr. L.: LISI, 1989. pp. 53–57. (in Russia).
6. *Kharlab V. D.* Explicit account of the influence of the stress state gradient in linear mechanics of destruction / Novozhilov collection (to the 80th anniversary of Academician V.V. Novozhilov). St. Petersburg: Shipbuilding, 1992. pp. 184–190. (in Russia).
7. *Bykov D. L., Deltsov V. S., Konovalov D. N.* On the influence of stress gradients on the destruction of elastic materials. Bulletin of Moscow State University. Ser.1. 1996. No. 5. pp. 38–41. (in Russia).
8. *Morozov N. F., Petrov Yu. V.* Problems of dynamics of the destruction of solids. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 1997, 132 p. (in Russia).
9. *Morozov N. F.* Mathematical problems of crack theory. M.: Nauka, 1984. 256 p. (in Russia).
10. *Parton V. Z., Morozov E. M.* Mechanics of elastic-plastic fracture. M.: Nauka, 2nd ed., 1985. 504 p. (in Russia). *Parton V. Z., Morozov E. M.* Elastic plastic fracture mechanics. Moscow: MIR Publ., 1st ed., 1978. 428 p. (in English). *Parton V. Z., Morozov E.M.* Mechanics of elastic-plastic fracture. N. Y.: Hemisphere publ., 1989. 2-nd ed., 522 p. Transl. *M. Piterman, R. B. Hetnarski* (in English).
11. *Sobolev S. L.* Some applications of functional analysis in mathematical physics. Moscow: Nauka, 1988. 333 p. (in Russia).
12. *Kuliyev V. D.* Singular boundary value problems. M.: Fizmatlit, 2005. 720 p. (in Russia).
13. *Kuliyev V. D.* Mixed boundary value problems and some related problems. M.-Cheboksary: Novoye Vremya, 2017. 716 p. (in Russia).
14. *Kuliyev V. D.* V-method of the K-class of thermoelasticity problems // Materials of the All-Russian Scientific School-conference “Mechanics of the limit state and related issues” dedicated to the 85th anniversary of Professor D. D. Ivlev (Cheboksary, September 15–18, 2015): at 2 p.m. 2 / edited by *N. F. Morozov, B. G. Mironov, A. V. Manjirov, Yu. N. Radaev*. Cheboksary: Chuvash. state. ped. un-t, 2015. pp. 208–215. (in Russia).
15. *Kuliyev V. D.* On the theory of thermal conductivity in a finite rod. // Bulletin of the I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University. Series: Mechanics of the limit state. 2013, No.3 (17). pp.21–45. (in Russia).
16. *Kuliyev V. D.* A new formula for summing functional series and some of its applications (Part I) // Bulletin of the I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University. Series: mechanics of the limit state. 2013. No. 1 (15). pp. 107–119. (in Russia).
17. *Fichtenholz G. M.* Course of differential and integral calculus: In 3 vols. Vol. II. M.: Fizmatlit, 2001. 864 p. (in Russia).

КРИТЕРИЙ ГРАДИЕНТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

A. K. Kurbanmagomedov *
V. D. Kuliyeв **
E. M. Morozov ***

* Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва
** Moscow Polytechnic University (MPU), Moscow
*** National Research Nuclear University MEPhI (NRU MEPhI), Moscow

Аннотация

В работе [1] нами предложен новый критерий разрушения, исходящий из предположения, что хрупкое разрушение наступает, когда модуль градиента деформации достигает предельного значения. В данной работе более подробно показано, что модуль градиента температуры, а, следовательно, и деформации становится значительным в тонком пограничном слое, где происходит резкое изменение температур. Дано решение новой термоупругой задачи о резком изменении температуры в круговой области. Причём оказалось, что в случае криволинейной границы охлаждённой области E_2 , где E_2 — евклидова плоскость, критерий разрушения осложняется и приобретает вид предельного значения модуля градиента суммы главных деформаций или просто суммы главных напряжений. Разрушение будет определяться тем критерием, время наступления которого меньше. Показано также: в случае нагретой круговой области в E_2 критерием хрупкого разрушения континуальной среды будет предельное значение модуля градиента суммы главных деформаций. Представлены результаты предварительного эксперимента с образцами из органического стекла при резком изменении температуры в области с прямолинейной границей. При этом вдоль границы скачка температуры возникла трещина, хотя напряжения поперёк этой границы равны нулю, но есть существенный градиент деформации.

Ключевые слова

Хрупкое разрушение, градиентный деформационный критерий разрушения, задача Коши, функции Хевисайда, регуляризация начального распределения температуры, логарифмический потенциал круга.

Дата поступления в редакцию

20.12.2024

Дата принятия к печати

22.12.2024

Ссылка для цитирования:

A. K. Kurbanmagomedov, V. D. Kuliyeв, E. M. Morozov. Gradient strain criterion of brittle fracture of solids. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 86–102.



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_103-111

ОБ УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ

Э. К. Агаханов
М. А. Магомедов
Х. Р. Сулейманов

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала

Аннотация

В работе по системе уравнений плоской задачи для предельного напряженного состояния грунтов методом масштабов установлены условия моделирования напряжений. Отмечены ограничения по выбору множителей подобия и возможность использования эквивалентности напряжений от собственного веса грунта напряжениям от поверхностных сил и предельного напряженного состояния связного грунта предельному напряженному состоянию сыпучего грунта для снятия ограничений.

Ключевые слова

Напряжения в грунтах, предельное напряженное состояние, условия моделирования, эквивалентность воздействий, эквивалентность грунтов.

Дата поступления в редакцию

22.12.2024

Дата принятия к печати

24.12.2024

Введение

Расчетная модель теории предельного равновесия, отвечающая такому состоянию грунтовой среды, когда во всех ее точках возникают смещения одной части грунта относительно другой, широко применяется для определения давления грунта на различные наземные и подземные сооружения, а также для исследования вопросов прочности и устойчивости грунтовых масс, находящихся под воздействиями различных нагрузок. Применение для всей области грунтовой среды расчетной модели теории предельного равновесия допустимо только в тех случаях, когда области, в которых не имеется предельного напряженного состояния, или отсутствуют совсем или настолько малы по сравнению с размерами рассматриваемого сооружения, что ими можно пренебречь. Расчетная модель теории предельного равновесия основана на предположении, что во всех точках грунтовой среды имеются площадки, по которым имеет место предельное напряженное состояние. Несмотря на возможности современных численных методов, аналитические и экспериментальные методы по-прежнему являются актуальными [1–3]. Создание эквивалентных расчетных моделей позволяет решать задачи без воспроизведения их условий [4–7]. Фиктивные расчетные модели особенно используются при экспе-

риментальном решении задач, так как осуществимость каждого условия ограничена возможностями техники моделирования. Моделирование осуществляется с помощью критериев подобия, на основании которых выполняется модель, определяются условия нагружения и осуществляется переход от замеренных на модели величин к соответствующим величинам натурной конструкции.

Постановка задачи

Для предельного напряженного состояния грунта установить условия моделирования напряжений. Задача определения напряжений в предельном напряженном состоянии грунтов имеет строгую математическую формулировку [8]. Критерии подобия могут быть получены либо с помощью теории подобия, либо с помощью анализа размерностей [9]. Для снятия ограничений по выбору множителей подобия создавать эквивалентные расчетные модели.

Методы исследования

Для установления необходимых критериев по теории подобия выпишем систему уравнений плоской задачи предельного напряженного состояния грунта для модели:

Уравнения равновесия

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Граничные условия

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x l + \tau_{xz} m &= p_x, \\ \tau_{zx} l + \sigma_z m &= p_z. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Условие предельного равновесия

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2\sigma_c)^2 \sin^2 \varphi. \quad (3)$$

Где: γ — удельный вес грунта,

l, m — направляющие косинусы внешней нормали к поверхности,

p_x, p_z — проекции внешней поверхностной нагрузки на оси координат,

$\sigma_c = c \cdot \operatorname{Ctg} \varphi$,

φ — угол внутреннего трения грунта,

c — удельное сцепление грунта.

Применяя метод масштабов введем подобные преобразования между величинами в натуре и модели:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^H &= K_\sigma \cdot \sigma_x^M, \\ \sigma_z^H &= K_\sigma \cdot \sigma_z^M, \\ \tau_{xz}^H &= K_\sigma \cdot \tau_{xz}^M, \\ X^H &= K_l \cdot X^M, \\ Z^H &= K_l \cdot Z^M, \\ \gamma^H &= K_\gamma \cdot \gamma^M, \\ \sin \varphi^H &= K_\varphi \cdot \sin \varphi^M, \\ \sigma_c^H &= K_c \cdot \sigma_c^M, \\ p_x^H &= K_p \cdot p_x^M, \\ p_z^H &= K_p \cdot p_z^M. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Если записать систему уравнений (1) – (3) для натуры, то с помощью соотношений (4) ее можно привести к виду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{K_\sigma}{K_l} \left[\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right] &= 0, \\ \frac{K_\sigma}{K_l} \left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \right] &= K_\gamma \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{K_\sigma}{K_p} [\sigma_x l + \tau_{xz} m] &= p_x, \\ \frac{K_\sigma}{K_p} [\tau_{xz} l + \sigma_z m] &= p_z. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$K_\sigma^2 ((\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2) = (K_\sigma (\sigma_x + \sigma_z) + 2K_c \sigma_c)^2 K_\varphi^2 \sin^2 \varphi. \quad (7)$$

Чтобы уравнения (5) – (7), записанные для натуры, совпали с соответствующими уравнениями для модели, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\frac{K_\sigma}{K_l K_\gamma} = 1, \quad K_\sigma = K_p, \quad K_\sigma = K_c, \quad K_\varphi = 1. \quad (8)$$

Из второго условия (8) получим формулу для пересчета напряжений с модели на натуру:

$$\sigma_x^H = K_p \cdot \sigma_x^M; \quad \sigma_z^H = K_p \cdot \sigma_z^M; \quad \tau_{xz}^H = K_p \cdot \tau_{xz}^M. \quad (9)$$

Из условий (8) получаем, что при этом должны выполняться следующие соотношения:

$$K_\gamma = \frac{K_p}{K_l}, \quad K_c = K_p, \quad K_\varphi = 1. \quad (10)$$

Так как при обычных исследованиях собственный вес грунта и его связность не могут быть при постановке эксперимента изменены в соответствии с условиями моделирования, то выполнение условий (10) при изменении множителя подобия геометрического масштаба не может быть обеспечено ни при каком выборе множителя подобия силового фактора.

Возникающие в грунте напряжения от сил собственного веса удовлетворяются следующим уравнениям [10]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x^y}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}^y}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}^y}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z^y}{\partial z} &= \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^y l + \tau_{xz}^y m &= 0, \\ \tau_{zx}^y l + \sigma_z^y m &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Обозначим через $\sigma_x^p, \sigma_z^p, \tau_{xz}^p, \tau_{zx}^p$ напряжения, возникающие в грунте от поверхностной нагрузки p , распределенной по граничной поверхности и направленной нормально к этой поверхности. В таком случае, очевидно, что эти напряжения удовлетворяются уравнениям

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x^p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}^p}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}^p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z^p}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^p l + \tau_{xz}^p m &= p_x, \\ \tau_{zx}^p l + \sigma_z^p m &= p_z. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Нетрудно убедиться, что напряжения от сил собственного веса, представленные в виде

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^y &= \sigma_x^p + p, \\ \sigma_z^y &= \sigma_z^p + p, \\ \tau_{xz}^y &= \tau_{xz}^p, \\ \tau_{zx}^y &= \tau_{zx}^p, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

удовлетворяют граничным условиям (12).

Подставляя в (11) формулы для напряжений из (15), получим

$$p = \gamma z. \quad (16)$$

Таким образом, в предельном напряженном состоянии напряжения от собственного веса грунта эквивалентны напряжениям от поверхностных сил с точностью до всестороннего гидростатического сжатия.

При замене собственного веса грунта эквивалентной поверхностной нагрузкой множители подобия геометрического масштаба и силового фактора должны быть подобраны в соответствии с первым условием моделирования (10).

Представим условие предельного равновесия для связного грунта (3) в форме, аналогичной форме для сыпучего грунта:

$$\left((\sigma_x + \sigma_c) - (\sigma_z + \sigma_c) \right)^2 + 4\tau_{xz}^2 = \left((\sigma_x + \sigma_c) + (\sigma_z + \sigma_c) \right)^2 \sin^2 \varphi. \quad (17)$$

Если грунт изотропен, вследствие чего удельное сцепление и угол внутреннего трения по всем площадкам, проходящим через каждую точку грунта, одинаковы, то величина $c \cdot \text{Ctg} \varphi$ также будет одинаковой для всех любым образом ориентированных площадок, проходящих через данную точку. Поэтому эту величину можно рассматривать как всестороннее равномерное сжатие $\sigma_c = c \cdot \text{Ctg} \varphi$, эквивалентное связности.

Если грунт к тому же однороден, то величина σ_c одинакова во всех точках грунта и систему уравнений равновесия можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x}(\sigma_x + \sigma_c) + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z}(\sigma_z + \sigma_c) &= \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Система уравнений (17) и (18) позволяет отметить, что предельное напряженное состояние связного грунта эквивалентно предельному напряженному состоянию сыпучего грунта с точностью до всестороннего равномерного сжатия $\sigma_c = c \cdot \text{Ctg} \varphi$, эквивалентного связности.

Поступая совершенно аналогичным путем, как и при выводе условий (8), можно получить, что условия подобия для связного грунта могут быть записаны следующим образом:

$$\frac{K_{\sigma+\sigma_c}}{K_l K_\gamma} = 1, \quad \frac{K_{\sigma+\sigma_c}}{K_p} = 1, \quad K_\varphi = 1. \quad (19)$$

Остановимся в качестве примера на вопросе о давлении связного грунта на абсолютно гладкую вертикальную подпорную стенку, которое возникает под действием собственного веса грунта. В таком случае, рассматривая напряженное состояние в любой точке, совпадающей с поверхностью стенки, следует принять, что главные площадки для таких точек совпадают или перпендикулярны гладкой поверхности стенки. Выделим элемент и обозначим главные напряжения соответственно σ_1 и σ_2 (рис. 1).

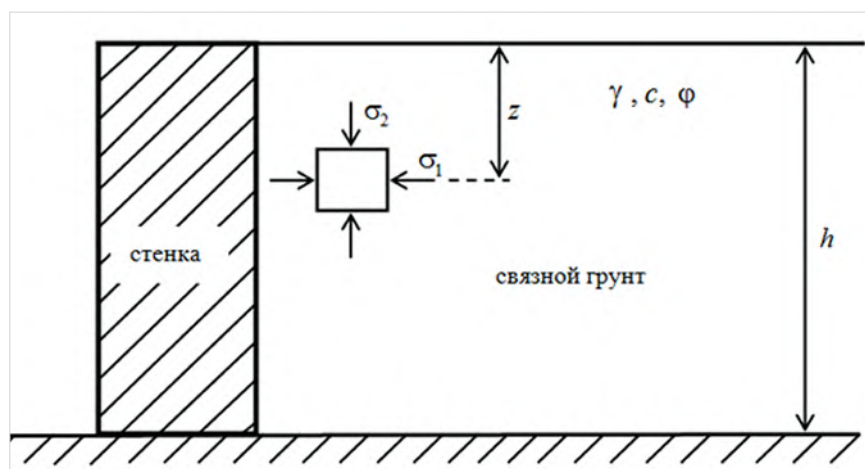


Рис. 1. Расчетная схема стенки с грунтом

В соответствии с полученными выше результатами составляем эквивалентную расчетную схему стенки с грунтом (рис. 2).

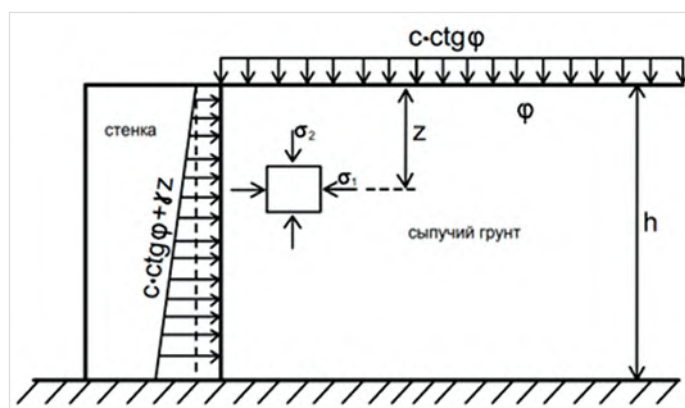


Рис. 2. Эквивалентная расчетная схема стенки с грунтом

Тогда в условиях, когда трение на стенке отсутствует, главное напряжение

$$\sigma_2 = c \cdot Ctg\varphi. \quad (20)$$

С учетом зависимости (15)

$$\sigma_2 = p + c \cdot Ctg\varphi. \quad (21)$$

Из условия предельного равновесия для сыпучего грунта получаем:

$$\sigma_1 = (p + c \cdot Ctg\varphi) \cdot tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (22)$$

С учетом зависимости (15)

$$\sigma_1 = (p + c \cdot Ctg\varphi) \cdot tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) + p. \quad (23)$$

Тогда активное давление связного грунта на подпорную стенку

$$\sigma_1 = (p + c \cdot Ctg\varphi) \cdot tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) + p - c \cdot Ctg\varphi - \gamma \cdot z. \quad (24)$$

С учетом зависимости (16)

$$\sigma_1 = (\gamma \cdot z + c \cdot Ctg\varphi) \cdot tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) - c \cdot Ctg\varphi \quad (25)$$

или, произведя преобразования с учетом

$$Ctg\varphi \cdot \left[1 - tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right] = 2 \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right),$$

получим

$$\sigma_1 = \gamma \cdot z \cdot tg^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (26)$$

Полное активное давление связного грунта на стенку равно:

$$E_p = \int_0^h \sigma_1 dz = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (27)$$

Аналогичным способом может быть получено выражение для отпора или пассивного давления на стенку, соответствующее предельному сопротивлению грунта при принудительном горизонтальном смещении стенки какой-либо внешней силой, направленной в сторону грунта.

В этом случае по аналогии с (26)

$$\sigma_1 = \gamma \cdot z \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right), \quad (28)$$

откуда полная величина отпора равна:

$$E_{om} = \int_0^h \sigma_1 dz = \frac{\gamma \cdot h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (29)$$

Формулы для активного и пассивного давления грунта на подпорную стенку имеют широкое распространение в инженерной практике. Совпадение для рассмотренной в качестве примера задачи решения с известными ранее [11, 12] свидетельствует о достоверности полученных в работе результатов.

Поступая совершенно аналогичным способом или используя методы физического моделирования с применением полученных эквивалентных расчетных моделей для предельного напряженного состояния грунтов можно определить давление связного грунта на различные наземные и подземные сооружения, а также исследовать вопросы прочности и устойчивости грунтовых масс.

Анализ результатов

При моделировании предельного напряженного состояния грунтов множители подобия K_I и K_p , определяющие геометрический масштаб и силовой фактор модели, могут быть выбраны произвольно, а множители K_φ , K_c и K_γ , определяющие угол внутреннего трения, удельное сцепление и удельный вес грунта, должны быть выбраны в соответствии с условиями (10).

Так как изменение собственного веса грунта в экспериментах с обычными моделями и на штампах не представляется возможным, то следует принимать $K_\gamma = 1$, откуда для сыпучих грунтов получается условие моделирования $K_p = K_I$.

Если грунт обладает сцеплением, то выполнение условий моделирования при изменении множителя подобия геометрического масштаба не может быть обеспечено ни при каком выборе множителя подобия силового фактора.

Замена собственного веса грунта эквивалентной поверхностной силой и сцепления всесторонним равномерным давлением позволяет снять ограничения по выбору множителей подобия.

Заключение

Необходимым условием подобия предельных напряженных состояний сыпучих грунтов в натуре и модели является равенство множителей подобия геометрического масштаба и силового фактора.

Данное условие подобия значительно снижает ценность практического использования результатов исследования песчаных грунтов штампами в случае значительной ширины действительного сооружения. При наличии сцепления выполнение условий моделирования не может быть обеспечено при изменении множителя подобия геометрического масштаба. Использование эквивалентных расчетных моделей для снятия ограничений по выбору множителей подобия существенно расширило возможности моделирования напряжений в грунтах.

Библиографический список

1. Агаханов Э. К., Агаханов М. К. О возможности применения эквивалентности воздействий в аналитических решениях задач теории упругости. Вестник МГСУ. 2010. № 4-3. С. 144 – 148.
2. Агаханов Э. К., Агаханов М. К. О моделировании действия объемных сил в упругоползучем теле. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2005. № 1 (129). С. 25а – 26.
3. Агаханов Э. К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 2. С. 39.
4. Савостьянов В. Н., Агаханов Э. К. Об эквивалентности воздействий в статической задаче механики деформируемого твердого тела. Известия высших учебных заведений. Строительство. 1995. № 10. С. 26 – 30.
5. Agakhanov E., Sultanova L., Hizriyeva Z., Agakhanov M. Conditions of equivalence of effects for the solid body from incompressible material. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 01031.
6. Агаханов Э. К., Агаханов М. К. Эквивалентность воздействий для несжимаемого материала. Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С. 40 – 44.
7. Агаханов Э. К., Магомедэминов Н. С. Условия эквивалентности воздействий для перемещений. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2007. № 12. С. 27.
8. Ухов С. Б., Семенов В. В., Знаменский В. В., Тер-Мартirosян З. Г., Чернышев С. Н., Механика грунтов, основания и фундаменты, М., АСВ, 1994, 527 с.
9. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике, М., Наука, 1965, с. 386.
10. Agakhanov E., Batmanov E., Agakhanov M. The stress-strain state from its own weight in ground base with trapezoidal cutout. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03047.
11. Флорин В. А. Основы механики грунтов, т. 1, Госстройиздат, 1959, 356 с.
12. Цытович Н. А. Механика грунтов, М., ВШ, 1983, 288 с.

ABOUT THE CONDITIONS FOR MODELING THE LIMITING STRESS STATE OF SOILS

E. K. Agakhanov
M. A. Magomedov
K. R. Suleymanov

Dagestan State Technical University, Makhachkala

Abstract

In the work on the system of equations of a plane problem for the limiting stress state of soils, the conditions for modeling stresses were established using the scale method. Limitations on the choice of similarity factors and the possibility of using the equivalence of stresses from the own weight of the soil to stresses from surface forces and the limiting stress state of cohesive soil to the limiting stress state of granular soil to remove restrictions are noted.

The Keywords

Stresses in soils, ultimate stress state, modeling conditions, equivalence of impacts, equivalence of soils.

Date of receipt in edition

22.12.2024

Date of acceptance for printing

24.12.2024

Ссылка для цитирования:

Э. К. Агаханов, М. А. Магомедов, Х. Р. Сулейманов. Об условиях моделирования предельного напряженного состояния грунтов. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 103–111.



АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

А. С. Маркович^{*/**}
Д. А. Голишевская^{*}
И. М. Курсеков^{*}
А. А. Костина^{*}

^{*} Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва
^{**} Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

При проектировании и строительстве многоэтажных зданий необходимо выполнять мониторинг деформаций зданий и сооружений окружающей городской застройки. Целью исследования является оценка деформаций зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового проектируемого многоэтажного здания, на основании конкретной площадки строительства в г. Москве. В результате представлены существующие современные методы инструментальных (геодезических) и численных исследований, применяемых на практике. В работе рассмотрены материалы полевых работ, а именно горизонтальные перемещения ограждающих конструкций котлована строящего здания, вертикальные перемещения существующих объектов, попадающих в зону влияния. Для сравнения представлен расчет вертикальных перемещений грунтового массива от проектной нагрузки в программе PLAXIS. Даны рекомендации для оценки возможного влияния окружающей городской застройки на этапе проектирования многоэтажного здания.

Ключевые слова

Мониторинг, деформации, зона влияния, инструментальный метод, численный метод, деформационная марка.

Дата поступления в редакцию
22.12.2024

Дата принятия к печати
24.12.2024

Введение

При проектировании многоэтажных зданий и сооружений на площадках с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями особое внимание необходимо уделить фундаменту. Отмечено, что при строительстве объектов жилого фонда в стесненной городской застройке наблюдаются случаи отклонения фундаментов от проектных решений, что приводит к развитию неравномерных осадок и, как следствие, повреждению надземных конструкций здания. В таких условиях важным является проведение инструментальных и численных исследований напряженно-деформированного состояния несущего остова зданий с целью оценки их остаточного ресурса и необходимости реконструкции (усиления).

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбрана площадка под строительство многоквартирного жилого дома с подземным паркингом на месте сноса жилого дома по адресу г. Москва, Часовая ул., д. 27/12 (*рис. 1*). Участок под строительство осложнен тем, что рядом с проектируемым зданием проходит Алабяно-Балтийский автомобильный тоннель.

Целью проведения работ является мониторинг деформаций зданий окружающей застройки инструментальными и численными методами для оперативного вмешательства при возникновении условий, нарушающих его нормальную эксплуатацию.



Рис. 1. Жилой дом под снос по адресу г. Москва, Часовая ул., д. 27/12

Строительство многоквартирного жилого дома производится с выделением в два этапа:

1. Снос существующего жилого дома, инженерная подготовка территории (вынос инженерных коммуникаций, освобождение территории).
2. Строительство здания жилого многоквартирного дома и сетей инженерного обеспечения объекта (наружные инженерные сети).

Проектируемый 25-ти этажный многоквартирный жилой дом выполнен с монолитным железобетонным каркасом, подвалом и подземным паркингом под прилегающей территорией. Фундамент решен в виде монолитной железобетонной плиты толщиной 1,5 м.

Для устройства подземной части здания котлован разрабатывается частично в естественных откосах, частично под защитой ограждения из стальных труб $\varnothing 426 \times 10$ мм. Стальные трубы погружаются в предварительно пробуренные скважины $\varnothing 450$ мм с отметок существующего рельефа [1]. В соответствии с нормами [2] предварительный радиус зоны влияния от устройства котлована и траншей для демонтажа здания, и коммуникаций при данных конструкциях ограждения и методах крепления назначается $4H_k$ и составляет 25,92 м, где H_k — глубина котлована (*рис. 2*) [3]. В зону влияния проектируемого здания попадают следующие объекты на застроенной территории: 14-ти этажное здание прямоугольной формы габаритами $28,52 \times 14$ м; одноэтажное производственное здание (тепловой пункт) прямоугольной формы габаритами $6,2 \times 6,5$ м; пятиэтажное здание прямоугольной формы габаритами

72,8×12,0м; участок длиной 68,6 м Алабяно-Балтийского автомобильного тоннеля; газопровод; канализация самотечная; теплотрасса; водопровод и водосток.

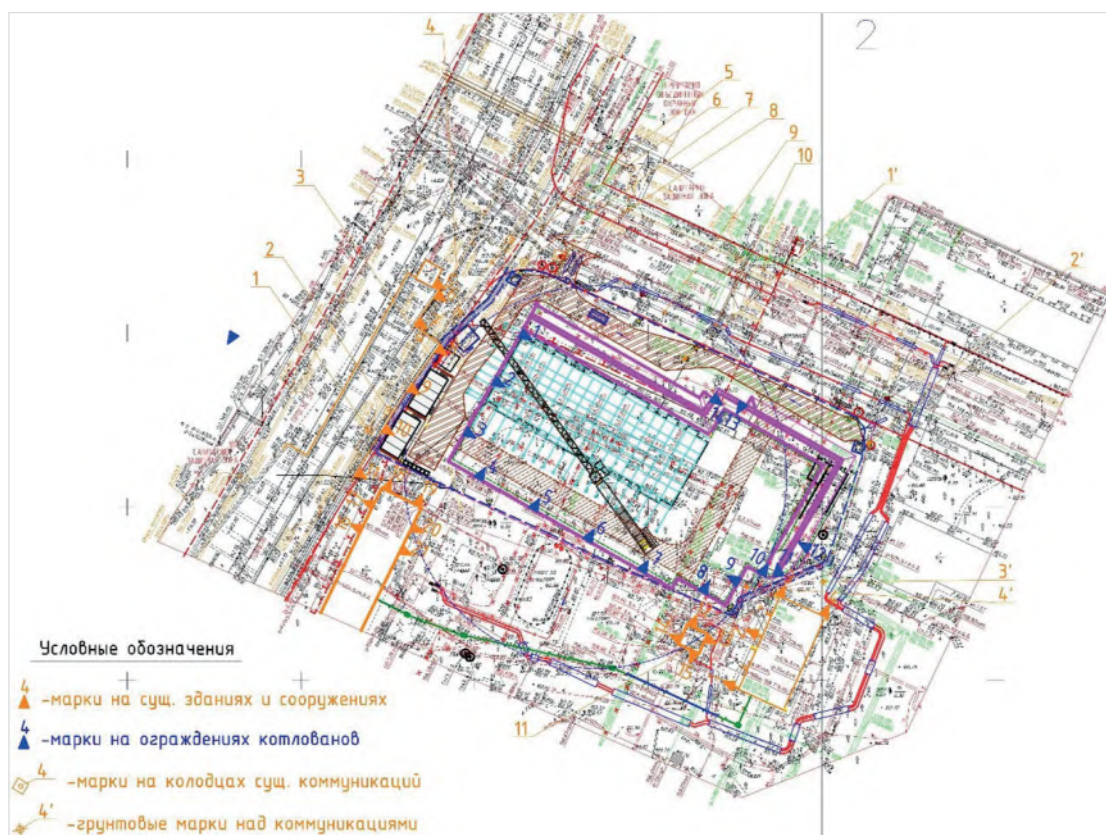


Рис. 2. Схема расположения деформационных марок на ограждении котлована, зданиях окружающей застройки

Территория проектируемого сноса и строительства относится к III (сложной) категории сложности по инженерно-геологическим условиям в связи с развитием процесса подтопления [4].

Результаты и обсуждение

Инструментальные исследования

Геодезические марки для наблюдения за осадками на строениях существующей застройки размещаются на расстоянии не более 10–15 м друг от друга, приблизительно на одном уровне в местах примыкания поперечных и продольных стен и в углах здания так, чтобы можно было проводить достоверный и качественный анализ осадок и деформаций [5, 6].

Конструкция деформационных знаков (марок) должна обеспечивать надежность закрепления этих знаков на наблюдаемых зданиях и сооружениях, так как по результатам наблюдений за их положением определяются вертикальные перемещения (осадки) объекта наблюдения и его элементов [7].

Высотные марки для наблюдения за просадками окружающих строений закладываются в стенах цокольного этажа здания с внешней стороны на высоте 1,5 м от поверхности земли. В качестве марок используются болты диаметром 8–12 мм или строительные дюбели длиной 80 мм в зависимости от облицовки строений. Вокруг марок наносится окраска и проставляется порядковый номер. Марки на

возводимом здании устанавливаются на колоннах и стенах подземного этажа, как только они будут готовы [8]. Для мониторинга осадок подземных инженерных коммуникаций используются марки, которые располагаются на обечайках люков коммуникаций. Мониторинг грунтового массива также производится по обечайкам люков коммуникаций, а в случае отсутствия люков устраиваются грунтовые марки. Марки должны быть замаркированы и обозначены соответствующим образом [9].

Материалы полевых работ обрабатываются на специализированной компьютерной программе для геотехнических расчетов «GeoSoft», разработанного ООО «ИнжПроектСтрой» геометрического нивелирования II класса для вычисления отклонений высот марок от нулевого цикла [10].

На основании запроектированной схемы размещения геодезических знаков и выбранного метода инженерно-геодезических измерений на данном объекте была применена двухступенчатая схема наблюдений.

На первой ступени создается линейно-угловая сеть первого порядка — съёмочные точки, состоящая из пунктов измерений для последующих наблюдений деформационных марок.

На второй ступени наблюдений выполняются измерения для определения горизонтальных перемещений деформационных марок, расположенных на ограждении котлована.

Для реализации первой ступени измерений от опорных пунктов (ОП) выполняются линейно-угловые построения для определения координат пунктов сети первого порядка (съёмочных точек). Для удобства дальнейших измерений эти пункты должны располагаться как можно ближе к наблюдаемому объекту — ограждению котлована. Места расположения съёмочных точек необходимо выбирать по месту, учитывая ситуацию на площадке, интенсивность строительно-монтажных работ, работу и расположение строительных машин и механизмов, а также общую загруженность строительной площадки [11].

На второй ступени наблюдений выполняются измерения для определения горизонтальных перемещений деформационных марок, расположенных на ограждении котлована (рис. 3). Эти измерения производятся линейно-угловым методом, в частности полярным способом с пунктов сети первого порядка (съёмочных точек). На ограждение котлована было установлено 16 марок, измерения снимались за 15 циклов (см. таблица 1).

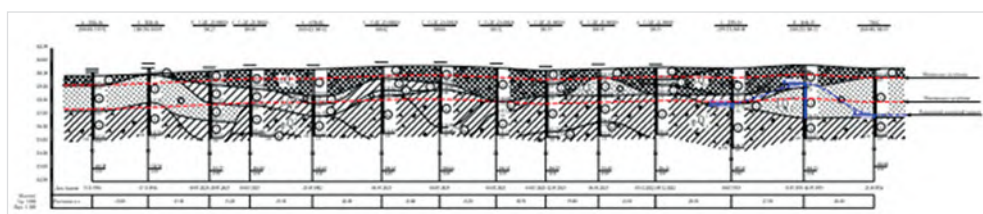


Рис. 3. Измерения для определения горизонтальных перемещений деформационных марок

Данная методика обеспечивает необходимую точность получения величин горизонтальных перемещений ограждения котлована, определенную в ГОСТ 24846-2012 и равную 5 мм. [9]

Для удобства расчетов и наглядности полученных результатов горизонтальных перемещений шпунтового ограждения целесообразно использовать условную систему координат. Для этого необходимо ориентировать систему координат так, чтобы ее оси были параллельны осям наблюдаемого сооружения.

Наблюдения за горизонтальными смещениями ограждения котлована выполняются методом линейно-угловых ходов (линейно угловая сеть) по точности, соответствующим полигонометрии 2-ого разряда.

Наблюдения выполняются с трёх точек наблюдений (станций). Точность определения планового положения знаков должна быть не грубее |5,0 мм|.

После обработки результатов полевых измерений, удовлетворяющих требованиям рабочих допусков, необходимо выполнить уравнивание линейно-угловой сети и определение координат деформационных марок. В результате камеральной обработки получаются уравненные координаты деформационных марок и их средние квадратические ошибки.

Таблица 1

Ведомость горизонтальных перемещений ограждающих конструкций котлована строящегося здания

№ марки	Дата начала наблюдений	Суммарные горизонтальные перемещения ограждения котлована, мм															
		Цикл															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	12.02.2024	0	-2	-4	-4	-3	-4	-	ун.	-	-	-	-	-	-	-	-
2	12.02.2024	0	-11	-28	-39	-51	-67	-	ун.	-	-	-	-	-	-	-	-
3	12.02.2024	0	-8	-30	-50	-70	-149	-150	ун.	-	-	-	-	-	-	-	-
4	23.06.2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-5	-1	0	-2	-2	-1
5	23.06.2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-2	-1	0	-2	-2	-3
6	09.07.2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-4	-3	-4	-6	-6
7	09.07.2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-24	-29	-33	-35
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	04.05.2024	-	-	-	-	-	-	0	+1	-2	-3	-4	-5	дем.	-	-	-
14	04.05.2024	-	-	-	-	-	-	0	+2	+2	+2	-2	дем.	дем.	-	-	-
15	27.05.2024	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-1	-17	-6	-8	-10	-10	дем.
16	27.05.2024	-	-	-	-	-	-	-	0	-11	-20	-39	-34	-40	-45	-40	-34

Примечание: знак «-» обозначает отклонение в сторону котлована, знак «+» обозначает перемещение от котлована, «ун.» — марка была демонтирована.

Целью визуально-инструментального мониторинга являются наблюдения, предупреждение и оценка степени воздействия строительства на здания, и сооружения окружающей застройки и инженерные коммуникации.

Инструментальные наблюдения включают: контроль за состоянием маяков, установленных на строительных конструкциях зданий в местах образования трещин.

Визуальные наблюдения проводятся в процессе строительных работ и включают в себя наблюдения за состоянием выявленных и появлением новых дефектов (трещины, отслоения штукатурки, перекос дверей и окон, и т. д.). Частота визуальных наблюдений — ежемесячно.

Для производства геодезических наблюдений за деформациями необходимо заложить деформационные знаки в границах мульд осадок дневной поверхности. Деформационные знаки по каждому участку должны входить в единую сеть. Включая пункты деформационной сети, система представляет собой одну наблюдательную станцию в установленных границах.

Результаты инструментальных измерений вертикальных перемещений на зданиях и сооружениях, попадающих в зону влияния приведены в *таблице 2, 3*.

Таблица 2

Ведомость отметок и осадок марок существующего 14-ти этажного здания

№ марки	Суммарные вертикальные перемещения, мм								Осадка, мм	
	Цикл								За 7 цикл	Сум-марная
	0	1	2	3	4	5	6	7		
1	160,3695	160,3692	160,3695	160,3692	160,3690	160,3688	160,3687	160,3680	-0,7	-1,5
2	160,2478	160,2475	160,2482	160,2481	160,2480	160,2477	160,2475	160,2475	0,0	-0,3
3	160,7860	160,7859	160,7870	160,7870	160,7869	160,7866	160,7863	160,7865	+0,2	+0,5
4	160,3260	160,3258	160,3256	160,3256	160,3251	160,3250	160,3250	160,3252	+0,2	-0,8

Таблица 3

Ведомость отметок и осадок марок стены тоннеля

№ марки	Суммарные вертикальные перемещения, мм								Осадка, мм	
	Цикл								За 7 цикл	Сум-марная
	0	1	2	3	4	5	6	7		
5	159,7806	159,7804	159,7808	159,7808	159,7810	159,7808	159,7806	159,7800	-0,6	-0,6
6	159,9012	159,9011	159,8927	159,8927	159,8930	159,8928	159,8926	159,8923	-0,3	-0,5
7	159,6961	159,6959	159,6962	159,6958	159,6958	159,6955	159,6953	159,6950	-0,3	-1,1
8	159,5705	159,5703	159,5710	159,5710	159,5710	159,5709	159,5708	159,5703	-0,5	-0,2
9	159,4081	159,4080	159,4085	159,4086	159,4090	159,4089	159,4085	159,4085	0,0	+0,4
10	159,4465	159,4464	159,4471	159,4464	159,4466	159,4465	159,4462	159,4465	+0,3	0,0
11	159,4712	159,4711	159,4720	159,4712	159,4715	159,4713	159,4711	159,4700	-1,1	-1,2

Для определения технического состояния конструкций здания в составе методики обследования предусматривалось выполнение следующих видов работ:

- поиск и изучение материалов, определяющих историческую, архитектурную, строительную и др. значимость объекта для целей необходимого дальнейшего сохранения;
- изучение эксплуатационно-конструктивных характеристик здания, подлежащих обследованию на основании имеющейся документации;

- сбор и анализ материалов, содержащих информацию о строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и условиях эксплуатации обследуемого объекта с целью уточнения конструктивных, строительных и эксплуатационных характеристик объекта и определения элементов, требующих повышенного внимания при проведении обследования;
- непосредственное изучение состояния элементов обследуемых конструкций (по материалам инструментального контроля);
- выполнение необходимых обмерочных чертежей, графической и фотографической фиксации обнаруженных деформаций и разрушений элементов конструкций с целью контроля динамики их развития;
- регистрация и фиксация обнаруженных деформаций;
- выполнение комплексного анализа собранных и полученных материалов проведенного обследования.

Численные исследования

Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива выполнено с использованием программы PLAXIS (версия программы 9.2) [12]. В программе моделировалась вся история нагружения грунтового массива, начиная с исходного природного напряженного состояния под действием собственного веса, и дальнейшее его изменение, обусловленное последовательными этапами строительства. Задача разделена на шаги (этапы), отражающие историю нагружения массива грунта в процессе строительства. При вводе информации о каждом шаге устанавливается номер шага, задаются соответствующие сосредоточенные силы, распределенные нагрузки, указываются элементы конструкций и стержней. Для моделирования деформаций и напряжений в грунте в программе предусмотрены 15-ти узловые треугольные конечные элементы четвертого порядка, при этом размер конечного элемента составлял не более 0,25 м для более точных результатов расчета. На **рис. 4** приведены вертикальные перемещения грунтового массива на этапе приложения проектной нагрузки и обратной засыпки.

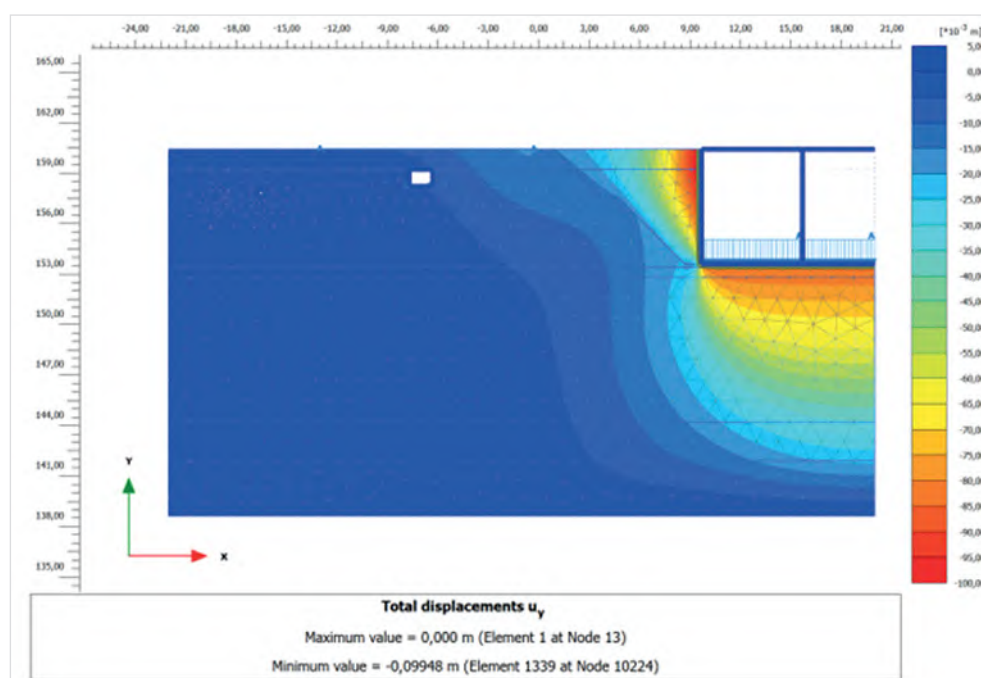


Рис. 4. Вертикальные перемещения грунтового массива

Для вычисления эффективных напряжений в грунте, определяющих его деформирование и прочность, используется модель двухфазной среды, включающей скелет грунта и поровую жидкость. Линейное распределение порового давления генерируется на основе уровней подземных вод. Предполагается дренированное поведение грунта: избыточное поровое давление не возникает.

При численном исследовании в программе используются следующие специальные типы элементов [9]:

- интерфейсные элементы для расчетов, связанных с взаимодействием грунта и сооружения;
- балочные элементы для моделирования конструкций сооружений с учетом их жесткости при изгибе, нормальной жесткости и предельного изгибающего момента;
- анкерные элементы для моделирования анкеров и распорок;
- туннельные элементы для моделирования туннелей и обделок в грунте.

Программа PLAXIS (версия 9.2) поддерживает следующие различные модели, воспроизводящие поведение грунта и других материалов [3]: линейная упругая модель; модель Мора-Кулона; модель упрочняющегося грунта; модель слабого грунта; модель ползучести слабого грунта.

В работе при моделировании грунтового массива применена модель упрочняющегося грунта (модель HS). Данная модель учитывает следующие параметры расчета [1]: линейную упругость; критерий разрушения Кулона-Мора; зависимость жесткости от напряжения; различное поведение при первичном нагружении и разгрузке (повторном нагружении); упрочнение при сжатии и упрочнение при сдвиге.

Заключение

На реальном примере было показано применение инструментальных и численных исследований напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в сложной городской застройке.

В результате инструментальных исследований суммарные горизонтальные перемещения ограждения котлована составили в абсолютных значениях — 150 мм, максимальная осадка существующего 14-ти этажного здания — 1,5 мм, максимальная осадка участка стены существующего Алабяно-Балтийского тоннеля — 1,2 мм.

В результате численного исследования максимальное вертикальное перемещение грунтового массива от проектной нагрузки составило 99,48 мм.

Наиболее часто на практике используются инструментальные (геодезические) методы исследования, которые позволяют на первых этапах строительства избежать наступления опасных напряжений и деформаций в несущих конструкциях зданий и сооружений.

Для того, чтобы на этапе проектирования предусмотреть возможные влияния от существующей застройки, сложности инженерно-геологических условий следует использовать численные исследования напряженно-деформированного состояния грунтового массива.

Библиографический список

1. Кабанцев О. В., Тамразян А. Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5 (49). С. 15 – 26.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден

и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. №970/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г.

3. Городецкий А. С., Батрак Л. Г., Городецкий Д. А., Лазнюк М. В., Юсипенко С. В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. Киев: Факт, 2004. 106 с.

4. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. №1033/пр и введен в действие с 1 июля 2017 г.

5. Страхов Д. Е. Исследование воздействия аварийных факторов на пространственный каркас здания // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 67 – 70.

6. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Система нормативных документов в строительстве. Утвержден Правительством Москвы постановлением от 22.04.2003 г. №288-ПП и введен в действие с 22 апреля 2003 г.

7. Кабанцев О. В., Карлин А. В. Расчет несущих конструкций зданий с учетом истории возведения и поэтапного изменения основных параметров расчетной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №7. С. 33 – 35.

8. Кабанцев О. В. Верификация расчетной технологии «Монтаж» программного комплекса «SCAD» // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2011. Vol. 7. Issue 3. Pp. 103 – 109.

9. Каличава Д. К. Адаптивные динамические конечноэлементные модели в основе мониторинга несущих конструкций высотных зданий: дисс. ... канд. техн. наук. М.: МГСУ, 2012. 149 с.

10. Мирсаянов И. Т., Королева И. В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 16 – 23.

11. Кабанцев О. В. Метод расчета многоэтажных зданий с учетом процесса изменения расчетной схемы при различных режимах работы // Вестник МГСУ 2013. № 10. С. 43 – 51.

12. PLAXIS 3D CE V22.01. Учебное пособие (электронный ресурс). Bentley Advancing Infrastructure, 154 с.

ANALYSIS OF RESEARCH METHODS OF STRESS-STRAIN STATE OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN COMPLEX URBAN DEVELOPMENT

A. S. Markovich * / **

D. A. Golishevskaya *

I. M. Kursekov *

A. A. Kostina *

* Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

Abstract

When designing and constructing multi-story buildings, it is necessary to monitor the deformations of buildings and structures of the surrounding urban development. The aim of the study is to assess the deformations of buildings and structures falling within the influence zone of a new multi-story building under design, based on a specific construction site in Moscow. As a result, existing modern methods of instrumental (geodetic) and numerical studies applied in practice are presented. The paper considers the materials of field work, namely, horizontal movements of the enclosing structures of the pit of the building under construction, vertical movements of existing objects falling within the influence zone. For comparison, the calculation of vertical movements of the soil mass from the design load in the PLAXIS program is presented. Recommendations are given for assessing the possible influence of the surrounding urban development at the design stage of a multi-story building.

The Keywords

Monitoring, deformations, zone of influence, instrumental method, numerical method, deformation mark.

Date of receipt in edition

22.12.2024

Date of acceptance for printing

24.12.2024

Ссылка для цитирования:

А. С. Маркович, Д. А. Голишевская, И. М. Курсеков, А. А. Костина. Анализ методов исследования напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений в сложной городской застройке. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 112 – 121.



РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕР СНИЖЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

С. Г. Саиян ^{*/**/**}

С. А. Маркова ^{**}

^{*} Научно-образовательный центр компьютерного моделирования им. А. Б. Золотова (НИУ МГСУ), г. Москва

^{**} Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

^{***} Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), г. Москва

Аннотация

В статье представлены результаты исследований методов снижения ветровых воздействий на высотные здания и сооружения. В исследовании рассмотрены три ключевых подхода: выбор оптимальных конструктивных решений, аэродинамическая оптимизация формы зданий и применение динамических гасителей колебаний (ДГК). Анализ различных конструктивных схем зданий показал, что каркасно-ствольная схема обеспечивает минимальные перемещения при ветровой нагрузке. Рассмотрены геометрические модификации форм зданий, включая скругление углов и вырезы, что позволило существенно уменьшить пульсационные составляющие аэродинамических сил. Детально изучено влияние параметров ДГК, таких как жесткость и демпфирование, на снижение амплитуд колебаний. Результаты демонстрируют эффективность предложенных мер, направленных на обеспечение механической безопасности и повышение устойчивости высотных зданий к ветровым нагрузкам.

Ключевые слова

Ветровые воздействия, высотные здания, конструктивные системы, аэродинамическая форма, динамический гаситель колебаний.

Дата поступления в редакцию
20.12.2024

Дата принятия к печати
22.12.2024

Введение

Современное развитие строительства направлено на увеличение высотности зданий и сооружений [1, 2]. Возрастают и требования к расчетному обоснованию механической безопасности подобных уникальных объектов. Одним из наиболее важных учитываемых факторов воздействия является ветровое, которое вносит существенный вклад в напряженно деформированное состояние несущих конструкций при увеличении высотности [3]. Целью данной работы являются исследова-

ния мер снижения ветровых воздействий на высотные здания и сооружения посредством оптимизации их аэродинамической формы, изучения конструктивных решений и установки специальных устройств, применяемых для снижения уровня вибраций защищаемой конструкции — динамических гасителей колебаний.

1. Расчетные исследования конструктивных систем высотных зданий на ветровые воздействия

Конструктивная система высотного здания представляет собой совокупность взаимосвязанных несущих элементов, обеспечивающих его прочность, устойчивость и необходимые эксплуатационные характеристики. Эта система включает в себя вертикальные (колонны, пилоны, стены) и горизонтальные несущие элементы (плиты перекрытий, покрытия, балки), а также фундамент. Конструктивные решения зданий влияют на его возможность сопротивляться действующим воздействиям. Существуют различные конструктивные схемы высотных зданий, показанные на *рис. 1* [2].

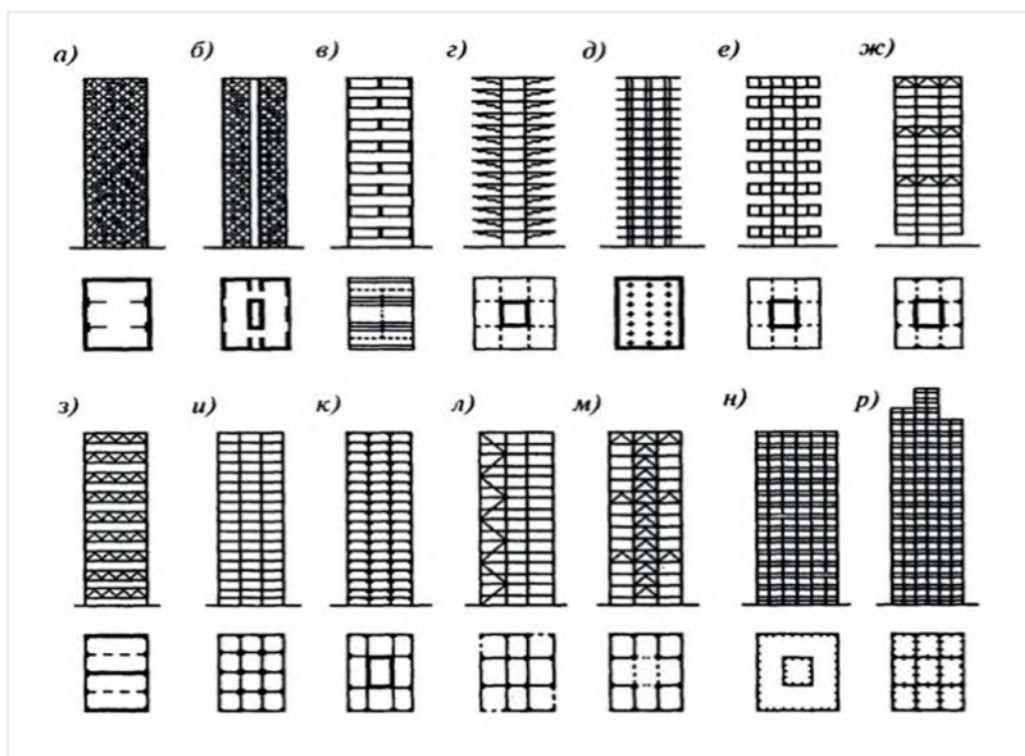


Рис. 1. Конструктивные схемы высотных зданий [2]

Исследуем несколько различных конструктивных систем, с целью выявления оптимальной схемы с наименьшими перемещениями железобетонной конструкции. Рассмотрим три схемы: б) — ствольную с параллельными несущими стенами, к) — каркасно-ствольную и г) — с консольными перекрытиями в уровне каждого этажа. Подобный анализ для стального и металлического каркасов проводился в статьях [4, 5]. Для расчета примем второй ветровой район и тип местности В. Геометрические характеристики здания изображены на *рис. 2*. Высота этажа 3.125 м. Подбор геометрических параметров сечений несущих элементов для различных конструктивных систем производился на основе соответствия первых трех собственных частот и форм колебаний.

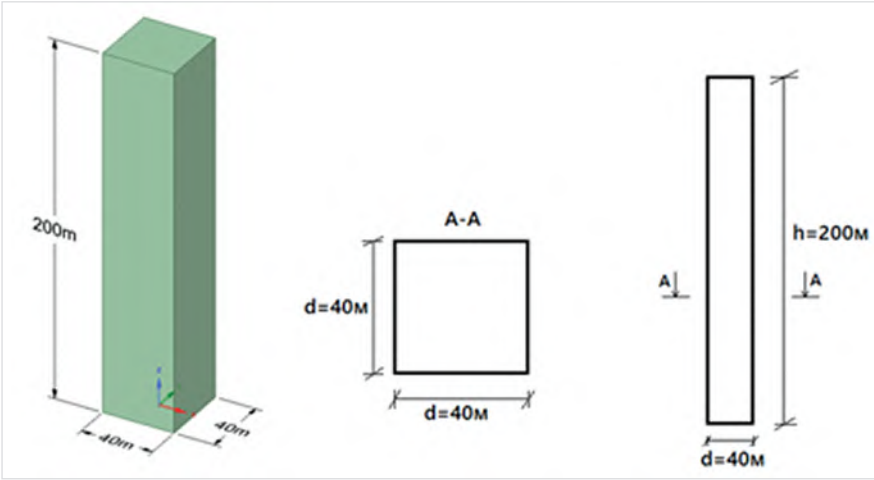


Рис. 2. Геометрические характеристики здания

Расчет ветровой нагрузки будем производить по СП 20. Нормативное значение основной ветровой нагрузки W состоит из суммы средней W_m и пульсационной W_p составляющих:

$$W = W_m + W_p. \tag{1}$$

Расчетное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки вычисляется по формуле:

$$w_m \gamma_f = w_0 k(z_e) c \gamma_f. \tag{2}$$

Далее в ПК ЛИРА-САПР разработаны три расчетные конечно-элементные модели, к которым были приложены соответствующие значения средней составляющей ветровой нагрузки (рис. 3). Пульсационная составляющая была задана в соответствии с СП 20 в программном комплексе Лира-САПР.

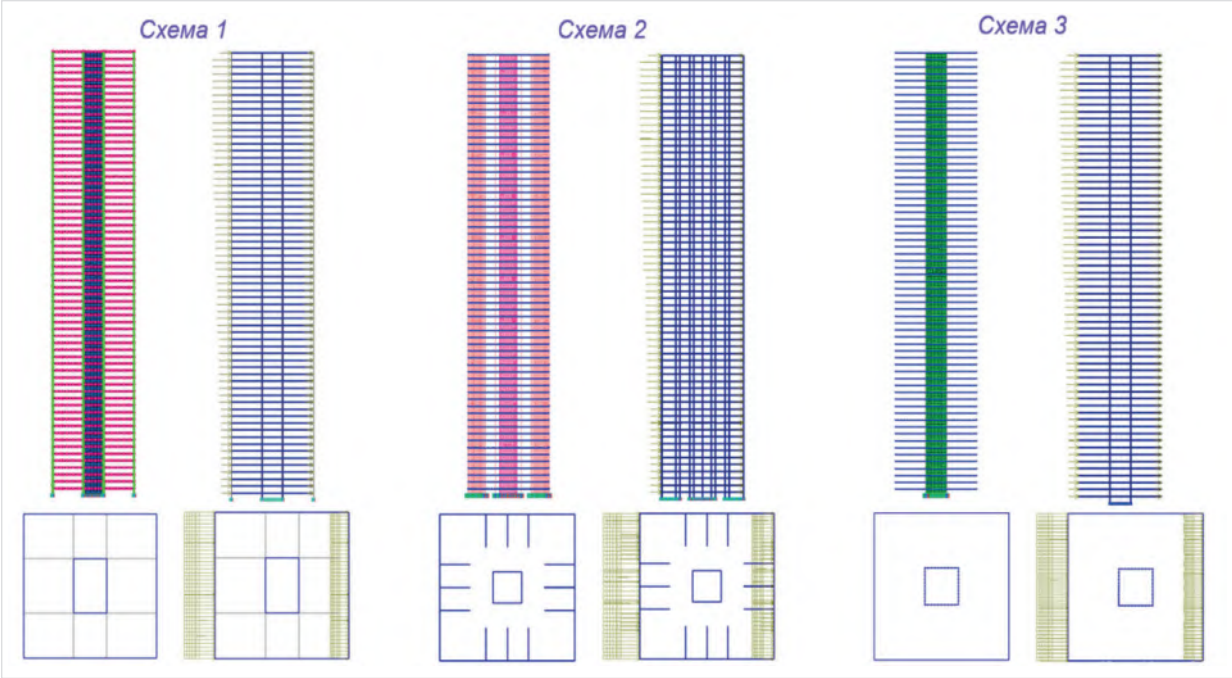


Рис. 3. Расчётные модели и схемы приложения средней составляющей ветровой нагрузки

Анализ результатов при действии основной ветровой нагрузки (формула 1) показал, что минимальное значение перемещений вдоль оси приложения нагрузки дает схема 1 — 37,8 см, значение по 2-ой схеме в 1.13 раз больше, а по 3-ей схеме в 3.1 раз больше, чем по 1-ой схеме (рис. 4).

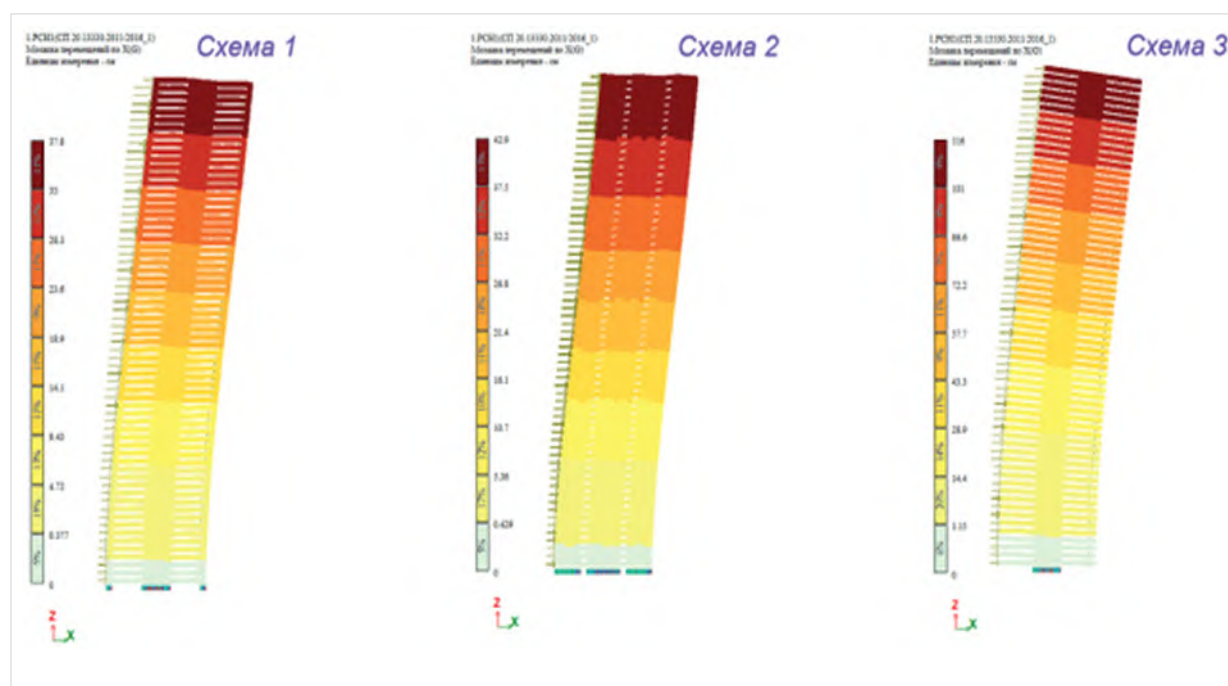


Рис. 4. Перемещения конструкций от полной ветровой нагрузки

Проведённый расчет по трём созданным КЭ-моделям высотных зданий с различными конструктивными схемами показал, что каркасно-ствольная схема даёт наименьшие перемещения по оси приложения нагрузки.

2. Аэродинамические оптимизационные исследования квадратной формы сечения высотного здания

Помимо конструктивных систем, важную роль играют формы зданий, которые обладают низкой аэродинамической обтекаемостью. Проведены исследования прямоугольного сечения (наиболее распространенной формы), модификации которого позволили минимизировать динамическую реакцию здания за счёт снижения ветрового воздействия.

Целью модификаций является изменение структуры потока вокруг высотного здания и уменьшение пульсаций, вызванных срывами вихрей с краев высотного здания. Основными вариантами таких модификаций сечения являются различные изменения геометрии углов: угловой вырез, скошенные углы, углы с прорезами и скругление углов [6], что приводит к улучшению формы с точки зрения аэродинамики [7].

Проведен анализ двух методов: скругления углов и одноступенчатый вырез. Были найдены зависимости аэродинамических коэффициентов сил от величины выреза или степени скругления.

Рассмотрены по три варианта сечения в каждом подходе, с разным радиусом скругления r для первого из них, и с разной глубиной выреза b (сторона вырезанного квадрата) для второго, что отражено на рис. 5.

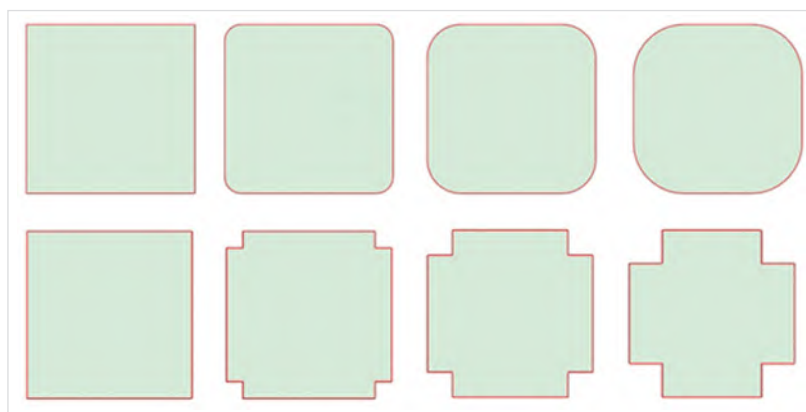


Рис. 5. Варианты вырезов и скруглений углов сечения

Сторона исходного квадрата $a = 0.16$ м, подобный размер и параметры конечно-объемных сеток выбирался исходя из результатов валидационных и верификационных исследований, проводимых в работе [8]. Для первого метода будем брать сечения со следующими значениями радиуса скругления r : 10%, 20% и 30% от стороны базового сечения квадрата a . Для второго же метода рассмотрим варианты с квадратными вырезами в углах со значениями стороны b : 10%, 15% и 20% от стороны базового сечения квадрата a .

Для корректного сравнения результатов важно выполнять расчёты с одинаковой постановкой начальных и граничных условий, а также с едиными размерами сетки. Граничные условия на входе (Inlet): $\frac{dp}{dn} = 0$, $u_n = 20$ м/с, $u_\tau = 0$; на выходе (opening): $\frac{du_n}{dn} = 0$, $\Delta p = 0$, с интенсивностью турбулентности $I = 10\%$; на поверхности здания: $\frac{dp}{dn} = 0$, $u_n = 0$, $u_\tau = 0$. Параметры моделирования: временной шаг — 0.001 с; Максимальное количество итераций за один временной шаг — 20; физическое время счета (время, принятое в математической модели исследуемого процесса) — 30 с. Параметры конечно-объемных сеток: на здании количество разбиения — 100; на 4-х прилегающих к зданию телах — 200 и 100; на остальных телах расчётной области — 80, 60 и 40, по направлению оси OZ толщина в один конечный объём; метод генерации MultiZone с гексаэдрической сеткой. Итоговая конечно-объемная сетка представлена на рис. 6. Расчетные исследования выполнены в программном комплексе ANSYS Fluent.

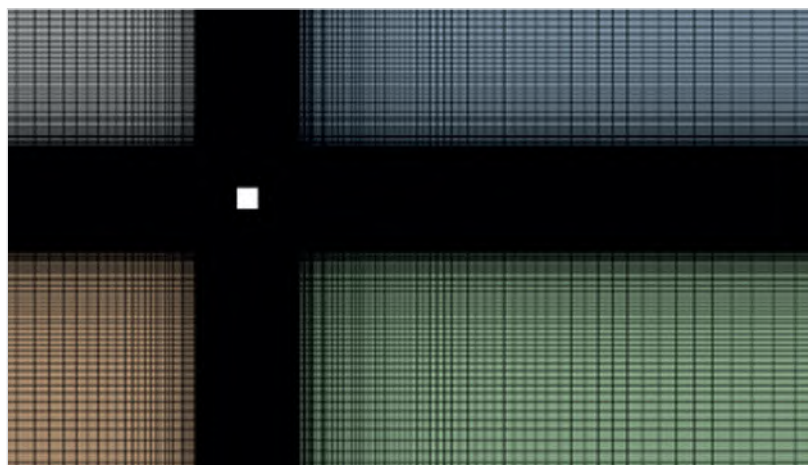


Рис. 6. Конечно-объемная сетка

Для учёта изменения характеристик потока ветра во времени был проведен нестационарный расчёт. Рассмотрим результаты численного моделирования, а именно графики зависимости пульсационных составляющих сил F_x и F_y от радиуса скругления r или от стороны выреза b (рис. 7).

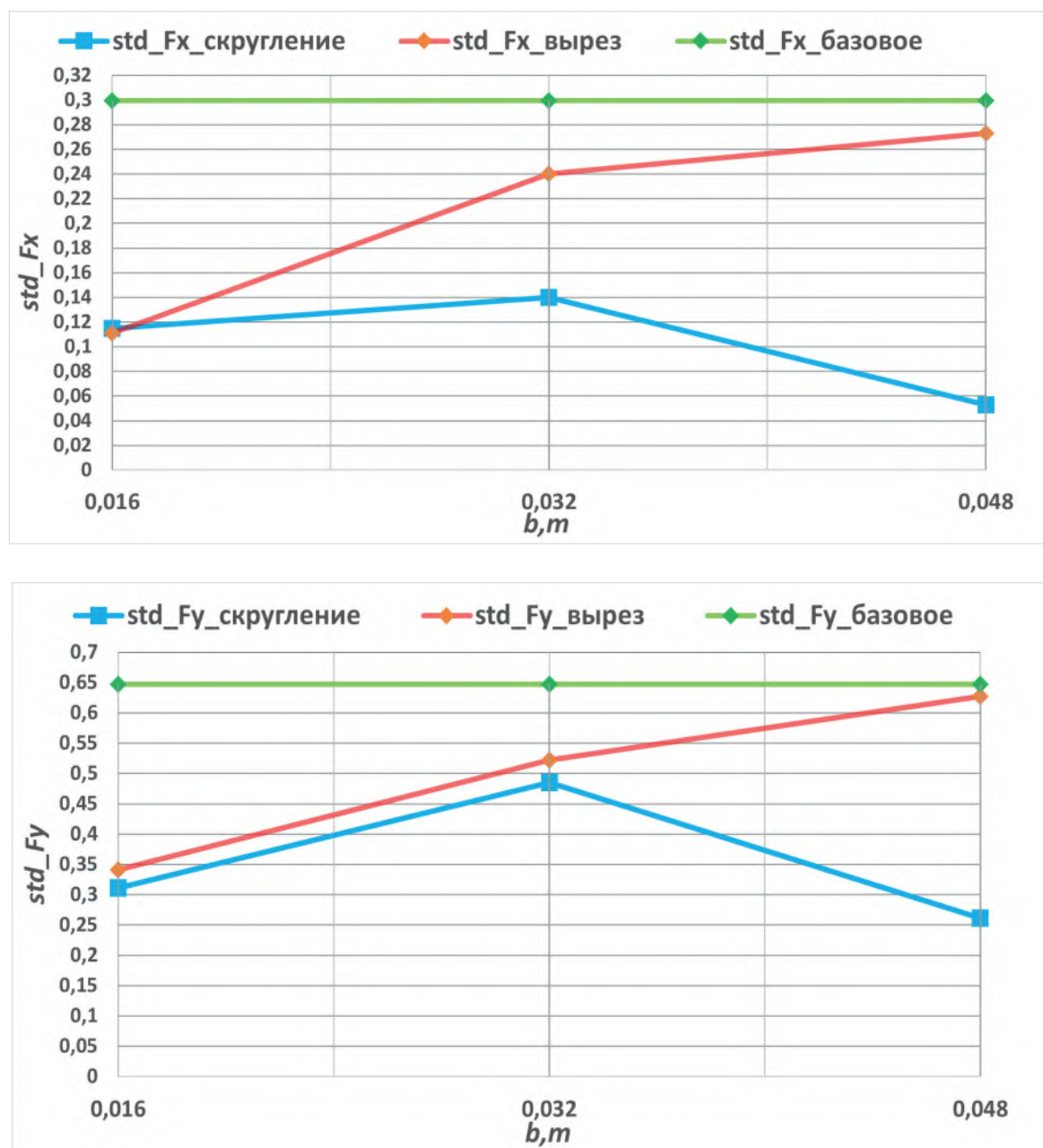


Рис. 7. Графики зависимости пульсационных составляющих сил F_x и F_y от $b(r)$

На рисунке 7 видно, что все варианты оптимизации значительно уменьшают аэродинамическую силу F_x . Пульсации также значительно снизились в обоих случаях, однако метод скругления углов оказывается более эффективным как для средних значений, так и для пульсационных составляющих аэродинамических коэффициентов.

На рис. 8 одновременно представлены изополя давления и изолинии TKE (кинетической энергии турбулентности) для варианта со скругленным сечением.

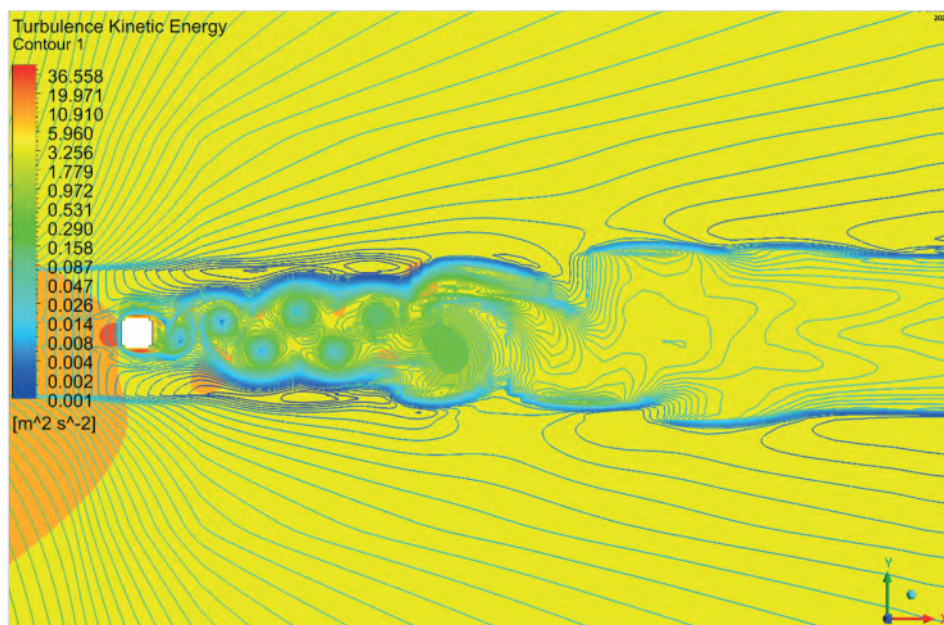


Рис. 8. Изополя давления и изоконтур кинетической энергии турбулентности

3. Применение динамических гасителей колебаний для снижения ветровых воздействий на высотные здания

Для снижения колебаний высотных зданий при ветровых воздействиях широко используются динамические гасители колебаний (ДГК) [9]. Одним из примеров их применения является башня Taipei 101, где установлен шар диаметром 5,5 метра и массой 728 тонн. Динамический гаситель колебаний — это устройство, состоящее из массы, связанной с защищаемой конструкцией через упругий и демпфирующий элементы [10].

Далее исследуем влияние использования ДГК и различных настроек его параметров для расчетной модели высотного сооружения. Рассмотрим упрощенный случай колебаний, а именно одномассовую систему: вертикальный консольный стержень с массой M (сосредоточенной на конце), закрепленный по всем степеням свободы в основании (рис. 9). Расчеты выполнены в программном комплексе ANSYS Mechanical APDL.

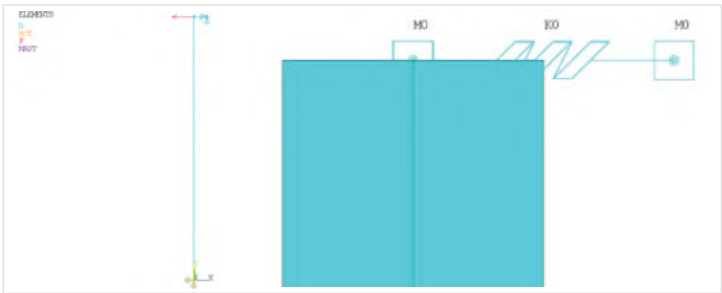


Рис. 9. Расчетная модель и установленный ДГК в верхнем узле КЭ-модели

Ветровое воздействие — это сигнал во временной области с различным спектральным составом. В качестве ветрового воздействия для расчетного исследования был задан гармонический сигнал на резонансной для конструкции частоте (первая частота собственных колебаний).

В рассматриваемой задаче требуется подавить нежелательные колебания в районе первой собственной частоты конструкции, составляющая 3.9790 Гц.

Динамический гаситель колебаний будем моделировать как связку конечных элементов *COMBIN14*, моделирующего сосредоточенные жесткость и демпфирование, и точечной массы (элемент *MASS21*). При этом параметры этих элементов связаны соотношением (3):

$$\omega_{\text{крит}} = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (3)$$

где: $\omega_{\text{крит}}$ — частота колебаний системы, в окрестности которой необходимо подавить колебания, k — жесткость пружины гасителя колебаний, m — масса ДГК.

Масса гасителя колебаний m принята как 10% от массы конструкции и равна 100 кг. Для элемента *COMBIN14* задаётся только постоянное демпфирование $(C_v)_1$, «нелинейный» коэффициент $(C_v)_2$ не используется. Очевидно, что ДГК требуется установить на свободном конце стержня и его рабочая ось должна быть ориентирована перпендикулярно оси сооружения.

На **рис. 10** приведены результаты расчёта без динамического гасителя колебаний, на которых видно, что конструкция находится в резонансном режиме. Таким образом, для первых 10 секунд реального времени, амплитуда перемещений достигает примерно 18 мм, а ускорение примерно 11 м/с².

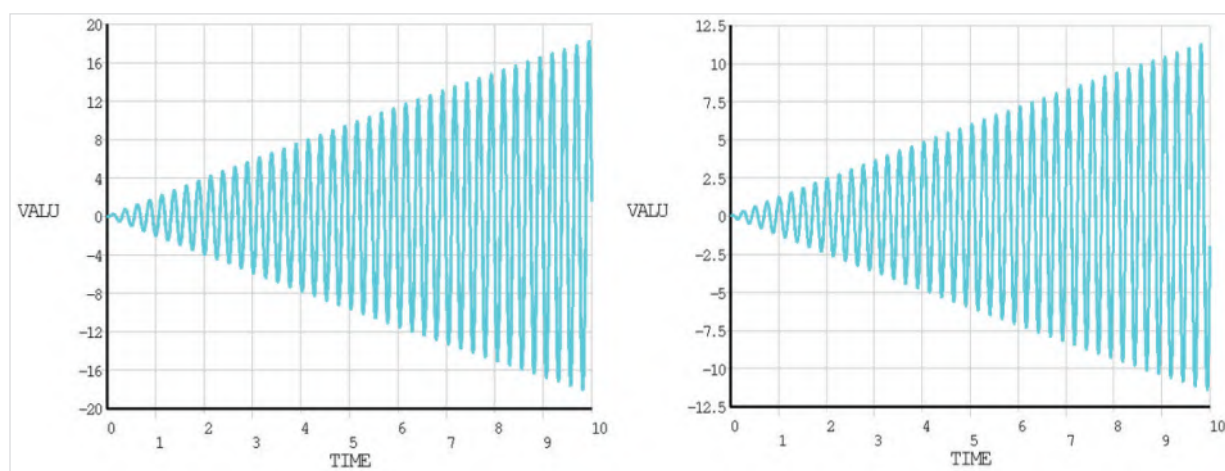


Рис. 10. График перемещения (мм) и ускорения (м/с²) верхней точки стержня по оси приложения силы без использования ДГК

Из формулы (6) выразим жесткость пружины k , используя известные массу m и критическую частоту системы $\omega_{\text{крит}}$:

$$k = \omega_{\text{крит}}^2 \cdot m = 3.979^2 \cdot 100 = 1583.244 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (4)$$

Исследовано влияние изменения параметра демпфирования $(C_v)_1$ элемента динамического гасителя колебаний на эффективную работу устройства. Ниже приведены графики перемещений и ускорений при значениях параметра $(C_v)_1$: 0, 70, и 350 $\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ при значении жесткости пружины $k = 1583.244 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ (**рис. 11 – 13**).

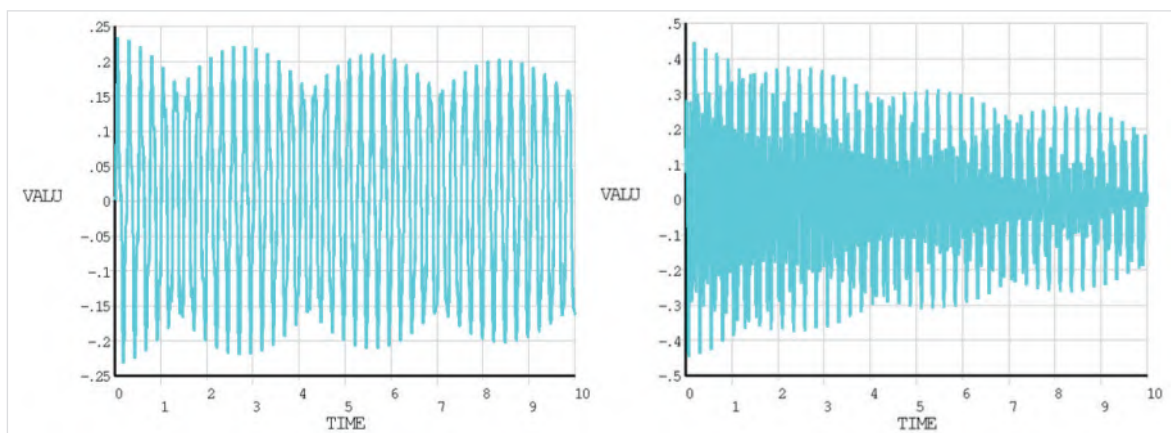


Рис. 11. График перемещения (мм) и ускорения (м/с^2) верхней точки стержня по оси приложения силы $\left(k = 1583.244 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, (C_v)_1 = 0 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}\right)$.

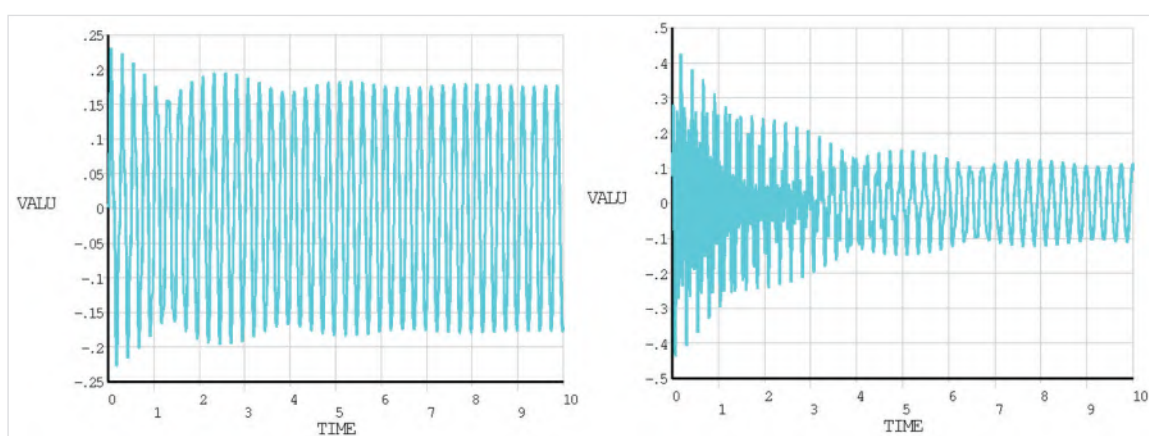


Рис. 12. График перемещения (мм) и ускорения (м/с^2) верхней точки стержня по оси приложения силы $\left(k = 1583.244 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, (C_v)_1 = 70 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}\right)$.

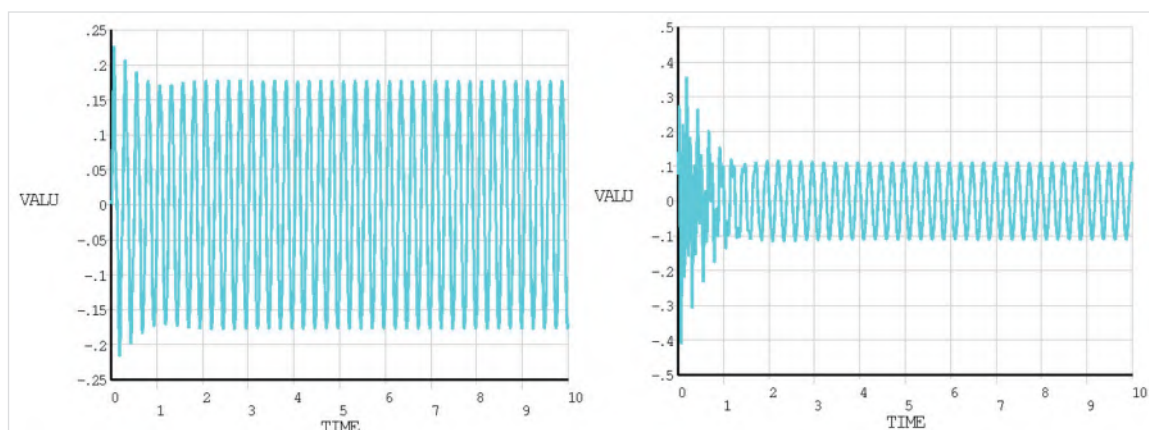


Рис. 13. График перемещения (мм) и ускорения (м/с^2) верхней точки стержня по оси приложения силы $\left(k = 1583.244 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, (C_v)_1 = 350 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}\right)$.

С ростом коэффициента демпфирования $(C_v)_1$ выход в квазистационарный режим происходит раньше, что способствует более быстрому снижению амплитуд перемещений и ускорений конструкции.

Рассмотрим влияние изменения жесткости упругого элемента ДГК на эффективную работу устройства. Приведем графики перемещения и ускорения при жесткостях в 5, 10 раз больше и 10 раз меньше жесткости, полученной в (4): $k_1 = 7916.221 \frac{H}{M}$, $k_2 = 15\,832.441 \frac{H}{M}$, $k_3 = 158.324 \frac{H}{M}$ при значении параметра демпфирования $(C_v)_1 = 0$ (рис. 14–16).

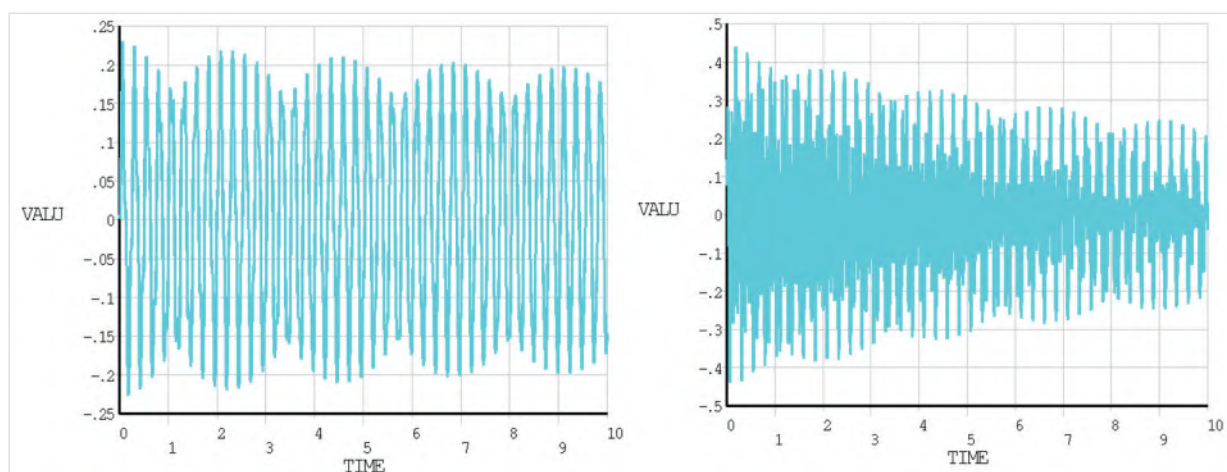


Рис. 14. График перемещения (мм) и ускорения (м/с^2) верхней точки стержня по оси приложения силы $\left(k_1 = 7916.221 \frac{H}{M}, (C_v)_1 = 0 \frac{H \cdot c}{M}\right)$.

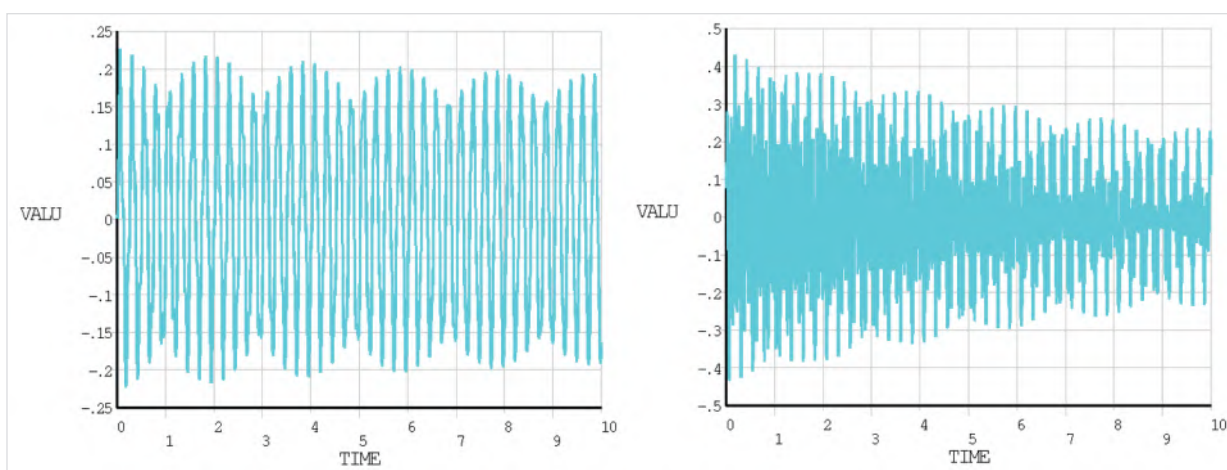


Рис. 15. График перемещения (мм) и ускорения (м/с^2) верхней точки стержня по оси приложения силы $\left(k_1 = 15\,832.441 \frac{H}{M}, (C_v)_1 = 0 \frac{H \cdot c}{M}\right)$.

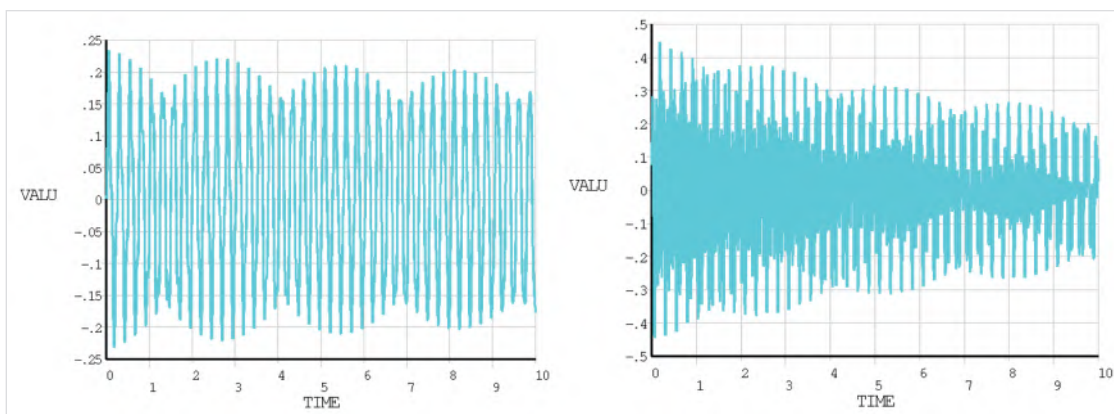


Рис. 16. График перемещения (мм) и ускорения (м/с²) верхней точки стержня по оси приложения силы $\left(k_1 = 158.324 \frac{H}{M}, (C_v)_1 = 0 \frac{H \cdot c}{M} \right)$.

Варьируя жесткость пружины, не меняя при этом массу ДГК, мы получаем, что период колебаний обратно пропорционален квадратному корню из жесткости пружины. Именно такие результаты наблюдаем на **рисунках 14–16**: с увеличением жесткости пружины период колебаний уменьшается.

4. Заключение

В результате проведенного исследования выявлены ключевые методы и технологии, способствующие снижению ветровых воздействий на высотные здания и сооружения. К ним относятся эффективные конструктивные системы, оптимальные формы зданий и использование динамических гасителей колебаний для обеспечения механической безопасности.

Анализ различных конструктивных систем показал, что каркасно-ствольная схема обладает наибольшей устойчивостью к ветровым нагрузкам, демонстрируя минимальные значения перемещений вдоль оси приложения нагрузки. Это подчеркивает необходимость тщательного подбора конструктивной схемы на стадии проектирования.

Результаты оптимизации аэродинамической формы, включая скругление углов и вырезы, продемонстрировали значительное уменьшение пульсационных составляющих аэродинамических сил. Наиболее эффективным методом оказалась модификация углов посредством их скругления, что снижает турбулентность и вихревые образования вокруг здания.

Анализ влияния применения ДГК на поведение высотного здания под воздействием ветровых нагрузок показал, что правильно настроенные динамические гасители колебаний существенно снижают амплитуды колебаний и предотвращают резонансные состояния. Оптимальные параметры жесткости и демпфирования были определены с использованием численного моделирования, что подчеркивает важность точной настройки этих устройств.

Работа (Саияна Сергея Гургеновича) выполнена за счет гранта РНФ № 24-49-02002.

Библиографический список

1. Шукина М. Н. Современное высотное строительство // М.: ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. 440 с.

2. Веселова Е. А., Комишин С. В. Конструктивные системы жилых высотных зданий // Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. — 141 с.
3. Симиу Э., Скалан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения // М.: Стройиздат, 1984. 358 с.
4. Коновалова К. А. Сравнение конструктивных схем высотных зданий со стальным каркасом // Актуальные исследования. 2023. № 26.
5. Хрипунов А. А. Анализ характеристик жесткости вариантов конструктивных схем металлического каркаса высотного здания // Шаг в науку. 2017. № 1.
6. Jooeun L. The Role of the Aerodynamic Modifications of the Shapes of Tall Buildings: Master of Science in Civil and Environmental Engineering: 24.06.2011, Yonghyeon, 2011. 140 p.
7. Kwok K. C. S. Aerodynamics of Tall Buildings, A State of the Art in Wind Engineering: International Association for Wind Engineering // Ninth International Conference on Wind Engineering, New Delhi. 1995 — p. 180–205
8. Саиян С. Г., Ефимова А. М. Расчетные аэродинамические исследования комплекса Московского международного делового центра «Москва-Сити» при последовательном возведении зданий // Вестник МГСУ. — 2024. — Т. 19. — № 6. — С. 906–941. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.6.906-941>
9. Остроумов Б. В. Исследование, разработка и внедрение высотных сооружений с гасителями колебаний: дис. докт. техн. наук: 19.06.2003, Москва, 2003. 425 с.
10. Леонтьев Н. В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа // Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. — 101 с.

COMPUTATIONAL STUDIES OF MEASURES TO REDUCE WIND ACTIONS ON HIGH-RISE BUILDINGS AND STRUCTURES

S. G. Saiyan^{*/**/***}

S. A. Markova^{**}

^{*} Scientific and Educational Center for Computer Modeling of A. B. Zolotov (NRU MGSU), Moscow

^{**} Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

^{***} Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract

The article presents the results of computational studies of methods to reduce wind impacts on high-rise buildings and structures. The research covers three key approaches: selection of optimal structural solutions, aerodynamic optimisation of building shape and application of dynamic vibration dampers (DVD). Various structural schemes of buildings have been analysed and it has been shown that the frame-and-barrel scheme provides mini-mum displacements under the influence of wind load. The geometrical modifications of building shapes, including rounding of corners and cut-outs, which

The Keywords

Wind actions, high-rise buildings, structural systems, aerodynamic shape, dynamic vibration damper.

Date of receipt in edition

20.12.2024

Date of acceptance for printing

22.12.2024

allowed to significantly reduce the pulsation components of aerodynamic forces, are considered. The influence of dynamic vibration dampers parameters, such as stiffness and damping, on the reduction of vibration amplitudes is studied in detail. The results demonstrate the effectiveness of the proposed measures aimed at ensuring mechanical safety and increasing the stability of high-rise buildings against wind loads.

Ссылка для цитирования:

С. Г. Саиян, С. А. Маркова. Расчетные исследования мер снижения ветровых воздействий на высотные здания и сооружения. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 122 – 134.





УДК 66.013.512:504.9

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_135-142

АНТИВАНДАЛЬНЫЕ И АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

А. П. Волочкович
Я. А. Коржемпо

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Антивандальные и антитеррористические меры в проектировании — это не просто набор решений, а целая система технологий, внедряемых на этапе создания зданий и сооружений с целью предотвращения вандализма и террористических актов, а также минимизации последствий таких событий. В условиях современного мира, где безопасность становится приоритетом, эти меры играют решающую роль.

Необходимость антивандальных и антитеррористических мер не вызывает сомнений: они обеспечивают защиту людей и сохранность имущества. Эти меры помогают не только предотвратить преступления и несанкционированный доступ, но и обеспечивают быструю, безопасную эвакуацию в экстренных ситуациях.

Реализация таких мер включает использование прочных, устойчивых к повреждениям материалов, установку современных систем видеонаблюдения и охранной сигнализации, проектирование зданий с акцентом на безопасность, ограничение доступа в определенные зоны, а также внедрение систем пожаротушения и сигнализации. Ограждения и барьеры, хорошее освещение и обучение персонала и посетителей — все это создает комплексный подход к безопасности.

Таким образом, антивандальные и антитеррористические меры представляют собой важный аспект проектирования зданий и сооружений. Они не только создают безопасную и комфортную среду, но и защищают имущество от повреждений и несанкционированного доступа.

Цель данной статьи — подчеркнуть важность внедрения антивандальных и антитеррористических мер в проектировании зданий и сооружений. Эти меры обеспечивают безопасность людей и сохранность имущества, предотвращают преступления и несанкционированный доступ, а также способствуют быстрой и безопасной эвакуации в случае чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова

Проектирование, антивандальные меры, антитеррористические меры, безопасность, вандализм, терроризм, защита, проектирование с учетом безопасности, антитеррористическая защита объектов, проектирование с учетом антитеррористических требований.

Дата поступления в редакцию
25.11.2024

Дата принятия к печати
09.12.2024

В условиях современного мира, где безопасность становится одной из главных задач при проектировании и строительстве, антивандальные и антитеррористические меры занимают центральное

место в обеспечении защиты людей и сохранности имущества. В данной статье мы рассмотрим ключевые аспекты, которые следует учитывать при проектировании с акцентом на данные меры.

Первоначальный шаг в создании антивандальных объектов заключается в глубоком анализе потенциальных угроз. Каждое здание или пространство уникально, и его особенности могут стать уязвимыми для различных видов атак или повреждений. Проектировщики обязаны проводить тщательные исследования, изучая окружение, социальную обстановку и возможные риски. Например, в районах с высоким уровнем преступности необходимо предусмотреть дополнительные защитные меры, такие как системы видеонаблюдения, качественное освещение и использование материалов, стойких к механическим повреждениям.

Одним из важнейших аспектов антитеррористических мероприятий является создание безопасных зон и продуманных путей эвакуации. Проектировщики должны заранее разрабатывать схемы, которые обеспечат безопасный выход людей из здания в экстренных ситуациях, а также предусматривать несколько альтернативных выходов. Это особенно критично для общественных объектов, таких как торговые центры, стадионы и аэропорты, где большое количество людей может оказаться в опасности. Кроме того, необходимо учитывать правильное размещение защитных конструкций, таких как барьеры и ограждения, которые способны значительно снизить риск террористического акта.

Таким образом, внимание к деталям и комплексный подход к проектированию антивандальных и антитеррористических решений являются основополагающими для создания безопасной среды для всех пользователей.

Согласно законодательству Российской Федерации, объекты подвергаются диверсифицированной классификации, основанной на их потенциальной уязвимости к террористическим актам и возможному ущербу, который они могут причинить людям, имуществу и самим себе.

Класс I представляет собой зону максимального риска, где в случае реализации террористических угроз можно ожидать катастрофические последствия для жизни и здоровья граждан, а также значительный материальный ущерб. В этот класс попадают места, где скапливаются толпы людей: вокзалы, аэропорты, торговые центры, стадионы, а также образовательные и медицинские учреждения, и объекты критической инфраструктуры, такие как энергетика и транспорт.

Класс II охватывает объекты, подвергающиеся среднему риску. Здесь мы видим предприятия малого и среднего бизнеса, административные здания, культурные и спортивные сооружения, которые, хотя и не так уязвимы, как объекты первого класса, все же могут стать целью террористов.

Наконец, **Класс III** включает в себя объекты с низким уровнем угрозы, где последствия могут быть незначительными. Это частные жилые дома, маленькие магазины, кафе и рестораны — места, где риск теряет свою остроту.

Необходимо подчеркнуть, что эта классификация является динамичной и зависит от множества факторов: местоположение, инфраструктура, наличие охранных систем и другие аспекты. Определение класса объекта служит основой для разработки стратегий, направленных на предотвращение террористических актов и минимизацию их последствий.

Современные технологии становятся важным союзником в этой борьбе. Инновационные системы контроля доступа, биометрические технологии и интеллектуальные видеонаблюдения способны значительно повысить уровень безопасности объектов. Например, слияние технологий распознавания лиц и анализа поведения может послужить щитом, предвосхищая угрозы до их возникновения. Однако эти технологии должны внедряться с вниманием к правам человека и личной безопасности граждан, чтобы обеспечить баланс между защитой и свободой индивидов.

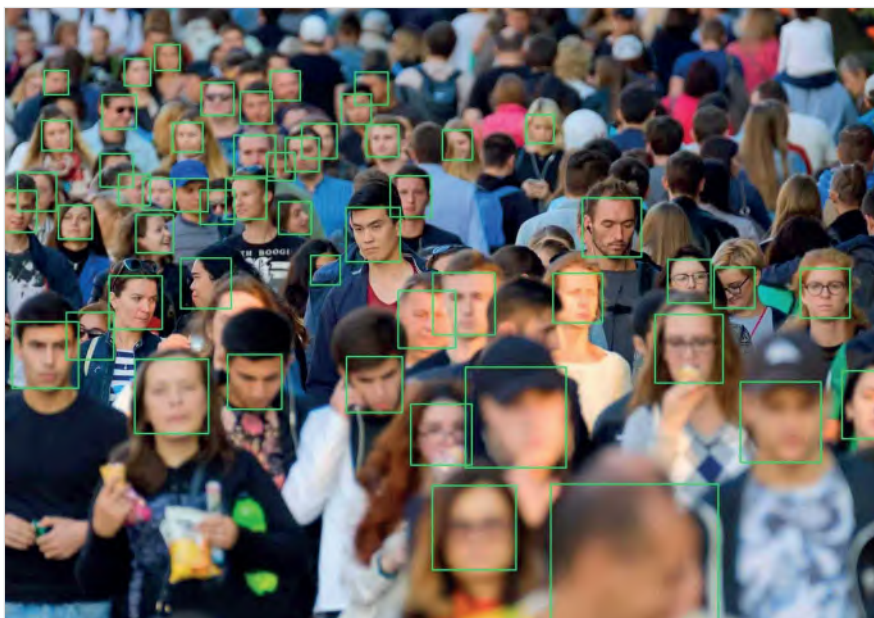


Рис. 1. Технология распознавания лиц через камеры видеонаблюдения на улицах города

Безопасность, как бы это ни звучало, не может поступаться комфортом и эстетическим восприятием. Проектировщики, находясь на передовой этого непростого уравнения, должны творчески балансировать между надежными защитными мерами и созданием визуально притягательной городской среды. Взгляните, к примеру, на антивандальные материалы: их использование вовсе не подразумевает, что здание должно выглядеть угрюмо и безжизненно. Напротив, современная архитектура и технологии открывают двери для создания не только красивых, но и прочных, устойчивых к повреждениям конструкций.

А что насчет ландшафтного дизайна? Он способен кардинально изменить облик территории, играя ключевую роль в обеспечении безопасности. Искусно размещая зелёные насаждения и элементы благоустройства, можно не только украсить пространство, но и затруднить доступ к потенциально уязвимым зонам. Таким образом, гармония между защитой и эстетикой не только возможна, но и необходима для создания комфортной и безопасной городской среды.

Антивандальные мероприятия

Антивандальные мероприятия представляют собой целый комплекс стратегий, направленных на предотвращение актов вандализма, которые могут не только повредить имущество, но и нарушить работу жизненно важных систем, создавая угрозу безопасности людей. При проектировании таких мер следует учитывать множество факторов:

1. Материалы и конструкции. Прочные и долговечные материалы — залог защиты. Использование стальных конструкций, устойчивых к коррозии, например, может значительно снизить риски повреждений зданий и сооружений.

2. Освещение. Освещённость — это не просто вопрос видимости, это элемент безопасности. Правильное размещение источников света, их яркость и направленность могут существенно снизить вероятность совершения вандализма в тёмное время суток.

3. Ограждения. Надёжные и прочные ограждения — это первый барьер на пути к несанкционированному доступу. Они создают физическое препятствие и, тем самым, снижают риск актов вандализма.

4. Системы видеонаблюдения. Камеры, стратегически расположенные в уязвимых местах, не только помогают раскрыть акты вандализма, но и служат мощным сдерживающим фактором для потенциальных нарушителей.

5. Системы сигнализации. Быстрое реагирование — ключ к минимизации ущерба. Надёжные системы сигнализации, защищённые от доступа посторонних, обеспечивают оперативное реагирование на инциденты.

6. Благоустройство территории. Привлекательная среда становится естественным барьером против вандализма. Правильное размещение элементов озеленения, детских и спортивных площадок создает не только уют, но и снижает желание совершать акты вандализма.

7. Обучение персонала. Персонал — это первый ряд защиты. Обучение правилам поведения при обнаружении актов вандализма, алгоритмам вызова правоохранительных органов и оказанию первой помощи — важный аспект обеспечения безопасности.

Таким образом, антивандальные мероприятия требуют комплексного подхода, сочетая технологии, архитектурные решения и человеческий фактор для создания защищённой и комфортной городской среды.

Антитеррористические мероприятия

Антитеррористические мероприятия — это многоуровневая защита, направленная на предотвращение террористических актов, которые чреваты гибелью людей, разрушением инфраструктуры и угрозой безопасности общества. В процессе проектирования таких мероприятий необходимо учитывать целый ряд критически важных аспектов:

1. Инженерные системы. Системы отопления, вентиляции, кондиционирования и электроснабжения должны быть надёжно защищены от несанкционированного доступа и повреждений. Это не только предотвращает использование инженерных систем в террористических целях, но и сохраняет их функциональность в экстренных ситуациях.

2. Системы контроля доступа. Турникеты, шлагбаумы и электронные замки должны быть установлены с учётом защиты от взлома. Эти системы обеспечивают безопасность, предотвращая проникновение террористов на объект и контролируя поток людей.

3. Системы оповещения. Противопожарные и экстренные системы оповещения должны быть надёжно защищены от вмешательства. Защита этих систем критически важна для обеспечения быстрого реагирования в случае угрозы, ведь они могут стать ключевыми в спасении жизней.

4. Эвакуационные пути. Эти пути должны быть всегда свободными от препятствий, обеспечивая быструю и безопасную эвакуацию людей в случае террористического акта. Знаки безопасности и указатели должны четко обозначать пути выхода, чтобы избежать паники и замешательства.

5. Обучение персонала. Персонал, работающий на объекте, должен быть подготовлен к действиям в условиях нападения. Обучение должно охватывать правила поведения при обнаружении террористического акта, алгоритмы вызова правоохранительных органов и оказание первой помощи пострадавшим.

6. Системы безопасности. Охранные сигнализации, видеонаблюдение и контроль доступа должны быть надежно защищены от попыток взлома. Эти системы не только предотвращают несанкционированный доступ, но и служат важным инструментом для обеспечения общей безопасности объекта.

Таким образом, комплексный подход к антитеррористическим мероприятиям, основанный на тщательном проектировании и обучении, способен существенно повысить уровень безопасности и снизить риски, связанные с возможными террористическими угрозами.

Заключение

Антивандальные и антитеррористические мероприятия представляют собой ключевые элементы в обеспечении безопасности при проектировании объектов. В этом контексте следует учитывать множество факторов: от материалов и конструкций до освещения, ограждений и систем видеонаблюдения. Эти аспекты, включая системы сигнализации, благоустройство территории и обучение персонала, работают в едином тандеме, создавая безопасную среду для людей и предотвращая как акты вандализма, так и террористические угрозы.

Не менее важно отметить, что антивандальные и антитеррористические стратегии должны быть комплексными, охватывая все возможные риски. Проведение тщательного анализа угроз и разработка мер по их снижению являются необходимыми шагами к созданию защищенной среды. Такой подход не только минимизирует потенциальные риски, но и формирует уверенность у пользователей объектов в их безопасности.

Комплексный подход к безопасности позволяет создать не просто защищенный объект, но и комфортную атмосферу для его посетителей. Каждая деталь, каждая система безопасности должна быть предусмотрена и интегрирована в общий дизайн, чтобы обеспечить максимальную защиту и уют в пространстве. Таким образом, при проектировании следует учитывать все аспекты антивандалных и антитеррористических мер, создавая гармоничное сочетание безопасности и комфорта.

Выводы

Антивандальные и антитеррористические мероприятия представляют собой краеугольный камень безопасности в проектировании разнообразных объектов. Их основная цель — предотвратить акты вандализма и терроризма, способные вызвать катастрофические последствия, такие как гибель людей и разрушение инфраструктуры.

Для эффективного обеспечения безопасности необходимо учитывать множество факторов: от прочности используемых материалов и конструкций до грамотного освещения, установки ограждений и систем видеонаблюдения и сигнализации. Благоустройство территории и обучение персонала также играют не менее важную роль в создании защищенной среды. Важным этапом является проведение анализа рисков и разработка комплексных мер, направленных на их снижение.

Создание безопасной среды требует слаженных действий проектировщиков, строителей и эксплуатационных служб. Только через интеграцию различных аспектов антивандалных и антитеррористических мероприятий можно добиться надежной защиты людей и имущества. Такой комплексный подход обеспечивает не только физическую безопасность, но и психологическое спокойствие пользователей объектов, создавая уверенность в их защищенности.



Рис. 2. Пример реновации Столешникова переулка в г. Москва, 1994–2021 гг.

Библиографический список

1. Закон Российской Федерации «Федеральный закон (ред. от 24.07.2023) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»» от 30.12.2009 (ред. от 24.07.2023) № N 384-ФЗ // Российская газета — URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858&ysclid=m3ot3kghzm217879679> (дата обращения: 19.11.2024).
2. Закон Российской Федерации «Федеральный закон N 35-ФЗ «О противодействии терроризму»» от 06.03.2006 (ред. от 24.07.2023) № N 35-ФЗ // Российская газета — URL: https://barysh.gosuslugi.ru/ofitsialno/antiterroristicheskayadeyatelnost/dokumenty/dokumenty_1434.html?ysclid=m3ot9iomz1595365540 (дата обращения: 19.11.2024).
3. Закон Российской Федерации «Федеральный закон N 309-ФЗ «О внесении изменений в статью 16 Федерального закона «О транспортной безопасности» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»» от 30.12.2009 (ред. от 24.07.2023) № N 309-ФЗ // Российская газета — URL: <https://base.garant.ru/12164274/?ysclid=m3otd1f59720847070> (дата обращения: 19.11.2024).
4. ГОСТ Р 56703-2015. Антитеррористическая защищённость зданий и сооружений. Правила оказания услуг по охране объектов.: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022-29-12 / Федеральное агентство по техническому регулированию. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ, 2022. — 12 с. URL: <https://eis.su/wp-content/uploads/2023/08/ГОСТ-31937-2011.pdf?ysclid=m3ots8gga278535774> (дата обращения: 19.11.2024).
5. ГОСТ 31937-2011. Антитеррористическая защищённость зданий и сооружений. Правила оказания услуг по охране объектов. национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2024-

29-02 / Федеральное агентство по техническому регулированию. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ, 2024. — 125 с. — URL: <https://www.nep.expert/docs/dokument/ГОСТ%2031937-2024.pdfpdf> (дата обращения: 19.11.2024).

6. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления : национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2019-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 124 с. — URL: https://www.rsl.ru/photo/!_ORS/5-PROFESSIONALAM/7_sibid/ГОСТ_Р_7_0_100_2018_1204.pdf?ysclid=m3ouafjh6y947548966 (дата обращения: 19.11.2024).

7. Белов, С. В., Ильницкая, А. В., Козьяков, А. Ф. и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. / Белов, С. В., Ильницкая, А. В., Козьяков, // — М.: Высш. шк., 2000. — 448 с. — URL: <https://djvu.online/file/h75XEC4l3b2z3?ysclid=m3ougr6bzg453053506> (дата обращения: 19.11.2024).

8. Зайцев А. П. Противодействие терроризму. / Зайцев А. П. // : учебное пособие. — М.: ФОРУМ, 2012. — 208 с. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003370518> (дата обращения: 19.11.2024).

9. Муравец О. В. Экологическое право. / Муравец О. В. // Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. — 303 с. — URL: https://vk.com/wall-215870163_49252 (дата обращения: 19.11.2024).

10. Шубин Е. Н. Шульгина, Н. А. Антитеррористическая защищённость объектов. / Шубин Е.Н. Шульгина, Н. А. / Учебное пособие. — М.: Юрайт, 2017. — 172 с.

11. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 24.07.2023) // КонсультантПлюс: [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 19.11.2024).

ANTI-VANDAL AND ANTI-TERRORIST MEASURES TAKEN INTO ACCOUNT IN THE DESIGN

A. P. Volochkovich
I. A. Korzhempo

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Abstract

Anti-vandal and anti-terrorist measures in design are not just a set of solutions, but a whole system of technologies implemented at the stage of creating buildings and structures in order to prevent vandalism and terrorist acts, as well as minimize the consequences of such events. In today's world, where security is becoming a priority, these measures play a crucial role.

The need for anti-vandal and anti-terrorist measures is beyond doubt: they ensure the protection of people and the safety of property. These measures help not only to prevent crimes and unauthorized access, but also ensure quick, safe evacuation in emergency situations.

The Keywords

Design, anti-vandal measures, anti-terrorist measures, security, vandalism, terrorism, protection, design taking into account security, anti-terrorist protection of facilities, design taking into account anti-terrorist requirements.

The implementation of such measures includes the use of durable, damage-resistant materials, the installation of modern video surveillance and alarm systems, the design of buildings with an emphasis on safety, restricting access to certain areas, as well as the introduction of fire extinguishing and alarm systems. Fences and barriers, good lighting and training of staff and visitors — all this creates an integrated approach to safety.

Thus, anti-vandal and anti-terrorist measures represent an important aspect of the design of buildings and structures. They not only create a safe and comfortable environment, but also protect property from damage and unauthorized access.

The purpose of this article is to emphasize the importance of introducing anti-vandal and anti-terrorist measures in the design of buildings and structures. These measures ensure the safety of people and property, prevent crimes and unauthorized access, and facilitate quick and safe evacuation in case of an emergency.

Date of receipt in edition

25.11.2024

Date of acceptance for printing

09.12.2024

Ссылка для цитирования:

А. П. Волочкович, Я. А. Коржемно. Антивандальные и антитеррористические мероприятия, учитываемые при проектировании. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 135–142.





УДК 721.012.6

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_143-149

ПРОЕКТ «ЛЕСНОЙ СЦЕНЫ» В МУЗЕЕ-ЗАПОВЕДНИКЕ ПАРКЕ МОНРЕПО Г. ВЫБОРГ

Ю. А. Жук
П. А. Сергиеня
М. В. Аргутина

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова,
г. Санкт-Петербург

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы улучшения городских открытых пространств на примере государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника «Парк Монрепо». Определена необходимость создания дизайн-кода для создания единого визуального языка, способствующего улучшению восприятия городской среды. Представлен разработанный проект «Лесной сцены» парка, рассмотрены основные этапы его создания. Приведены примеры проектных решений малых архитектурных форм, созданных специально для парка Монрепо. Кроме этого, показана необходимость создания единой системы навигации и продемонстрированы интересные решения в данной области.

Ключевые слова

Благоустройство городских парков, парк Монрепо, дизайн-код, малые архитектурные формы, навигация в парках.

Дата поступления в редакцию

02.12.2024

Дата принятия к печати

13.12.2024

Создание открытых пространств в черте города, куда местные жители могут пойти отдохнуть и полюбоваться пейзажами, является одним из методов развития и улучшения городской среды. Парк Монрепо в Выборге — один из самых масштабных пейзажных парков в Ленинградской области. Гранитные скалы, вековые сосны и ели, завораживающие виды на бухту залива, островки. Это место вобрало в себя всю красоту карельской природы, а несколько веков назад искусные мастера вписали в уникальный ландшафт усадебный комплекс, беседки, мостики и скульптуры. Полюбоваться редкой красотой можно в любое время года — каждый сезон только подчеркивает его притягательность [1]. Парк Монрепо является одним из популярных мест, как для местных жителей, так и для туристов этого города.

Непростая история существования самого парка и архитектурных объектов, находящихся на его территории, насчитывает несколько веков. Статус государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника «Парк Монрепо» был присвоен лишь в 1988 году. При пожаре 1989 г. был нанесен значительный урон главному усадебному дому и флигелю. После этого пери-

одически предпринимались попытки реставрации и ремонта, воссоздания исторического облика в зданиях и парке. И лишь в период 2017 – 2023 гг. была проведена глобальная реставрация на исторической части парковой территории объекта культурного наследия «Комплекс усадебных домов и парковых сооружений XVIII – XIX вв.» [2].

Осенью 2023 года сотрудники Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова обратились с инициативой разработать дизайн-код музея-заповедника парка Монрепо в рамках дипломного проекта студента по направлению подготовки «Дизайн» и получили поддержку со стороны администрации парка.

Дизайн код — это необходимый набор правил и рекомендаций, которые определяют стиль, визуальное оформление, общую концепцию и атмосферу для какого-либо предприятия, коммерческой или некоммерческой организации. Он включает в себя такие элементы как цветовая палитра, типографика, оформление электронных ресурсов, создание сувенирной продукции и другое. В нашей стране с 2000-х годов понятие дизайн-код применялся преимущественно городской среде и к фирменному стилю любой организации или фирмы. В России впервые дизайн код вывесок разработала студия Артемия Лебедева для центра Москвы в 2013-м году, а с 2016 г. внедрять новые правила оформления фасадов начали и в других городах страны [3].

В дизайн-коде музеев также существует правила оформления не только фирменного стиля, но и малых архитектурных форм (МАФ), которые должны быть оформлены с учетом общей стилистики [4]. В данной статье, хотим рассказать о проекте «Лесная сцена», которая является одним из главных элементов музея и представляет множество малых архитектурных форм, которые дополняют основной амфитеатр и отражает уникальный стиль всего комплекса.

«Лесная сцена» — это неисторическая часть Монрепо, представляющая собой открытую летнюю площадку, общей площадью 15 707 м² в западной части парка [5]. Она была специально разработана для проведения различных культурных мероприятий. Здесь в живых природных декорациях проходят традиционные фестивали и праздники Монрепо: «Ночь музеев», «Сиреневый день в Монрепо», «Дачные сезоны», музыкальный фестиваль «Кедр». Большая площадь «зрительного зала» позволяет проводить здесь не только концерты и спектакли, но и одновременно организовывать пространство для ярмарки, игр и мастер-классов на свежем воздухе. Ежегодные летние спектакли и концерты на сцене возрождают исторические традиции летних театров. «Лесная сцена» не только служит площадкой для различных мероприятий, она является привлекательным элементом архитектуры и элементом дизайн-кода парка [6].

Первым этапом проектирования «Лесной сцены» было получение брифа на разработку проекта и технического задания от администрации парка. В проектных решениях зоны необходимо было выполнить следующие требования и пожелания:

1. Функциональное назначение «Лесной сцены» — это зона отдыха гостей музея-заповедника и зона проведения мероприятий. Визуальные решения должны располагать к отдыху с семьей, в одиночестве, в компании и соответствовать общему стилю музея-заповедника: минимализм, функциональность, сдержанность, подчеркивание красоты природы. Зона должна выделяться из тех, что принято считать стандартными решениями для зон отдыха ЦПКиО и городских парков [7, 8].

2. В зоне необходимы: сцена, места для зрителей, 2 – 3 беседки со столиками и сидениями, различные качели, зона для отдыха-обучения детей. Сцена предполагается для проведения: спектаклей, концертов, кино, лекций, танцевальных выступлений. Мест для зрителей должно быть не менее 50. Возможен вариант стационарных мест и дополнительно устанавливаемых мест для зрителей в слу-

чае проведения крупных мероприятий. Зрительный зал должен быть оборудован крышей, желательно прозрачной.

3. Беседки со столиками не должны напоминать мангальные и стимулировать гостя к продолжительному времяпровождению внутри.

4. Качели должны быть расположены так, чтобы использующий их гость не находился рядом с посетителями, которые выбрали для досуга беседки. В идеале, расположение качелей должно быть таким, чтобы сидящий на них мог видеть, что происходит на сцене. Наличие крыши у качелей не принципиально, но желательно.

5. Зона для отдыха-обучения детей должна представлять собой конструкции для детей разных возрастных категорий.

6. Общая вместимость площадки должна составлять до 200 человек.

Следующим этапом, после получения брифа и технического задания был выезд на территорию парка для фотофиксации и изучения топографии местности. Это было необходимо для полного понимания характеристик участка, на которых будут размещаться объекты благоустройства. С помощью фотографий топографических карт можно оценить особенности рельефа, имеющиеся растительные сообщества и экологический баланс.

Анализ исходных данных показал, что момент на проектируемой территории расположена сцена, деревянный помост с посадочными местами, дополнительная сцена и иногда разворачивается тент для мастер-классов. При этом все мероприятия проводятся в основном в летнее время.

Проектная территория находится в центральной части парка, недалеко от главных входных ворот Монрепо. К самой лесной сцене можно попасть с трех сторон, но основной поток посетителей осуществляется только с двух сторон: с северо-восточной и восточной части парка. Площадка окружена деревьями со всех сторон, также существует небольшой уклон, что создает некоторое чувство театральности (рис. 1).



Рис. 1. Фотофиксация территории «Лесной сцены» (октябрь 2023 г.)

После изучения местности, на основе полученных данных, а также учитывая требования из брифа и технического задания, а также ГОСТ и СНиП [9 – 16], началось создание первых планов территории. Была определена общая стилистика проекта и подготовлены ситуационный и генеральный планы проектируемой территории.

В основе разработанной концепции (рис. 2) легли бионические формы и использовались светлые оттенки, чтобы подчеркнуть естественный вид природного парка. Сама «Лесная сцена» выполнена в форме круга, напоминающую тарелку с необычным круговым задником. Используемые материалы: террасная доска двухсторонняя; бетон.



Рис. 2. Визуализации проекта «Лесная сцена» в музее-заповеднике парке Монрепо г. Выборг

Прогулочная тропа представляет собой несколько круговых и полукруговых дорожек, используемые материалы: белый цемент, мраморная крошка, террасная доска светлого оттенка. Перед сценой внутри амфитеатра расположены деревянные скамьи для зрителей. На прилегающей территории находятся павильоны — беседки в форме «капли» (рис. 3), изготовленные из поликарбоната, внутри которых располагаются столики со стульями.



Рис. 3. Визуализация беседок со столиками «Лесной сцены»

Беседки снабжены системами вентиляционных люков. В отдаленной части сцены располагается спиралеобразный павильон — зона для отдыха и мастер-классов (рис. 4). К павильону прилегают аналогичные беседки в форме «капли», внутри которых располагаются двухместные деревянные качели. На территории всей проектируемой зоны располагаются светодиодные водонепроницаемые светильники для газона.



Рис. 4. Визуализация павильона и беседок с качелями

По результатам обсуждения концепции проекта «Лесной сцены» с заказчиком были внесены небольшие изменения, связанные с особенностями местности. В том числе была создана схема организации территории, основанная на комплексе мероприятий, проводимых на территории «Лесной сцены».

Кроме создания серии МАФ проект был дополнен системой навигации, соответствующей общей разработанной стилистике парка, которая является неотъемлемой и необходимой частью любого парка [17]. Благодаря указателям и навигационной карте посетители могут легко и удобно ориентироваться на территории парка. Навигация парка обеспечивает безопасность посетителей, помогая им избежать опасных зон и ориентируя на выход в случае необходимости.

Необходимо было создать не только достаточное количество навигации на территории парка, но и показать ценность утраченных исторических реликвий. Для этого была разработана система Qr-кодов на навигационных табличках, благодаря которой можно достаточно просто получить информацию об историческом объекте и «увидеть» первозданный вид с помощью дополненной реальности.

Популяризация культурного наследия и инструменты, делающие его доступным новым поколениям, важная часть работы современного музея. Необходимость в современном подходе к существующему культурному наследию и его ребрендинг, на сегодняшний день, играет большую роль [18]. Малые архитектурные формы требуют тщательного внимания в их создании с помощью экологических материалов и текстур, а также использование современных трендов в дизайне, что будет отличным дополнением к уже существующему культурному коду. При этом важным аспектом является сохранение исторического контекста и создание гармоничного сочетания с окружающей средой [19]. Разработанный проект имеет большое значение для привлечения новых посетителей на территорию парка и в город Выборг. Кроме этого, музей-заповедник парк Монрепо сможет предложить посетителям уникальное цельное визуальное восприятие, которое полностью соответствует его историческому значению и культурному наследию.

Библиографический список

1. Архипова, Е. П., Попова Е. П., Архипова, Е. Б. Садово-парковые ансамбли. Парк Монрепо // Инновационные технологии в садоводстве и ландшафтном дизайне: Материалы Всероссийской научно-

практической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Екатеринбург: ФГБОУ ВО УГАУ, 2021. С. 35 – 37.

2. Ефимов, М. В., Мошник Ю. И. Парк Монрепо в XX веке: страницы истории. — Санкт-Петербург: Центр Сохранения Культурного Наследия, 2010. — 159 с.

3. Дизайн код индустриального парка. URL: [m8//https://archreforma.ru/portfolio/dizajn-kod-industrialnogo-parka-m8](https://archreforma.ru/portfolio/dizajn-kod-industrialnogo-parka-m8) (дата обращения: 20.09.2024 г.)

4. Пастух О. А., Елистратов В. Н., Есауленко И. В. Архитектурные аспекты и конструктивные решения формирования и устойчивого развития дизайна городской среды // Системные технологии. — 2024. — № 2 (51). — С. 162 – 170.

5. Парк Монрепо в Выборге. URL: <https://www.kp.ru/russia/vyborg/mesta/park-monrepo> (дата обращения: 19.09.2024 г.)

6. Захарова М. С. Монрепо помогает вернуться в начало XX века. URL: <https://gazetavyborg.ru/news/kraevedenie/monrepo-pomogaet-vernutsya-v-nachalo-khkh-veka--/> (дата обращения: 04.09.2024 г.)

7. Теодоронский, В. С., Боговая И. О. Ландшафтная архитектура с основами проектирования. Москва: Издательство «Форум», 2016. — 304 с.

8. Соломина, Ж. Б. Особенности формирования и современная ландшафтная структура парка «Монрепо» в Выборге // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. — 2008. — № 4. — С. 168 – 178.

9. СНиП 2.01.09-91(1998) «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах».

10. СНиП 2.02.01-83 (1995) «Основания зданий и сооружений».

11. СНиП 2.03.03-85 «Армоцементные конструкции».

12. СНиП 2.08.02-89 (2003) «Общественные здания и сооружения».

13. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

14. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»;

15. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

16. СНиП III-10-75 (2000) «Благоустройство территорий».

17. Лола Г. Н. Дизайн-код: методология семиотического дискурсивного моделирования — Санкт-Петербург: Типография «Береста», 2019. — 264 с.

18. Викторова Л. П., Гончарова Н. В. Парк «Монрепо» как уникальный объект природного и историко-культурного наследия // Сборник научных трудов. Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена. — Санкт-Петербург: «Облик», 2005. — С. 151 – 153.

19. Денисенко С. В. «Конец света». Семантика парка Монрепо в Выборге // Сад в городе: будни и праздники: Сборник материалов междисциплинарного семинара. Псков: Псковский государственный университет, 2018. — С. 23 – 27.Ж

PROJECT “FOREST SCENE” IN THE MUSEUM-RESERVE MONREPOS PARK VYBORG

Ya. A. Zhuk
P. A. Sergienya
M. V. Argutina

Saint-Petersburg State Forest University named after S. M. Kirov, Saint-Petersburg

Abstract

The article considers the issues of improving urban open spaces using the example of the state historical, architectural and natural museum-reserve “Monrepos Park”. The need to create a design code for creating a single visual language that helps improve the perception of the urban environment is determined. The developed project of the “Forest Scene” of the park is presented, the main stages of its creation are considered. Examples of design solutions for small architectural forms created specifically for Monrepos Park are given. In addition, the need to create a unified navigation system is shown and interesting solutions in this area are demonstrated.

The Keywords

Improvement of city parks, Monrepos Park, design code, small architectural forms, navigation in parks.

Date of receipt in edition

02.12.2024

Date of acceptance for printing

13.12.2024

Ссылка для цитирования:

Ю. А. Жук, П. А. Сергиеня, М. В. Аргутина. Проект «Лесной сцены» в музее-заповеднике Парке Монрепо г. Выборг. — 2024. — № 4 (53). — С. 143–149.



УДК 712.01

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_150-158

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ШЛИССЕЛЬБУРГА.
ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЕ АСПЕКТЫ**

**М. А. Гранстрем
М. С. Ефимова**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Рассматриваются аспекты формирования территории Шлиссельбурга, его гидротехнической системы, сформированной в XVIII–XIX вв. На основе архивных документов были определены этапы развития системы каналов, уточнены исторические сведения об объектах, входящих в состав гидротехнической системы. Выявлены актуальные проблемы сохранения и гармоничного интегрирования системы каналов в современный городской ландшафт. Актуальность темы обусловлена необходимостью сохранения среды Шлиссельбурга. В статье использованы материалы Российского государственного архива военно-морского флота, исторические документы, предоставленные музеем истории Шлиссельбурга.

Ключевые слова

Шлиссельбург, планировочная структура, гидротехническая система, каналы, шлюзы, мосты, объекты культурного наследия.

Дата поступления в редакцию

25.11.2024

Дата принятия к печати

12.12.2024

В постиндустриальном обществе вопрос сохранения архитектурно-градостроительного наследия встает очень остро. Начиная 1990-х годах в России, как и за рубежом, стали появляться теоретические исследования и проектные концепции, посвященные перепрофилированию и реновации объектов культурного наследия — памятников архитектуры. Однако не менее актуальный вопрос сохранения исторических рукотворных ландшафтов и связанных с ними ценных памятников инженерного искусства, которому в европейских странах уделяется много внимания, в России поднимается крайне редко. Проблему ревитализации природных и антропогенных ландшафтов с историческими инженерно-техническими сооружениями [1] можно рассмотреть на примере Шлиссельбурга.

Уникальность Шлиссельбурга определяется, во-первых, выдающимся расположением города у истока Невы и непосредственной близостью к крепости Орешек, а во-вторых — его историческими каналами. Природно-искусственный ландшафт Шлиссельбурга образует система каналов, созданная на протяжении XVIII–XIX веков. Игнорирование важной роли водных объектов, отсутствие внимания к выразительным по архитектуре уникальным гидротехническим сооружениям, приводит к нарушению целостности облика города [2].

В начале XVIII века крепость Орешек¹ в истоке Невы имела важное стратегическое значение (рис. 1). Петр Великий выстраивал торговые отношения с Европой, а морской путь проходил через Ладожское озеро, отличавшееся штормовыми ветрами. Суда с грузом часто погибали; купцы и государство несли убытки, под угрозой находился строительный материал для возведения новой столицы, который также транспортировался через Ладогу.

Чтобы избежать крушений судов было принято решение прорыть Ладожский канал². Строительство началось в 1719 году по проекту барона фон Миллера. Канал шёл параллельно берегу озера, при этом был безопасным, имел ширину 21 метр и глубину 2.1 метр [3]. Изначально строительство было поручено князю А. Д. Меншикову, который обязался выполнить работу за два года, однако строительство затянулось на 12 лет. В результате руководства Меншикова на работы ушло около двух миллионов рублей, тысячи рабочих, но результата не было [3].



Рис. 1. Фрагмент карты бывших губерний Иван-города, Яма, Капорья и Нэтеборга авторства Бергенгейма. 1676 год. Источник изображения — http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1676/

В 1728 году, уже после смерти Петра I, работы продолжает граф К. А. Миних, знающий инженерное искусство и гидрологию, имеющий опыт руководства строительством канала и шлюза в Германии³. Ладожский канал был открыт 19 марта 1732 года, на тот момент являлся крупнейшим гидротехническим сооружением Европы. (Рис. 2). Работы по благоустройству, отделке берегов канала, установке каменных шлюзов продолжались вплоть до 1750-х годов. Канал принес колоссальную пользу; в трудах графа Эрнста Миниха упоминается, что «в 1734 г. по нему прошло товаров на сумму 4 миллиона рублей. В 1820 г. по каналу было переправлено грузов на 30 миллионов рублей, а в 1860 г. на 100 миллионов» [4, с. 81].

¹ Дата основания русской крепости Орешек — 1323 г., в составе Швеции — 1612–1702 гг., (Нотебург).

² Впоследствии — Петровский и Староладожский.

³ Под руководством К. А. Миниха был возведен шлюз у Карлсхафена, прорыт Грабенштейнский канал, соединявший Фульду и Везер в 1713 году.



Рис. 2. План Староладожского канала с деталями. РГАВМФ, Ф. 3, Оп.23, д. 937

Канал был оснащён деревянными спусками к воде, они использовались как резервные [5, с. 11] (рис. 3). Уровень воды в Ладожском озере колебался от 0,4 до 0,7 метров, это связано с стоком речных вод, а также сезонными изменениями климата. Эти особенности гидросистемы Ладожского озера сначала не были учтены, в связи с чем канал мельчал. Это обусловило необходимость возведения шлюзов [6, с. 17].

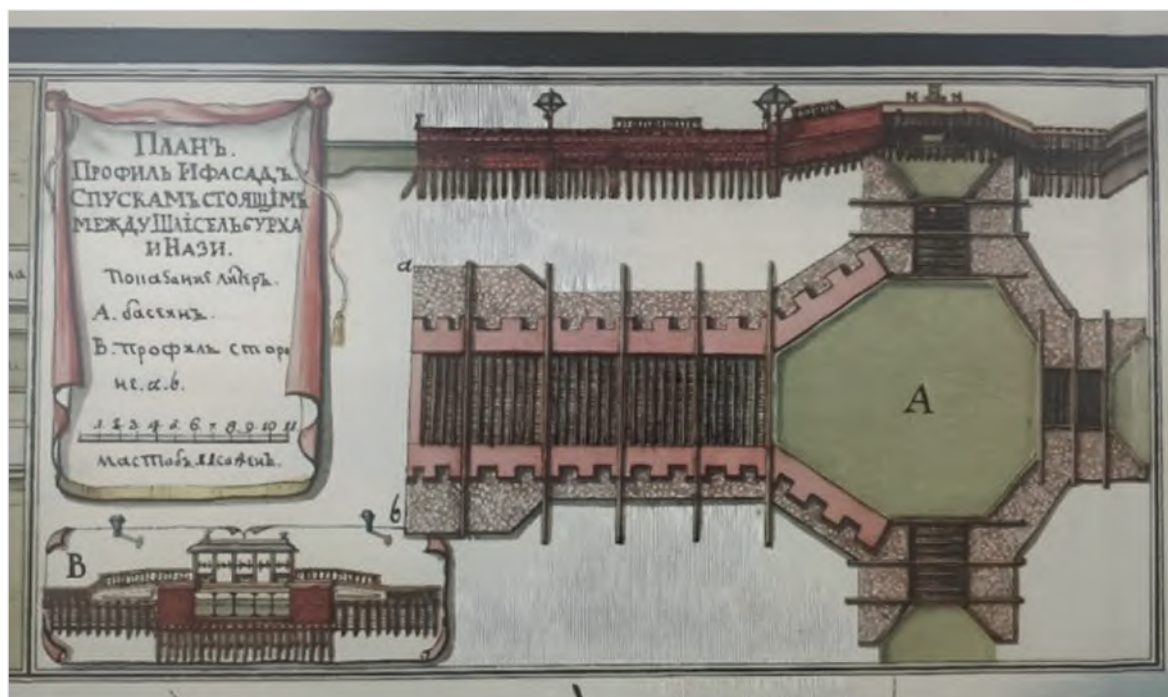


Рис. 3. План, профиль и фасад спусков, стоящих между Шлиссельбургом и Назией. Источник изображения — РГА ВМФ, Ф. 3, Оп.23, д. 937

Шлиссельбургский трехкамерный шлюз первоначально состоял из одной каменной и двух деревянных камер, он вмуровывался в дно канала [7, с. 76]. На фасаде имела памятная доска, а на шлю-

зе стояла памятная пирамида. В мае 1732 года в Шлиссельбург, с целью проверки работы шлюзов, прибыла Анна Иоанновна и выразила полное удовлетворение увиденным. В конце XIX века, с целью увеличить пропускную способность Петровского канала, шлюз был расширен до четырёх камер, а дерево было заменено на гранит (рис. 4).



Рис. 4. Шлиссельбург. Вид на Собор Благовещения Пресвятой Богородицы и шлюзы. Фото 1900–1910-е гг. Источник изображения: <https://pastvu.com/p/612962>

Система шлюзов продолжала действовать до момента закрытия судоходства по Ладожскому каналу, то есть до 1940-года (рис. 5, 6). После Великой Отечественной войны шлюзы уже не использовались, ворота были утрачены, кадка из гранитных блоков повреждена.



Рис. 5. Фрагмент плана города Шлиссельбург. 1906 год. Источник изображения—РГА ВМФ, Ф. 1331, Оп.1, д. 307 «Шлиссельбург, город. План.»

В XVIII веке у истока Невы и на берегах Ладожского канала развивается поселение. Застраиваются дамбы, появляются жилые дома, церкви, часовни, дома начальников отделений и дистанций канала, казармы, лазареты, больницы, магазины [5].

В 1731 году возводится Александровский мост-водоспуск, который был необходим для сброса лишней воды из канала в весенний период (рис. 7). Мост оснащён щитовыми стойками и щитами-шандорами, отсюда происходит его название. Первый водоспуск в этом месте был возведён в 1730 году, позднее он был перестроен. Мост, существующий в наши дни, был появился в 1784–1786 годах по проекту Ф. Астафьева. Мост удалён от основной городской застройки, расположен, согласно карте 1906 года, на Петровской речке [Топоним ныне утрачен] [8], которая ныне соединяет Староладожский и Новоладожский каналы.

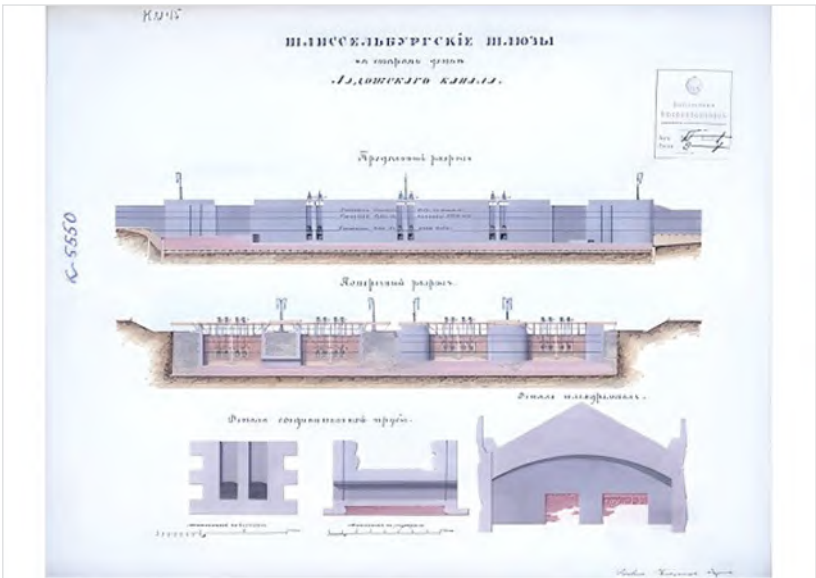


Рис. 6. Шлиссельбургские шлюзы, фасад. Источник изображения — <https://geoportal.rgo.ru/record/11277>



Рис. 7. Шандорный мост, 2008 год, личный архив М. С. Ефимовой

Екатерининский⁴ канал был построен в 1800–1806 годах по проекту И. К. Герарда [9, с. 140] (рис. 8). Он должен был снизить нагрузку на устье Ладожского канала. Петровский канал по-преж-

⁴ Малоневский канал.

нему мельчал, становился все менее рентабельным, судоходство несло убытки, в негодность пришёл и шлюз, пропускная способность которого снизилась. Поэтому вместе с созданием Екатерининского канала велись работы по реставрации гидросистемы Петровского канала. Гранитный двухкамерный шлюз был построен на месте однокамерного в 1834 – 1841 годах. Недалеко от шлюзов в 1835 – 1841 гг. был возведен Горбатый мост [10, с. 192].



Рис. 8. Малоневский канал, фото из фондов Музея истории города Шлиссельбург

С 1826 по 1832 годы ведётся строительство Петровского моста («Моста на колоннах») под руководством архитектора П. П. Базена. (Рис. 9). Проект разводного моста разработал инженер-полковник Н. И. Богданов⁵. Мост установлен на гранитных колоннах, выполненный на основе ордерной системы. Колонны, произведенные артелью С. С. (К.) Суханова, объединены в группы, в основании напоминают греческий дорический ордер [6].

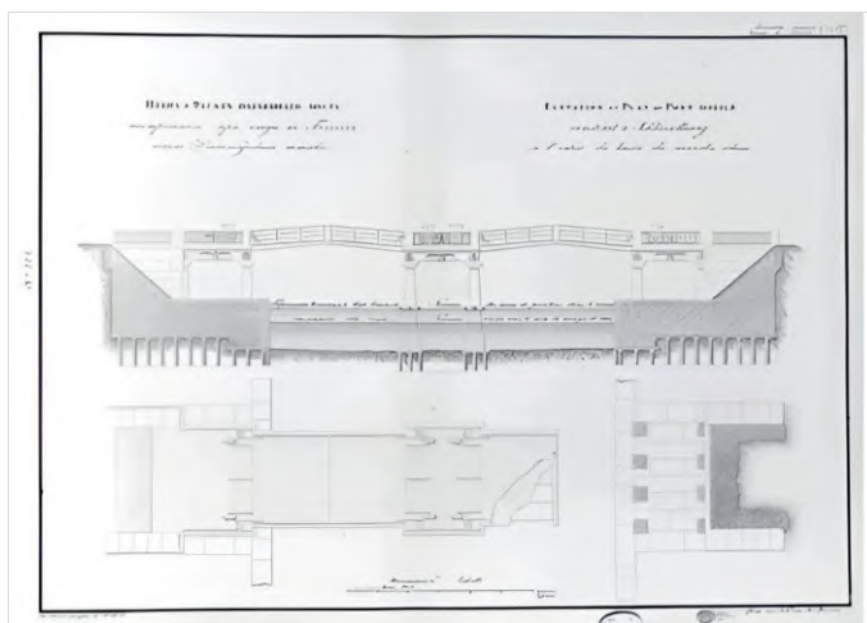


Рис. 9. Ладожский канал. План и фасад подъёмного моста, 1832. Источник изображения — <https://geoportal.rgo.ru/node/8685>

⁵ В 1980-х годах были проведены работы по реставрации моста, однако, в связи с отсутствием судоходства по каналу, подъёмные механизмы восстановлены не были.

В честь открытия Александровского канала были выпущены золотые медали с изображением императора и императрицы. Канал стал активно использоваться, что разгрузило движение судов по другим водным объектам. За три года интенсивного судоходства строительство канала полностью окупилось [13]. Но теперь убытки нес Шлиссельбург, ведь с открытием нового канала потребность в остановке и закупке припасов пропала, тогда как медленное прохождение судами Петровского канала способствовало развитию в городе торговли и туризма.

По левому берегу канала в XIX веке проходил бечевник, по которому упряжки лошадей тянули баржи [14]. В 1904 году вдоль Александровского канала был построен каменный мол в продолжение дамбы, около 122 метров в длину. Вдоль него могло стоять около шестидесяти кораблей в два ряда. Дамба была оснащена всем необходимым для комфортной эксплуатации; здесь находился каменный мост, соединявший две части дамбы, водокачка, обелиск, установленный в честь открытия канала. В XX веке на канале были построены батопорты — плавучие перемычки, которые помогали поддерживать необходимый уровень воды⁶. В настоящее время канал является судоходным для речных и маломерных судов, также одним из любимых мест отдыха жителей Шлиссельбурга, а также важным акцентом среды, привлекающим туристов.

Гидротехническая система является не только важнейшим элементом планировочной структуры Шлиссельбурга, основой его водно-зеленого каркаса; она выступает важным компонентом экологического каркаса Кировского района Ленинградской области. Создание гидротехнической системы обусловило возникновение и развитие сети поселений с их природными, ландшафтными, географическими и историко-культурными связями.

Таким образом, процесс формирования архитектурно-исторической среды Шлиссельбурга непосредственно связан с развитием системы каналов и инженерных сооружений. Каналы Шлиссельбурга являются важнейшим средообразующим элементом, составляющим основу культурной идентичности города, как и неразрывно связанное с ней нематериальное наследие — особенности уклада жителей города, их традиции и ценности. Поэтому в вопросе сохранения и ревитализации данных территорий важны не только историко-культурные, но и социальные аспекты.

В настоящий момент необходимо вернуть способность историко-культурной среды к регенерации, выявить различные типы исторической среды и природно-искусственных ландшафтов Шлиссельбурга, (предполагающих как музеефикацию, так и сохранение через устойчивое развитие), сформулировать основные положения по ревитализации водной системы и прибрежных территорий различных типов, учитывая принципы ландшафтной организации исторических городских пространств.

Библиографический список

1. Экологические подходы решения проблемных территорий / М. А. Козырева, Е. В. Распутина, М. А. Гранстрем, О. В. Кефала // Системные технологии. — 2023. — № 4 (49). — С. 181 – 191. — DOI 10.55287/22275398_2023_4_181. — EDN LFUOCZ.

⁶ Не сохранились.

2. Гранстрем М. А. Уникальная среда Ивангорода: почувствовать и сохранить «дух места» / М. А. Гранстрем // Архитектурный альманах. Том Выпуск 5. — Санкт-Петербург: НП-Принт, 2020. — С. 92 – 105. — EDN THKVBA.
3. Новорусский М. В. Собрание сочинений. Том I. Шлиссельбург. Книга 1 [Текст] / М. В. Новорусский. — Москва, 2020. — 496 с.
4. Миних И. Э. Россия и русский двор в первой половине XVIII века. Записки и замечания гр. Эрнеста Миниха. СПб. 1891 [Электронный ресурс]. URL: <https://runivers.ru/lib/book3149/10057/>
5. Овсяников Ю. В. Шлиссельбург. История города: от Ореховца до Шлиссельбурга. — 2-е издание, исправленное и дополненное. — Санкт-Петербург: Торгово-издательский дом «Митра», 2023 — 316 с.: ил.
6. Лермонтова М. А. Староладожский канал: История строительства и архитектура его зданий и сооружений / Лермонтова М. А. — Санкт-Петербург, 1998. — 444 с.
7. Житков С. М. Исторический обзор устройства и содержания водных путей и портов в России за столетний период 1798 – 1898 / сост. инженер С.М. Житков. — Санкт-Петербург, 1900.
8. РГАВМФ, Ф. 1331, Оп.1, д. 307 «Шлиссельбург, город. План.», 1906 год.
9. Петрашень, Иван Васильевич. Мариинская система, 1810-1910 [Электронный ресурс]. Ч. 1. Исторический очерк Мариинской системы. Ч. 2. Современное ее состояние; Ч. 3. Стоимость содержания системы, ее значение и необходимые работы по улучшению ее судоходных качеств / инженер И. Петрашень. — Санкт-Петербург, 1910 (2016), 216 с.
10. Чистиков А. Н. Мариинская водная система. Выдающиеся гидротехнические сооружения мира. Автор-сост. Чистиков А. Н. СПб.: «Лики России». 2011 г. — 200 с.
11. Золотарева, М. В. Организация музеефицированных зон как элемент политики «экологии культуры» / М. В. Золотарева, М. А. Гранстрем // Наука, образование и экспериментальное проектирование: тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Москва, 03 – 07 апреля 2017 года. Том 1. — Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2017. — С. 48 – 50. — EDN YONGLB.
12. Гранстрем, М. А. Сохранение исторической среды в контексте современной застройки / М. А. Гранстрем, Ю. С. Лишманова // Современные проблемы истории и теории архитектуры: Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 09 ноября 2021 года – 10 2022 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. — С. 20 – 24. — EDN HTLHMW.
13. Фонд 921, Опись 2, д. 221 Об открытии нового Ладожского канала 1 сентября 1866 г.
14. Ефимова М. С., Гранстрем М. А. Особенности формирования исторической гидротехнической системы Шлиссельбурга. Материалы XVIII международной молодежной научно-практической конференции «Научный потенциал молодежи — будущему Беларуси» Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь, 19 апреля 2024 г. Часть II. 2024. С. 41 – 42.

HYDROTECHNICAL SYSTEM OF SHLISSELBURG. HISTORICAL AND CULTURAL ASPECTS

M. A. Granstrem
M. S. Efimova

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Abstract

In this research historical aspects of formation the territory of Shlisselburg, its hydrotechnical system formed in the XVIII – XIX centuries are considered. On the basis of archive documents the stages of the canal system development were determined, the historical data about the objects included in the hydrotechnical system were clarified. Current problems of preservation and harmoniously integration of the canal system into modern urban landscape were identified. In this way, the relevance of the theme is primarily dictated by the necessity of preservation identity of Shlisselburg. The article based on the materials from Russian State Archive of the Navy and the historical documents provided by Shlisselburg History Museum.

The Keywords

Shlisselburg, planning structure, hydrotechnical system, canals, locks, bridges, cultural heritage objects.

Date of receipt in edition

25.11.2024

Date of acceptance for printing

12.12.2024

Ссылка для цитирования:

М. А. Гранстрем, М. С. Ефимова. Гидротехническая система Шлиссельбурга. Историко-культурные аспекты. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 150–158.



УДК 69.059.73:711

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_159-164

НОВАЯ ЖИЗНЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ: РЕВИТАЛИЗАЦИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЗОН КАК СПОСОБ ГОРОДСКОГО РАЗВИТИЯ

К. А. Жукова
Я. А. Коржемпо

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

В данной статье рассматривается потенциал бывших промышленных территорий для внедрения деструктивных зон в современное городское окружение. Подробно рассматриваются существующие угрозы для индустриальных зон в прошлом. Приведенные успешные примеры по ревитализации позволят выявить потенциал развития «серых зон».

Создавая проекты по перепланировке функциональных зон на территории промышленных предприятий, должны учитываться многие факторы, а именно, экологические, экономические, историко-библиографические, социальные, сохраняя особенности каждого объекта и территории.

Целью статьи является демонстрация возможности «оживления» заброшенных промышленных зон для адаптации новых функциональных наполнений. Новые общественные пространства на месте индустриальных зон могут способствовать городскому развитию.

Ключевые слова

Ревитализация, городское развитие, промышленная территория, реновация, благоустройство.

Дата поступления в редакцию

25.11.2024

Дата принятия к печати

12.12.2024

Введение

Ревитализация промышленных территорий играет важную роль в современных градостроительных инициативах. Зоны, которые когда-то были опорой промышленного роста, в эпоху постиндустриального общества часто утрачивают свои изначальные функции и превращаются в диссонирующие участки на карте города. Однако заброшенные заводы, склады и фабрики не только нарушают целостность городской структуры, но и обладают значительным потенциалом для восстановления и развития в социальном, экономическом и культурном аспектах.

Современные города сталкиваются с актуальной проблемой: сохранить историческое индустриальное наследие, одновременно интегрируя его в новое функциональное использование. Трансформация бывших промышленных зон в жилые кварталы, культурные пространства и зеленые зоны помогает создать комфортную среду обитания, стимулировать экономический рост и повысить качество жизни населения.

Данная статья посвящена изучению подходов к ревитализации промышленных зон, их роли в устойчивом развитии городов и успешным примерам из мирового и отечественного опыта.

Потенциал для интеграции в современную городскую среду

Заброшенные промышленные территории во многих городах становятся серьезным вызовом для градостроителей и местных властей. Эти зоны, утрачивающие со временем свою функциональность, образуют не только визуальные и инфраструктурные разрывы, но и создают масштабный комплекс экологических, экономических и социальных проблем.

Важный аспект, что заброшенные промышленные территории могут включать в себя множество экологических проблем:

- **Загрязнение почвы и воды:** результаты деятельности заводов и фабрик в прошлом нередко оставляют токсичные отходы, которые загрязняют почву и подземные воды на месте бывших промышленных комплексов. Возможная повышенная концентрация тяжелых металлов и других опасных веществ серьезно влияет на территорию.
- **Воздействие на атмосферу:** после прекращения работоспособности предприятия, историческое загрязнение атмосферы может продолжать оказывать неблагоприятное влияние на окружающие районы.
- **Потеря биоразнообразия:** на заброшенных территориях весьма редко присутствуют зеленые насаждения, что вероятно ограничивает возможность для восстановления природного баланса.

Экономические проблемы:

- **Пустующие пространства:** такие территории занимают масштабные площади, которые могли бы быть использованы для жилья, коммерческих целей или общественных зон в перспективе.
- **Снижение стоимости недвижимости:** наличие деструктивных объектов отрицательно влияет на стоимость земель и зданий в окружающих районах.
- **Упущенные возможности для городской экономики:** заброшенные промышленные зоны не приносят доходов в виде налогов или аренды, а их поддержание приходится дополнительной нагрузкой на городской бюджет.

Негативное влияние таких территорий выходит за пределы экономики и экологии, затрагивая социальную проблематику:

- **Ухудшение качества городской среды:** визуальная малопривлекательность и запустение промышленных объектов формируют у местных жителей чувство дискомфорта, а также способствуют ухудшению общего облика города.
- **Фрагментация городской ткани:** промышленные зоны, утратившие свое внутреннее функциональное наполнение, нарушают транспортную и социальную связь, таким образом, создавая «мертвые зоны» в городской среде.
- **Негативное воздействие на здоровье населения:** жители близлежащих территорий подвержены риску ухудшения здоровья из-за загрязнений или психологического давления, связанного с проживанием вблизи с заброшенными промышленными зонами.

Интеграция в современную городскую среду создает возможности для улучшения качества жизни горожан и создания более устойчивых и эффективных городских экосистем. Современные технологии и инновационные, концептуальные решения могут значительно трансформировать инфраструктуру города, делая её экологичной, безопасной, доступной и экономически эффективной. Однако успешная интеграция требует комплексного подхода, который учитывает не только технологическую совместимость, но и социальную адаптацию, безопасность, экономические факторы и экологические последствия.

Самыми важными аспектами интеграции являются обеспечение гармоничного взаимодействия новых решений с существующими системами, возможность масштабирования и аналогов под меняющиеся потребности города, учитывая культурные, групповые, возрастные, прочие особенности жителей и стандарты их взаимодействия с новыми технологиями, обеспечение умной, безопасной, устойчивой среды для жизни и труда горожан путем внедрения инновационных решений.

Успешные примеры ревитализации

Проект ревитализации High Line — это одна из самых известных и успешных инициатив в области восстановления городской инфраструктуры в Нью-Йорке. High Line — это бывшая железнодорожная линия, которая, пройдя через западную часть Манхэттена, была заброшена в 1980-х годах, когда перевозки на ней прекратились. Однако в начале 2000-х годов был разработан проект, направленный на преобразование этого индустриального пространства в уникальный общественный парк, который со временем стал символом устойчивого урбанизма и креативного подхода к использованию городской инфраструктуры.[1]

Одной из отличительных черт High Line является уникальный подход к ландшафтному дизайну, который соединяет природные элементы с индустриальными. Использование местных растений, трав, кустарников и деревьев на фоне сохранных железнодорожных рельсов создает эффект «диких садов», которые плавно переходят в городской пейзаж. Важной частью проекта также являются зоны для культурных мероприятий, арт-объекты, рестораны и кафе, а также площадки для проведения общественных событий.

Парк предлагает посетителям не только физический отдых, но и возможность взаимодействовать с искусством и архитектурой, что превращает его в важную культурную достопримечательность города. Системы освещения и перголы, а также необычные архитектурные решения делают пространство интерактивным и доступным для разных групп населения.[4]

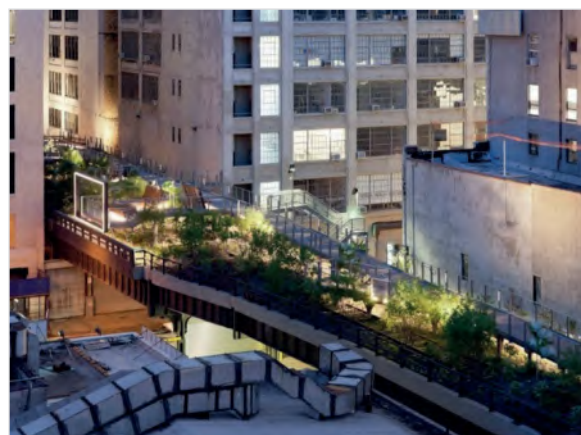


Рис. 1. Проект парка High Line в Нью-Йорке

Проекте ревитализации бывшей промышленной территории на месте бывшего завода «Скороход» в Санкт-Петербурге. Он предполагает создание многофункционального земельного комплекса государственного значения, в который будут входить разнообразные общественные пространства: офисы, апартаменты, магазины, рестораны, а также зоны досуга и отдыха. Площадь ревитализации экс-диссонансной зоны составит около 51 тыс. кв. м. Разработчик — ОАО «ОХТА ГРУПП», окончание реализации — 2027 год.[2]

Проект включает создание пешеходной зоны с крытой улицей, которая объединяет квартал с метро и будет заполнена магазинами и ресторанами. Также предусмотрены такие объекты, как площадь с исторической водонапорной башней, арт-объекты, а также спортивные и детские площадки. Кроме того, в квартале будут зоны отдыха, где жители и посетители смогут наслаждаться культурными событиями, такими как ярмарки и концерты. [3]



Рис. 2. Проект ревитализации «Скороход» в г. Санкт-Петербург



Рис. 3. Аксонометрия по проекту ревитализации «Скороход» в г. Санкт-Петербург

Вывод

Ревитализация промышленных зон представляет собой ключевой инструмент городского развития, позволяющий сохранять культурное наследие и наиболее эффективно использовать забытые и заброшенные территории. Это понятие включает в себя развитие новых возможностей не только в сфере обновления инфраструктуры, но и создания новых социальных и экономических аспектов, что делает города привлекательными для будущих сложившихся горожан. Преимущества таких тенденций опираются на применение инновационных подходов архитектуры, экологии и общественного взаимодействия для превращения старых зон в современные бизнес-центры и места жительства.

Таким образом, среди прочих преимуществ ревитализации важно выделить возможность создания новых рабочих мест, развитие культурных и образовательных центров, улучшение городского пространства. Следует отметить, что для успешной реконструкции промышленных территорий недостаточно вложения финансов и выполнение формальных нормативных требований, поскольку для такого процесса требуются учета интересов государства, инвестора и местного населения. Эти и подобные проекты служат важным шагом на пути к экономическому возрождению региона современного города и улучшению социальной инфраструктуры.

Библиографический список

1. High Line Park, архитектурная критика // ci.ru URL: <https://cih.ru/wp/bld/2024/07/22/high-line-park-архитектурная-критика/> (дата обращения: 19.11.2024).
2. ПЕШЕХОДНЫЙ КВАРТАЛ «СКОРОХОД» Новая жизнь в исторических стенах // СКОРОХОД лофт-квартал URL: <https://skorohodloft.ru> (дата обращения: 19.11.2024).
3. Лофт-квартал «Скорород» // Охта Групп URL: <http://okhtagroup.ru/projects/territoriya-fibriki-skorohod/> (дата обращения: 19.11.2024).
4. Киреева Т. В. Ревитализация объектов железнодорожной инфраструктуры в линейные и висячие сады и парки. Часть II. Опыт Нью-Йорка // Приволжский научный журнал. — 2023. — №3. — С. 136–144.

A NEW LIFE FOR INDUSTRIAL AREAS: REVITALIZATION OF INDUSTRIAL ZONES AS A MEANS OF URBAN DEVELOPMENT

K. A. Zhukova
I. A. Korzhembo

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Abstract

This article explores the potential of former industrial areas for integrating abandoned zones into modern urban environments. It examines the existing threats that industrial zones faced in the past. Successful examples of revitalization are presented to highlight the development potential of these “gray zones”.

When creating redevelopment projects for functional zones on industrial sites, various factors must be considered, including environmental, economic, historical-bibliographic, and social considerations, while preserving the unique characteristics of each object and area.

The Keywords

Revitalization, urban development, industrial area, renovation, improvement.

Date of receipt in edition

25.11.2024

Date of acceptance for printing

12.12.2024

The purpose of the article is to demonstrate the possibility of “reviving” abandoned industrial zones by adapting them for new functional uses. New public spaces on the sites of former industrial zones can significantly contribute to urban development.

Ссылка для цитирования:

К. А. Жукова, Я. А. Коржемно. Новая жизнь промышленных территорий: ревитализация индустриальных зон как способ городского развития. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 159–164.





УДК 728.1

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_165-172

АРХИТЕКТУРНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДУЛЬНОГО МНОГОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

И. В. Ларионов *

Н. С. Калинина * / **

* Российский Университет Дружбы Народов, г. Москва

** Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва

Аннотация

Изучены исторические предпосылки зарождения и развития технологий применения модульного строительства. Проблематика и характер актуальных архитектурных решений с использованием модулей рассмотрены на примере объектов СССР, России и мира. Выделены архитектурные тенденции и перспективы модульного строительства.

Ключевые слова

Быстровозводимые объекты архитектуры, крупноразмерный железобетонный модуль в строительстве, архитектура модульного строительства, блок-модули в жилищном строительстве.

Дата поступления в редакцию

19.12.2024

Дата принятия к печати

22.12.2024

Введение

Темпы жилищного строительства в России растут с каждым годом, начиная с 50-х годов прошлого столетия. Технический прогресс строительной отрасли позволил реализовывать укрупненные монтажные мероприятия, создавать блочные железобетонные конструкции, что позволило реализовывать объекты в более короткие сроки, учитывая необходимость решения проблемы дефицита жилых площадей в послевоенные годы.

В процессе развития архитектуры и строительства появляются определения «модуль¹» и «ячейка²». Понятие модуля напрямую связано с термином ячейки, так как выбор материала, габаритов, способа построения зависит от функциональных особенностей реализуемого объекта.

¹ Модуль — крупногабаритная замкнутая пространственная конструкция, создаваемая в заводских условиях и применяемая при строительстве общественных, жилых, социальных и иных объектов.

² Ячейка — это то, что формирует архитектурную (строительную) систему объекта (к примеру жилой ячейкой в жилищном строительстве является основной структурный элемент — квартира).

Модульное строительство в СССР

В период 1950 – 1950 годов повсеместно начинают применяться железобетонные конструкции, необходимые для своевременного монтажа зданий и сооружений различного назначения. Наибольшее распространение в СССР получили такие модульные конструкции, как модуль-сан.узел, модуль-кухня и т. п. Ключевым фактором при монтаже подобных модульных конструкций оставалась грузоподъемность кранового оборудования и техники, не позволяющая монтировать модули на высоту, превышающую 12 этажей.

Застройка железобетонными зданиями в СССР велась из блоков размером с комнату, габаритами не превышающую 3×4 м. Один из производителей такой продукции, сохранившийся до наших дней — завод «ОБД» (Объёмно-блочное домостроение), предназначенный для строительства жилых домов серии БКР-2 в Краснодаре (рис. 1) [1].

Анализ проекта серии БКР-2 позволяет выделить ключевые аспекты в части габаритов и основных архитектурных приемов. Ячейка представляет собой примитивный параллелепипед с габаритами 3×4 метра в плане и высотой 2,6 метра (рис. 1, б). Подобный габарит ячейки является минимально возможным и не позволяет формировать широкий спектр архитектурно-планировочных решений. Основным аспектом, который необходимо отметить является принцип формирования объема здания за счет расстановки ячеек в шахматном порядке. Данный прием позволяет избежать монотонности фасадных решений (рис. 1, а).



Рис. 1. Жилой дом серии БКР-2 в Краснодаре, ул. Трудовой Славы 10. 1979 г. п.: а) монтаж ячеек (слева)³, вид здания в 2023 году (справа)⁴; б) типовая модульная ячейка для серии БКР-2: аксонометрия (габариты указаны в миллиметрах)

Ярчайшим примером советского модульного строительства является расположенный в г. Сочи пансионат «Ставрополье» (рис. 2). Четырехэтажные ярусы из объемных блоков опираются на выпущенные из несущего центрального монолитного ствола консоли. Каждый блок — спальный номер. Пластическое решение углов четырех жилых ярусов разворотом объемных блоков в шахматном порядке выявляет объемный блок как композиционную и конструктивно-планировочную основу, подчеркивает ячеистость здания. В. Шарапов отмечает переход от масштаба человека к масштабу блока, далее к масштабу жилых ярусов и общественных этажей между ними, и наконец — ко всему зданию, масштаб которого определяет

³ URL: <https://wikimapia.org/16737003/ru/ул-Трудовой-Славы-10>.

⁴ URL: https://yandex.ru/maps/35/krasnodar/house/ulitsa_trudovoy_slavy_10/Z0AYdgBhSEYBQFpvfXxxdH9mYA==/?l=stv%2Csta&ll=39.071106%2C45.005360&panorama%5Bdirection%5D=222.294194%2C19.105358&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bpoint%5D=39.071799%2C45.005613&panorama%5Bspan%5D=72.884051%2C60.000000&z=18.58.

вертикальный несущий коммуникационный ствол [2]. Основной отличительной чертой данного проекта является совместное применение монолитного ядра жесткости и модульных ячеек.

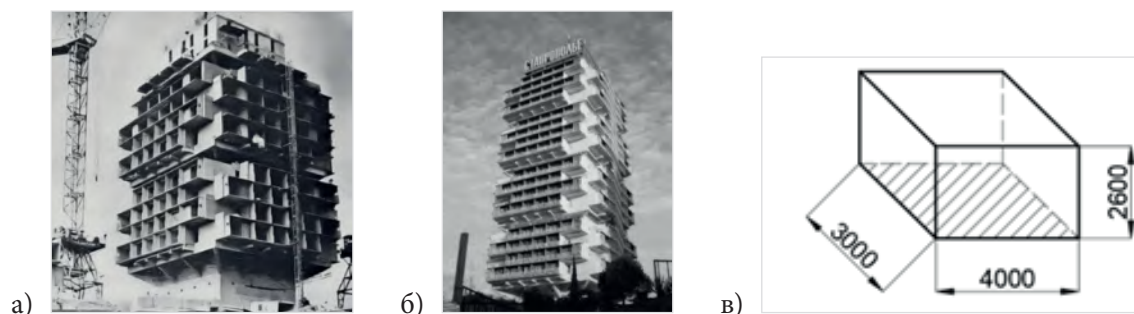


Рис. 2. Пансионат «Ставрополье», г. Сочи: а) монтаж модулей⁵; б) вид здания в 2019 году⁶; в) типовая модульная ячейка пансионата «Ставрополье» (габариты и аксонометрия указаны в миллиметрах)

Мировой опыт модульного строительства

Описывая примеры модульного строительства в мире, невозможно не отметить, реализованный в 1967 году в Канаде, городе Монреаль, жилой комплекс «Habitat 67» авторства всемирно известного архитектора Моше Сафди. Архитектурный объем жилого назначения и по сей день поражает своим футуризмом и в очередной раз доказывает, насколько разнообразным и хаотичным может быть расположение жилых ячеек в проекте модульного строительства (рис. 3, а, б). Стоит отметить, что жилой комплекс сформирован из типовых железобетонных модулей, имеющих ширину 5,2 метра, длину 11,5 метра и высоту 2,8 метра (рис. 3, в).

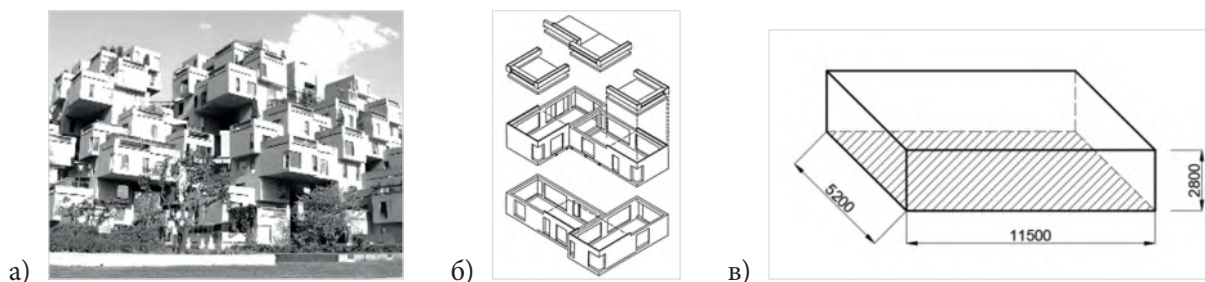


Рис. 3. «Habitat 67», г. Монреаль: а) фотофиксация объекта⁷; б) разрыв-схема сочленения модулей⁸; в) аксонометрия типовой ячейки (габариты указаны в миллиметрах)

В современной архитектуре Азии существует пример модульного объекта с гораздо меньшими габаритами применяемых блоков. «Nakagin Capsule Tower» в Токио реализована архитектором Кисе Курокавой в 1972 году. Типовые блоки-модули имеют ширину 2,3 метра при длине 3,8 метра и высоте 2,1 метра. Особенностью конструктивной схемы данного объекта является наличие ядра жесткости в виде железобетонных центральных башен, к которым посредством болтовых соединений смонтированы блоки-модули.

⁵ URL: https://tatlin.ru/articles/obyomno-blochnoe_domostroenie.

⁶ URL: <https://dzen.ru/a/XVfo4RGNfwCtzBs1>.

⁷ URL: https://www.thejournal.ie/property-news-this-week-tour-the-viewing-1821625-Dec2014/?utm_source=shortlink.

⁸ URL: <https://dzen.ru/a/XVfo4RGNfwCtzBs1>.

В научной работе «Современное модульное строительство и его перспективы в развитии отрасли» Д. А. Конон приводит опыт строительства модульных конструкций в Китае в период пандемии 2020 года, когда Китайская Народная Республика смонтировала и сдала в эксплуатацию больницу за 10 суток. [3]. Однако, данный проект не отличается капитальностью, требуемой при возведении современных жилых объектов, а также ограничен в части этажности и архитектурных решений, представляя собой простейший объем.

Стоит отметить подобное направление модульного строительства, наиболее распространенного в мягких климатических условиях, позволяющих применять легкие конструкции, не требующие дополнительного фасадного утепления. Речь идет о Европейском опыте модульного строительства, обусловленным применением каркасов по типу контейнеров и строительных бытовок. Недостатком данного направления является низкая капитальность подобных каркасных зданий, составляющая 25 лет. Помимо прочего, существует ограничение по этажности, из-за неустойчивости конструкции перед динамическими нагрузками (ветровыми и сейсмическими). Исходя из вышесказанного, подобные решения не нашли широкого применения в сфере жилищного строительства и наиболее часто встречаются исключительно в сфере временных зданий и сооружений, вахтовых поселков, офисных помещений, штабов на строительных площадках и т. п.

Пилотный проект модульного домостроения в Москве

Необходимо отметить и современный отечественный опыт модульного строительства. В Москве существует Комбинат инновационных технологий «МонАрх» — это компания новатор в сфере жилого домостроения. На данном предприятии осуществляется заводское изготовление сверх крупноразмерных железобетонных модульных конструкций. В настоящий момент в столице уже введены в эксплуатацию несколько модульных объектов социального назначения, а также реализуется пилотный модульный жилой комплекс, находящийся по адресу 9-я Северная линия, владение 3, представляющий собой в плане П-образный прямоугольный объем, сформированный девятью секциями переменной этажности (*рис. 4, а*). Отдельное внимание необходимо уделить технологиям монтажа модульных конструкций, требующему применения уникального грузоподъемного кранового оборудования.

Проводя анализ архитектурно-градостроительных решений жилого комплекса по адресу 9-я Северная линия, владение 3, стоит отметить, что применяемые железобетонные модули, площадью до 100 кв.м, готовностью 90% (с инженерными системами и отделкой), доставляются на строительную площадку на тралах. Доступны разнообразные варианты модулей, не превышающие максимальный размер 15,5×7,5×3,5 м, различного функционального назначения, конфигурации и площади (*рис. 4, б*).

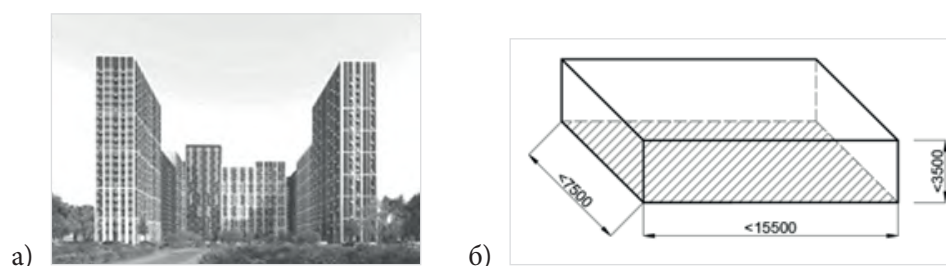


Рис. 4. Жилой дом, 9-я Северная линия, г. Москва: а) визуализация⁹; б) аксонометрия типовой ячейки (габариты указаны в миллиметрах)

⁹ URL: https://vk.com/wall-219617152_210.

Для реализации данного проекта требуется порядка 1500 модулей различного габарита. Темп монтажа составляет 10 модулей в день, заводское исполнение позволяет достичь наилучшего качества ячейки. Проблемными с точки зрения теплового контура (риск образования мостиков холода) и узлов сочленения являются стыки монтируемых модулей.

При этом, фундаменты, подземная часть и первый этаж — в монолитном исполнении. На железобетонный стилобат монтируются модуль-блоки, формирующие квартиры, этажи и секции. Благодаря различным решениям в части фасадных решений удастся сместить акцент с монотонности поэтажного членения, обусловленной типовыми решениями этажей секций.

Изучение тенденций и перспектив модульного строительства на примере актуальных научных работ и рассмотренных проектов. Следующие перспективы в своей научной работе выделяют Л. А. Пахомова и А. С. Мещеряков: строительство современных новых предприятий по выпуску модулей, реконструкция и модернизация старых предприятий, совершенствование новейших технологий в области строительного производства, дооснащение или полное переоснащение действующих предприятий [4].

Отдельного внимания заслуживает технологии Cobiax, подробно рассмотренная в работе Г. Э. Окольниковой, Е. В. Слиньковой, А. П. Белова: отмечается переход от полнотелых конструкций к пустотелым, исследуется возможность применения технологии Cobiax с фибробетонами [5].

Принципы планировочных решений объектов с применением модульной технологии рассматривает в научной работе С. Н. Огородников и среди особенностей выделяет следующие: стыковочные отсеки для присоединения дополнительных модулей; гибкость и вариативность пространственных решений; многофункциональность пространства [6].

Важными аспектами и перспективами модульной архитектуры, по мнению А. Ж. Сундетовой, являются ее разнородность, дающая возможность сочетаться с другими конструктивными типами зданий [7].

Помимо прочего, указывается и вероятность модульного строительства на воде. В научной работе С. А. Ребрикова отмечается ряд преимуществ, включая простоту транспортировки, легкость сборки и разборки, а также адаптивность к различным материалам и требованиям проекта, а также рост спроса на водное строительство (разработку новых конструкций в прибрежных зонах или непосредственно на воде) [8].

Концепция применения легких металлических модульных конструкций имеет ряд ограничений и позволяет строить здания ограниченной этажности, отмечается в труде С. В. Шевцова и Н. С. Астафьевой [9].

Необходимо учесть и возможность применения модульной технологии при возведении социального жилья. Конвейерное производство позволяет значительно снизить стоимость модульного строительства (блоков), отмечается в научной работе И. К. Норояна и Л. В. Ежкиной [10].

В статье Р. С. Глуценко отмечается, что модульное строительство имеет потенциал стать одним из основных методов строительства в России [11].

Анализируя проекты «Habitat 67» и «Nakagin Capsule Tower», отмечается тенденция совмещения рассмотренных подходов к проектированию современных объектов. В рамках данной тенденции возможно одновременное применение железобетонных и металлических модулей, совмещение железобетонного ядра жесткости, представляющую собой центральную башню и хаотичного объема крупноразмерных железобетонных модулей.

Резюмируя, обобщим архитектурные тенденции и перспективы модульного строительства (табл. 1).

Таблица 1

Систематизация опыта модульного строительства

Материал и форма здания	Способ построения целостной конструкции (положение модулей относительно друг друга)	Габариты модуля (ширина, длина, высота), м	Краткое наименование проекта (объекта/серии дома)
Монолитный железобетон, параллелепипед	Ортогональный объем с шахматными выступами фасада	3×4×2,6	Серия дома БКР-2
	Монолитное ядро, ячейки вокруг железобетонной центральной башни	3×4×2,6	Пансионат «Ставрополье»
		2,3×3,8×2,1	«Nakagin Capsule Tower»
	Хаотичный, модули, расположенные под 90 градусов относительно друг друга	5,2×11,5×2,8	«Habitat 67»
	Ортогональный объем переменной этажности, монолитный стилобат	7,5×15,5×3,5	Жилой дом 9-я Северная линия
Металлический каркас, параллелепипед	Ортогональный объем	2,4×6×2,8	Больница, г. Ухань

Выводы

Согласно **табл. 1**, приведены тенденции и перспективы, характерные каждой рассмотренной группе. При ячейке (модуле) в форме параллелепипеда и применяемом в качестве основного материала монолитном железобетоне, существуют тенденции к дальнейшему развитию модульного домостроения как в России, так и в мире. Модуль в форме параллелепипеда наиболее универсален и позволяет сочетать высокие темпы монтажа, выразительность и разнообразие способов построения целостных конструкций. При наличии утеплителя позволяет использоваться в различных климатических условиях, обладает высокой капитальностью и широкой функциональностью (могут реализовываться как административные, социальные, так и жилые, промышленные объекты).

В случае выбора металлического каркаса возможно применение в области некапитального строительства, существуют климатические ограничения.

Подводя итог, необходимо отметить ключевые тенденции модульного многоэтажного строительства: наиболее распространены и универсальны на данный момент монолитные железобетонные модули ортогонального объема в форме параллелепипеда; габариты (ширина, длина, высота) монолитных железобетонных модулей в метрах может варьироваться от 3×4×2,6 до 7,5×15×3,5 в зависимости от объекта строительства.

Исходя из существующих тенденций возможно спрогнозировать ключевые перспективы модульного многоэтажного строительства: развитие модульного домостроения обеспечит рост количества объектов с применением данной технологии; наиболее универсальны модульные системы, сформированные с применением центральной монолитной башни в качестве ядра жесткости, с архитектурной точки зрения перспективной является хаотичная компоновка блоков-модулей в системе объекта; в дополнительной проработке нуждаются иные формы ячеек-модулей (соты, цилиндры и т. п.) из-за сложности заводского изготовления и монтажа, а также меньшей вариативности планировочных решений.

Библиографический список

1. Мельникова, О. В. Применение модульных конструкций в архитектуре Советской и современной России / О. В. Мельникова, А. С. Соколова // Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2023. — Т. 3, № 1(9). — С. 63–69. — DOI 10.51639/2713-0576_2023_3_1_63. — EDN IJHEZZ.
2. В. Шаранов Объемно-блочное домостроение. 2023. URL: https://tatlin.ru/articles/obyomno-blochnoe_domostroenie (дата обращения: 05.10.2024).
3. Конон, Д. А. Современное модульное строительство и его перспективы в развитии отрасли / Д. А. Конон // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства: Сборник научных статей, Гродно, 21–22 апреля 2023 года. — Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2023. — С. 67–70. — EDN CABJCU.
4. Пахомова, Л. А. Аспекты организации проектирования для крупномодульного домостроения / Л. А. Пахомова, А. С. Мецераков // Системные технологии. — 2022. — № 1 (42). — С. 15–21. — DOI 10.55287/22275398_2022_1_15. — EDN CFYJOL.
5. Окольников, Г. Э. Преимущества технологии Cobiax / Г. Э. Окольников, Е. В. Слинкова, А. П. Белов // Системные технологии. — 2018. — № 1 (26). — С. 214–218. — EDN XOWBKH.
6. Огородников, С. Н. Принципы планировочных решений модульных жилых объектов / С. Н. Огородников // Системные технологии. — 2022. — № 1 (42). — С. 232–239. — DOI 10.55287/22275398_2022_1_232. — EDN TPVAOQ.
7. Сундетова, А. Ж. Блочно-модульное строительство как альтернатива капитальному строительству. Конструктивные решения блочно-модульного строительства / А. Ж. Сундетова // E-Scio. — 2022. — № 11 (74). — С. 414–424. — EDN DHTVRG.
8. Ребриков, С. А. Модульные строительные блоки для строительства на воде / С. А. Ребриков // Академическая публицистика. — 2023. — № 1-1. — С. 36–38. — EDN UKUXHD.
9. Шевцов, С. В. Концепция модульного строительства на примере использования легких металлических конструкций / С. В. Шевцов, Н. С. Астафьева // Инженерные исследования. — 2022. — № 3 (8). — С. 30–37. — EDN BGGOMA.
10. Нориян, И. К. Применение модульного строительства в возведении социального жилья / И. К. Нориян, Л. В. Ежкина // Университетская наука. — 2023. — № 1 (15). — С. 101–103. — EDN BOVOCQ.
11. Глущенко, Р. С. Перспективы развития модульного строительства в России / Р. С. Глущенко, Е. В. Зайцев // Современные перспективы развития гибких производственных систем в промышленном гражданском строительстве и агропромышленном комплексе: Сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 23 мая 2024 года. — Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. — С. 178–180. — EDN UBSDTR.

ARCHITECTURAL TRENDS AND PROSPECTS OF MODULAR MULTI-STOREY CONSTRUCTION

I. V. Larionov*
N. S. Kalinina* / **

* Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

** Moscow Architectural Institute, State Academy, Moscow

Abstract

The historical prerequisites for the origin and development of modular construction technologies have been studied. The problems and nature of current architectural solutions using modules are considered using the example of objects in the USSR, Russia and the world. Architectural trends and prospects for modular construction are highlighted.

The Keywords

Prefabricated architectural objects, large-size reinforced concrete module in construction, architecture of modular construction, block modules in housing construction.

Date of receipt in edition

19.12.2024

Date of acceptance for printing

22.12.2024

Ссылка для цитирования:

И. В. Ларионов, Н. С. Калинина. Архитектурные тенденции и перспективы модульного многоэтажного строительства. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 165–172.



УДК 72.035...4

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_173-187

АРХИТЕКТУРА БРИТАНСКОГО НЕОКЛАССИЦИЗМА ЭДВАРДИАНСКОЙ ЭПОХИ И ЕЕ МАНЬЕРИСТИЧЕСКИЕ ПРООБРАЗЫ

С. А. Котиев

Московский архитектурный институт (государственная академия) (МАРХИ), г. Москва

Аннотация

В статье анализируется архитектура Великобритании эдвардианской эпохи (1890–1910-е гг.). Рассматривается формирование неоклассического направления, получившего активное развитие в этот период, и влияние на этот процесс наследия архитектуры итальянского маньеризма XVI в. Рассматривается творчество таких архитекторов, как Дж. Белчера, А.Б. Пайта, Дж. Дж. Джоасс, Т. Брамвелла, Ч. Холдена, Э. Лаченса и др.

Ключевые слова

Архитектура Великобритании, эдвардианский неоклассицизм, Эдвин Лаченс, архитектура Ренессанса, британский имперский стиль, итальянский маньеризм, неоманьеризм в архитектуре.

Дата поступления в редакцию

19.12.2024

Дата принятия к печати

22.12.2024

Рубеж XIX–XX вв. вошел в историю архитектуры как период поиска средств новой художественной выразительности. Помимо открытий ар-нуво, этот процесс также протекал в рамках обращения к языку классических архитектурных форм. По этой причине архитекторы часто обращались к тому времени забытым принципам архитектуры позднего Возрождения, создавая на их основе новые революционные решения. В данном контексте в этой статье рассматривается архитектура Великобритании.

В английской историко-архитектурной науке данный период (примерно 1880–1910-е) часто определяют как эдвардианский, рассматривая его несколько шире дат официального правления Эдуарда VII (1901–1910). Основанием для этого является очевидное стилистическое, если не единство, то преемственность 1880–1910-х, где поздневикторианский неоклассицизм выступает периодом сложения стиля архитектуры короля Эдуарда VII, а 1910-е, вплоть до Первой мировой войны, становятся логическим продолжением сложившихся в предыдущее двадцатилетие стилистических предпочтений.

В 1910-е, накануне Первой мировой войны, именно неоклассицизм в разных вариациях стал одним из доминирующих направлений в архитектуре художественных центров Старого и Нового Света. В отечественной историографии подробно отражена проблематика русского неоклассицизма 1910-х. Развитию же ордерной традиции эдвардианской Великобритании на русском языке посвящено не так

много исследований. Среди них — справочная статья «Эдвардианский классицизм» в 10 томе «Нового энциклопедического словаря изобразительного искусства» [1, с. 619–620].

Также общее представление о неоклассике в архитектуре Великобритании рубежа веков можно получить в книге «Архитектура эпохи модерна» [2, с. 219, 221], где авторы рассматривают неоклассицизм в качестве реакции на академический стиль в рамках «Эстетского движения». Но и в данной книге английскому неоклассицизму посвящено буквально несколько абзацев.

Британской архитектуре предшествующей викторианской эпохи, включая ее поздний период, важной для данного исследования, посвящен раздел книги Д. О. Швидковского «История архитектуры стран Европы XIX столетия», в котором подробно анализируется процесс реакции на эклектизм. Важной частью этого процесса и был неоклассицизм, что дает более комплексное представление о формировании архитектурного образа следующей эпохи короля Эдуарда VII [4].

По очевидным причинам данная тема гораздо богаче раскрыта в трудах английских исследователей, начиная от монографий, посвященных творчеству конкретных авторов (только Э. Лаченсу, его деятельности посвящен целый ряд изданий), заканчивая книгами, анализирующими конкретную сферу архитектуры, например, «Подъем нуворишей: стиль и статус в викторианской и эдвардианской архитектуре» (*The rise of the nouveaux riches: Style and status in Victorian and Edwardian architecture*), где максимально подробно описываются городские и загородные резиденции британской элиты, весомая часть которой предпочитала именно классический стиль в архитектуре [6].

Важнейшими же комплексными исследованиями всей эдвардианской архитектуры (не только неоклассической) являются две книги: «Эдвардианская архитектура: справочник по проектированию зданий в Британии, 1890–1914» (*Edwardian Architecture: a handbook to building design in Britain, 1890–1914*)» историка архитектуры А. Сервиса, 1977 г. [12] и вышедший позже, в 1985 г., «Библиографический словарь эдвардианской архитектуры» (*Edwardian architecture: A biographical dictionary*) А. Грея [7].

Именно А. Сервис в первой книге предлагает рассматривать архитектуру эдвардианского классицизма, начиная с середины 1880-х, и подробно разбирает неоклассическое направление на подстилки.

А. Грей же рассматривает эдвардианский период, во-первых, в более строгих хронологических рамках, начиная с 1901 г. и практически не касаясь 1890-х, а, во-вторых, анализирует различные типологии зданий, рассматривая отдельно гостиницы, государственные учреждения, многоквартирные дома, отдельно разбирая характерную для них стилистику. Например, он указывает, что отели стало модно строить во французском стиле Эколь-де-Бозар после открытия в 1906 г. в Лондоне отеля «Ритц» (арх. III. Меве, А. Д. Девис), стилизованного под замок Луары.

Великобритания и ее художественная культура в целом воспринимается с позиций XXI в. как нечто консервативное и классическое. Но именно архитектура эдвардианского периода (в границах, обозначенных выше) опровергает эти представления, поскольку она изобиловала новаторскими ордерными композициями. На появление этих новаций, наряду с наследием Древней Греции и Рима, палладианства и ампира, большое влияние оказала архитектура итальянского маньеризма, степень влияния изобретений которого на эдвардианский классицизм в области использования ордера и архитектурных форм посвящена эта работа.

Каковы же причины роста популярности классики на излете викторианства? Английский историк Джо Крук в своей книге отметил несколько причин обращения правящего класса к ордеру. По его мнению, во-первых, классицизм имеет городскую коннотацию. А «новые деньги» — это деньги, заработанные в городе. Во-вторых, классицизм является общеевропейским светским языком: значительная часть новых заказчиков была из банковской сферы и имела еврейское происхождение, поэтому, например,

яковитский стиль не подходил по духу как слишком английский, а готика — как слишком христианская. В-третьих, классицизм во всех его хамелеоновых формах (включая неоренессанс) в общем был стилем, ассоциирующимся с правящим классом [6, с. 42–45].

Интерес к ренессансу и маньеризму как специфическому периоду в его рамках характерен в целом для английской архитектурной мысли рубежа веков. Исследователи архитектуры того периода называли британские XVII–XVIII вв. «английским ренессансом», а термин «барокко» использовался, скорее, как уничижительный. Практически друг за другом выходят три больших труда: «Архитектура Ренессанса в Англии» (1894 г.) Дж. А. Готча, «История архитектуры Ренессанса в Англии, 1500–1800» (1897 г.) Р. Бломфилда и «Поздняя архитектура Ренессанса в Англии» (1898–1901 гг.) Дж. Белчера.

Архитектура английских XVII–XVIII вв. в глазах эдвардианцев была лишь частью позднего возрождения, по-настоящему начавшегося лишь в XVII в. с творчества Иниго Джонса, которое «неотделимо от британского Ренессанса, но оно не является частью Возрождения в итальянской форме...» [3, с. 73]. Так, Ренессанс в британской архитектурной мысли того времени понимается специфическим образом, включая в него и творчество Иниго Джонса, интегрировавшего античный ордер в существовавшую строительную систему, и Кристофера Рена, чьи проекты были буквальным подражанием не Ренессансу, а, скорее, интерпретацией французского барочного классицизма, формы которого, однако, во многом берут начало в маньеризме.

В усиления националистических настроений, в связи с бриллиантовым юбилеем правления королевы Виктории [2, с. 221], архитекторы активно искали вдохновение именно в эпохе формирования английской неоклассики. И данные поиски сформировали эдвардианскую большую манеру — имперский стиль, опирающийся на достижения «великих ордерных открытий»: античности, ренессанса, барокко... Впервые сам же данный термин вводится Третьей беседой Джошуа Рейнольдса (1770 г.) как наивысшая степень академической теории [11].

В первую очередь, архитекторы эдвардианской большой манеры ориентировались на памятники английского барокко: в них находились яркие и нетривиальные способы интерпретации классических форм. Поэтому весомая часть проектов того периода определяется как эдвардианское необарокко или барочный ривайвализм (*baroque revival*). Наиболее часто, конечно, архитекторы ориентировались на К. Рена, сформировав стилистическое явление «*Wrenaissance*» (игра слов на англ.: *Wren* + *naissance* — «возрождение стиля Рена»). Доподлинно неизвестно, как появилось данное название. Вероятно, в обиход оно вошло после одной из статей в журнале «*The Architectural Review*» к 1900-м гг., когда подстиль уже сформировался. За образец также часто брали и другие примеры барокко XVII–XVIII вв., особенно наследие Н. Хоксмюра и Дж. Ванбру (замки Говард и Бленем — наиболее частые прообразы переусложненных эдвардианских фасадов).

Необарокко в целом стало «государственным стилем» эпохи, принципиальной темой творческого поиска в рамках которого стало грандиозного общественного купольного здания — почти всегда интерпретация образа собора Св. Павла или госпиталя Гринвича К. Рена (которые сами переосмысливают Св. Петра Микеланджело).

Первые примеры таких построек — проекты Дж. Белчера, Б. Пайта и Дж. Джосса: дворец Инкорпорированного института дипломированных бухгалтеров (*the Hall of Incorporated institute of Chartered Accountants*) 1889 г. [7, с. 15] и конкурсный проект музея Виктории и Альберта в Лондоне 1891 г. [12, с. 68] (*рис. 1*). Показательны также здание ратуши Белфаста (1897–1906 гг.). Т. Брамвелла, мемориалы королевы Виктории в Калькутте (1905–1912 гг.) У. Эмерсона и леди Эштон («Тадж-Махал севера») (1906 г.) Дж. Белчера в Ланкастере (*рис. 2*) и др.



Рис. 1. Конкурсный проект музея Виктории и Альберта. Дж. Белчер, 1891 г.¹

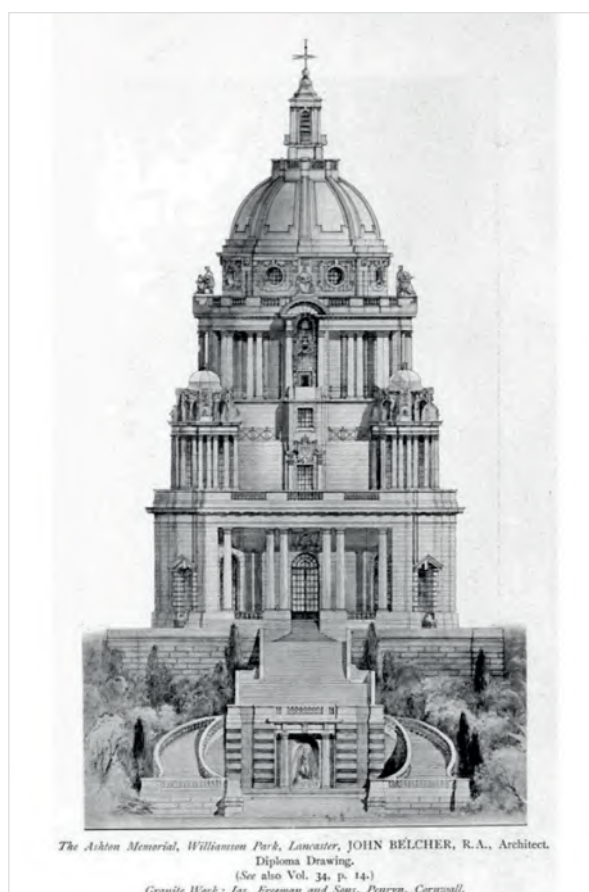


Рис. 2. Мемориал леди Эштон. Дж. Дж. Джоасс, Дж. Белчер; Уильямсон-парк, Ланкастер, 1907 – 1909 гг.²

¹ [12, С. 67].

² [7, С. 224].

К 1910-м гг. популярность необарокко падает. Символично выходит критическая статья в журнале «The Architectural Review» о Миланской Всемирной выставке, где «необарокко» обозначили как достойное порицание вырождение ар-нуво [12, с. 156].

Во всех перечисленных постройках косвенно общее с поздним Возрождением — это эксперименты и вольное обращение с ордером. Но в эдвардианской архитектуре встречаются и прямые отсылки к известным произведениям итальянского маньеризма. Образы Апеннин в целом заняли весомое место в британской эклектике. Уже в начале царствования королевы Виктории возникает целый стиль «Italianate (итальянизированный)», в котором смешались разнообразные черты итальянского Ренессанса. Например, Осборн-хаус (1845–1851), личный проект принца Альберта при участии Т. Кьюбитта (рис. 3). Дворец являлся фантазией на тему итальянской виллы, где соединились образы таких памятников, как вилла Фарнезе в Капрароле, вилла Боргезе в Риме, вилла Медичи в Кафаджоло, вилла в Треббьо, Ла Петрайя и др.



Рис. 3. Осборн-хаус. Принц Альберт, Т. Кьюбитт; Ист-Каус, о. Уайт, 1845-1851 гг.³

В 1890–1910-е гг. английские мастера архитектуры были более избирательны в поиске прообраза. Возрождается интерес к одному из основоположников маньеризма Микеланджело. По мнению А. Грея, данный интерес был обусловлен творчеством скульптора и архитектора Х. Станнуса (ум. в 1875 г.), художника А. Стивенса и публикацией в 1893 г. первого англоязычного издания о мастере «Жизнь Микеланджело Буонаротти» Дж. А. Саймондса [12, с. 286; 13].

Под влиянием этого интереса архитектор А. Б. Пайт публикует в 1898 г. в журнале «The Architectural Review» большое исследование о проектах Микеланджело, где он советует использовать наследие флорентийца как источник идей [9; 12, с. 71]. По существу, он теоретически подкрепляет собственные проекты полные позднеренессансных реминисценций. Так в здании на Мортимер-стрит, 44, в Лондоне, архитектор украшает фасад фантазийным эркером, центральное окно которого разделено пополам балюскадной и увенчано сандриком — прямая цитата форм из Новой Сакристии. В другом проекте 1890-х гг., доме на Мортимер-стрит, 82, он располагает на фасаде серлиану с разорванным лучковым фронтоном, окно

³ Фото автора.

над центром которой поддерживают мужская и женская фигуры скульптора Т. Тайрелла — «ироничный комментарий» к гробнице Медичи, «фигуры Микеланджело будто разбужены» и вынуждены поддерживать второй ярус фронтона» (рис. 4, 5) [7, с. 286–287].



Рис. 4. Здание на ул. Мортимер-стрит, 82, Лондон. А.Б. Пайт, 1896 г.⁴



Рис. 5. Новая Сакристия. Микеланджело; Флоренция, 1519–1635 гг.⁵

⁴ Фото автора.

⁵ Фото автора.

Моду на «микеланджелизм» перенимает и У. Н. Данн, который с У. К. Грином создают проект здания Пэлл-Молл (ок. 1905 г.), с окнами бельэтажа, срисованными также с табернаклей капеллы Медичи (рис. 6). Последний также строит Национальный банк Вестминстера на ул. Пикадилли в духе Бальдассаре Перуцци, которого сам называет своим любимым архитектором [7, с. 175, 200].



Рис. 6. Здание Пэлл-Молл. У. Н. Данн, У. К. Грин; Лондон, 1905 гг.⁶

На одного из самых ярких мастеров эпохи Э. Лаченса и учеников его круга повлияли работы другого мастера итальянского маньеризма, а именно — Микеле Санмикели (рис. 7, 8) [10, с. 49].

⁶ [7, С. 200].

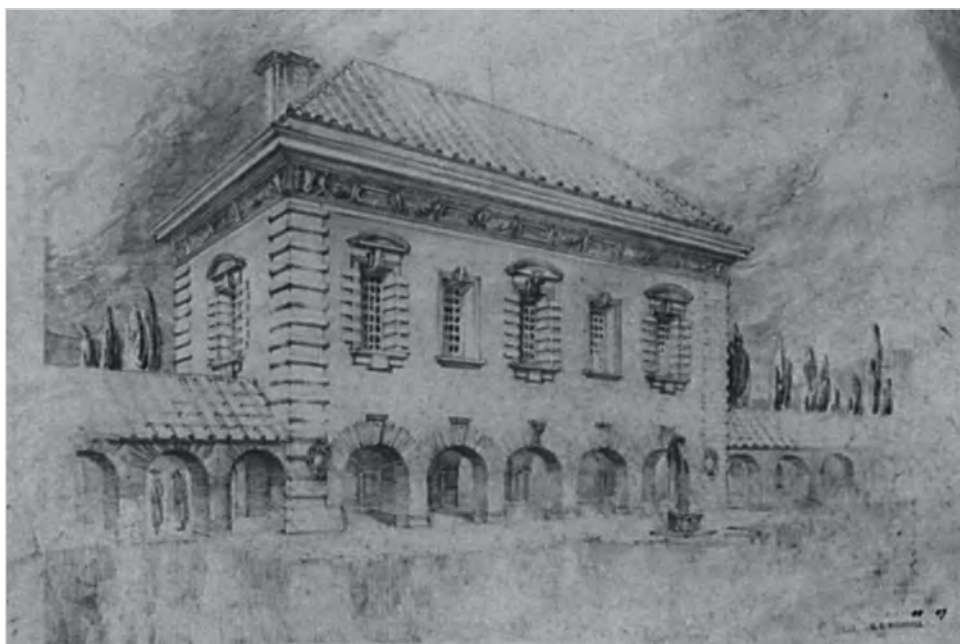


Рис. 7. Учебный проект школьного мемориального зала III курса. О. Хилл (уч. Э. Лаченса), студент Вечерней школы, 1909 г.⁷

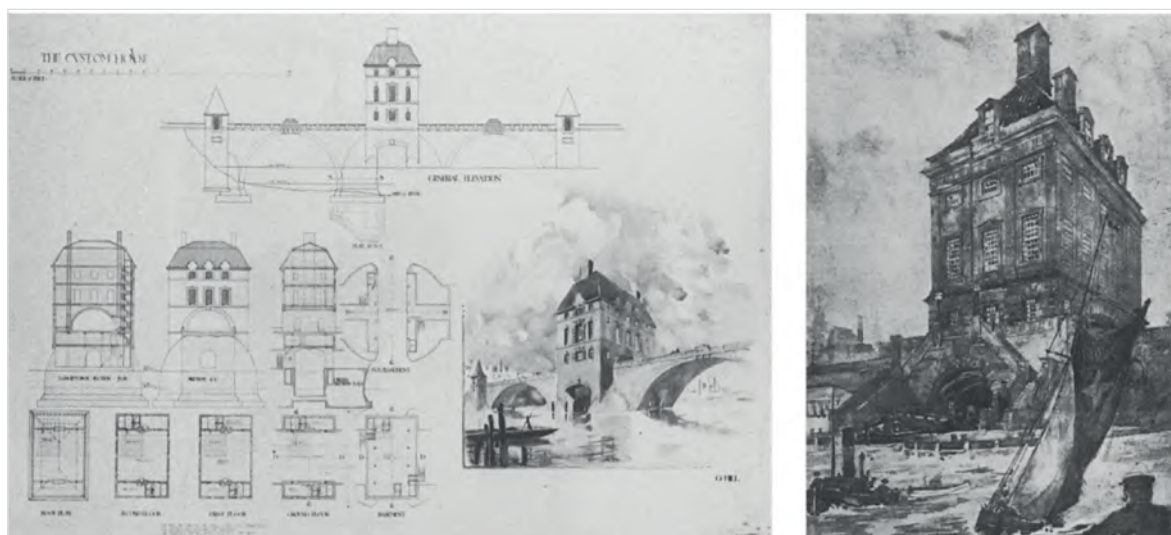


Рис. 8. Учебный проект здания таможни IV курса. О. Хилл, студент Вечерней школы, 1910 г.⁸

Но, пожалуй, больше других приблизился к маньеристическому принципу работы с ордером, к «игре сордерными элементами», а не к эклектичному срисовыванию форм XVI в. А. Б. Пайт. А. Сервис обозначил данный принцип как «иррациональное использование классических элементов» и даже выделяет такой подход как отдельный подстиль внутри «большой манеры». Исследователь заявляет, что Микеланджело и Джулио Романо создали новый классический стиль, использовавший элементы в «антиконструктив-

⁷ [10, С. 51].

⁸ [10, С. 52].

ном ключе». В начале XX в., считает он, фасад теряет связь с внутренней структурой за счет введения стального каркаса, но заказчики продолжают настаивать на решениях в классическом духе, что и сформировало эдвардианский неоманьеризм [12, с. 178]. С данной гипотезой сложно полностью согласится, так как маньеризм, наоборот, исключительно рационален как искусство победы разума над природой, пусть и природой стального каркаса. «Антиконструктивное использование элементов» — сомнительное заявление, так как всевозможные карнизы и пилястры в данном случае только подчеркивают конструктивную работу каркаса. Но неоманеристическое течение как попытка найти новый способ применения ордерных форм внутри «большой манеры» — это неоспоримый факт. В данной эстетике работали А. Б. Пайт, Ч. Холден, Дж. Дж. Джоасс (старший помощник Дж. Белчера), У. Томас. Данное сочетание каркаса с классическим декором в какой-то мере родственно зодчеству Британии XVI в., для которого характерно «соединение итальянизмов, <...>, с элементами, характерными для поздней готики <...> Терпимость, признававшая возможность сосуществования элементов различных «вкусов», старого и нового...» [3, с. 53–54].

Одним из первых «одел» стальной каркас в «классические одежды» Ч. Холден в крыле библиотеки Юридического общества (1903–1904 гг.) на Чансери-лейн в Лондоне (рис. 9). Сандрики его углового ризалита явно вдохновлены Микеланджело. Вероятно, Холден видел и неосуществленные проекты А. Б. Пайта, судя по аркам первого этажа, откровенно похожими на чертежи последнего, выполненные в 1890-х гг. Новаторской является и объемно-пространственная композиция здания: скульптурная, составленная из параллелепипедов. Это решение очевидным образом принадлежит новому столетию: данная громоздкая асимметричная масса объемов поразительно близка Юнити-темпл (Unity Temple) Ф. Л. Райта (1905–1908 гг.) и памятникам Венского сецессиона, то есть ордер как необычайно выразительная пластическая структура вписывается и в композиции ар-нуво и раннего модернизма. Похожий принцип формообразования — скульптурная рубленая композиция с ордерным декором — используется Э. Лаченсом уже в период после Первой мировой войны в двух зданиях Мидленд банка: в Лондоне (1924–1939 гг.) и Манчестере (1933–1935 гг.) (рис. 10, 11).



Рис. 9. Крыло библиотеки Юридического общества. Ч. Холден, Чансери-лейн, Лондон; 1903–1904 гг.⁹

⁹ [7, с. 213].



Рис. 10. Мидленд банк. Э. Лаченс, Лондон, 1924 – 1939 гг.¹⁰



Рис. 11. Мидленд банк. Э. Лаченс, Манчестер, 1933 – 1935 гг.¹¹

¹⁰ [10].

¹¹ Фото автора.

Не менее интересно другое здание Ч. Холдена (1907 – 1908 гг.) — Родезия-хаус (Rhodesia House), бывшее здание Британской медицинской ассоциации (British Medical Association building) (*рис. 12*), исключительное по концептуальности интерпретации наследия Микеланджело. Ч. Холден укрупняет табернакли из Новой Сакристии, охватывая ими несколько этажей и использует ступенчатые лопатки, не имеющие горизонтальных связей на верхних ярусах вместо ордерного декора, и фантазийные обрамления окон (но все на базе классических форм). Законченности композиции добавляет скульптурный декор работы Дж. Эпштейна, вдохновленный статуями «рабов» и «Флорентийской Пьетой» Микеланджело.



Рис. 12. Родезия-хаус. Ч. Холден, Лондон, 1907 – 1908 гг.¹²

Похожим свободным подходом к формотворчеству отличался и другой архитектор — Дж. Дж. Джоасс, ученик архитектора У. Бернета, заменивший А. Б. Пайта в мастерской Дж. Белчера. Иными словами, преемственность неоманьеризма от эдвардианского барокко очевидна. Так в его проекте Маппин-хауса (Mappin House) (1906 – 1908 гг.) (*рис. 13*), выполненного для бюро Дж. Блечера, появляется стеклянный фасад, обрамляемый арками на тонких столбиках с каменными импостами, вторящими своими контурами тем же табернаклями капеллы Медичи. Окна, вписанные в арки, украшены разорванными фронтонами-завитками в духе Бернардо Буонталенти.

¹² [7, С. 215].



Рис. 13. Маппин-хаус. Дж. Дж. Джоасс, Лондон, 1908 г.¹³

Еще более впечатляет здание Королевского Страхового общества (Royal Insurance building) Джосса (1907 – 1908 гг.), фасад которого схож с фасадом Маппин-Хауса, но имеет сложные скульптурные эркеры, с невероятно пластичным микеланджеловским декором, решенным, однако, в духе XX в.

Показательным примером эдвардианского неоманьеризма вне Лондона является здание Лайверского общества взаимопомощи (Liver Friendly Society) У. Томаса (1908 – 1911 гг.) в Ливерпуле (*рис. 14*). Оно представляет собой многоэтажное здание с довольно регулярной сеткой окон, но с совершенно фантазийными венчающими башнями наверху.

Однако к 1910-м гг. данный вольный неоманьеристический подход к проектированию начинает активно критиковаться сторонниками строгого следования классическим канонам. В журнале «The Architectural Review» «неоманьеристы» подвергаются жесткой критике как способные, но слишком увлеченные созданием «нового стиля», изменяющие ордер до неузнаваемости, действительно создавая тем самым самый новый, но «уродливый стиль» («the Ugly Style») [12, с. 180]. В 1910-е на первый план постепенно выходит академический стиль парижской Эколь-де-Бозар. Известно, что Р. Бломфилд, активно работавший над журналом, был ярким сторонником именно подобного французского подхода к проектированию [5].

¹³ [12, с. 182].



Рис. 14. Здание Лайверского общества взаимопомощи. У. Томас, Ливерпуль, 1908 – 1911 гг.¹⁴

Таким образом в архитектуре второй половины 1910-х гг. происходит пуристская революция аналогичная той, что произошла в архитектурной мысли Англии в 1720-е гг. Место демонстративной экспрессии занимает глубоко английское понятие о хорошем вкусе.

Ренессанс и маньеризм оказали существенное влияние на формирование классицизма как глобального вектора развития архитектуры в процессе поиска его формы, соответствующей духу нового столетия. Влияние это было как в виде цитирования форм итальянского чинквеченто, так и условным, за счет специфического понимания Ренессанса архитектурной мыслью Великобритании эдвардианской эпохи, включавшей в Возрождение, помимо непосредственно итальянских образцов XVI в., также творчество И. Джонса и К. Рена и других архитекторов, вплоть до Дж. Неша.

Но главное, что роднит эдвардианский классицизм с итальянским маньеризмом XVI в., — это попытка выстроить новый стиль на базе архитектурного ордерного языка во времена, когда казалось, что наивысшая гармония уже достигнута и классицизм как таковой навсегда исчерпал свои выразительные возможности, в очередной раз доказав, что ордер — это бесконечное поле для художественных экспериментов.

¹⁴ [12, С. 183].

Библиографический список

1. Власов В. Г. Новый энциклопедический словарь изобразительного искусства: в 10 т. Том 10: Эдвардианский классицизм / В. Г. Власов. Санкт-Петербург: Азбука-Классика, 2010. С. 619 – 620.
2. Горюнов, В. С. Архитектура эпохи модерна / В. С. Горюнов, М. П. Тубли. СПб.: Стройиздат, 1994.
3. Швидковский, Д. О. История архитектуры Британии XVI – XVIII столетий / Д. О. Швидковский. Москва: Архитектура-С, 2019.
4. Швидковский, Д.О. История архитектуры стран Европы XIX столетия / Д.О. Швидковский. Москва: Архитектура-С, 2020.
5. Blomfield, R. Memoirs of an Architect / R. Bloomfield. London: Macmillan and Co, 1932.
6. Crook J. M. The rise of the nouveaux riches: Style and status in Victorian and Edwardian architecture / J. M. Crook. London: Murray, 2000. 354 p.
7. Gray, A. S. Edwardian architecture : A biographical dictionary / A. S. Gray. London: Duckworth, 1985.
8. Latyens R. Sir Edwin Latyens : An appreciation in perspective / R. Latyens. London: Country life limited, 1942.
9. Pite, A.B. The Architecture of Michael Angelo / A.B. Pite // The Architectural Review. — 1898. — № 4. — P. 219.; — № 5. — P. 21, 86.
10. Powers A. Edwardian architectural education: a study of three schools of architecture / A. Powers // AA Files. — 1984. — № 5. P. 48 – 59.
11. Reynolds J. M. Seven Discourses on Art / J. M. Reynolds. London: David Price, 1901.
12. Service A. Edwardian Architecture: a handbook to building design in Britain, 1890 – 1914 / A. Service/ London: Thames & Hudson, 1977.
13. Symonds, J. A. The Life of Michelangelo Buonarroti / J. A. Symonds. London, 1893.
14. The Architectural Review. — 1910. — № 27.

BRITISH NEOCLASSICAL ARCHITECTURE OF THE EDWARDIAN AGE AND ITS MANNERISTIC PROTOTYPES

S. A. Kotiev

Moscow Architectural Institute (State Academy) — MARKHI, Moscow

Abstract

The article deals with the British Edwardian architecture (1890s – 1910s). The main attention is paid to the problem of formation and development of the neoclassical style of the period and the influence of the Italian mannerist legacy on the process. The works of architects like J. Belcher, A. B. Pite, J. J. Joass, T. Brumwell, C. Holden, E. Lutyens and others are considered.

The Keywords

Architecture of the Great Britain, Edwardian neoclassicism, Renaissance architecture, British imperial style, Italian mannerism, neomannerism in architecture.

Date of receipt in edition
19.12.2024
Date of acceptance for printing
22.12.2024

Ссылка для цитирования:

С. А. Котиев. Архитектура британского неоклассицизма эдвардианской эпохи и ее маньеристические прообразы. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 173 – 187.





УДК 725.4.012

doi: 10.48612/dnitii/2024_53_188-195

ПОДХОДЫ К РЕОРГАНИЗАЦИИ БЫВШИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ СЕВЕРА РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ КАРЕЛИИ)

Н. Н. Коршунова

А. С. Эйрамджанц

Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства
и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации», Москва

Аннотация

Статья посвящена сохранению градообразующих промышленных предприятий, являющихся сейчас памятниками индустриального наследия северных районов России. Данные здания и сооружения являются исторически важной частью социальной структуры страны. Подходы с анализом их исторического прошлого, исследование мирового опыта подобных сооружений позволяет отметить общие схожие процессы - старые предприятия претерпевают реорганизацию. Таким образом, научный подход к исследованию истории старых предприятий, использование мирового опыта позволит в дальнейшем наметить перспективы развития и методы архитектурного проектирования в данном регионе. Данное исследование подчёркивает, что необходимо возрождение промышленных предприятий, и возможности адаптации данных типов зданий и сооружений, с активным включением их в городскую среду. В статье затрагиваются вопросы сохранения и развития исторических городов с градообразующими промышленными предприятиями, и их перспективы в будущем. Результаты могут быть полезны территориям со схожими природно-функциональными особенностями.

Ключевые слова

Индустриальное наследие; градообразующие промышленные предприятия; сохранение индустриального наследия страны; общественные центры в старых архитектурных комплексах; металлургические предприятия Русского Севера.

Дата поступления в редакцию

09.12.2024

Дата принятия к печати

20.12.2024

Введение

Развитие промышленности до недавних пор было основным показателем финансовой стабильности государства. Промышленные предприятия являлись градообразующими ядрами в структуре города. Проектирование и строительство промышленных предприятий тяготело к источникам сырья, таким образом образуя новые структурные городские агломерации не всегда удобные для жизнедеятельности человека. В современном обществе, с применением новых технологий и процессами глобализации меняются подходы к производству. И как следствие многие предприятия устаревают не только морально, но и физически. А процессы глобализации переносят производства в места с более выгодными условиями

ведения промышленных процессов: стабильный климат, дешевое сырье и рабочая сила. Таким образом, общественная составляющая ищет решения для переосмысления бывших промышленных территорий, превращая их в ценные городские пространства.

Размещение промышленности может быть представлено, как формирование ее в крупных городах и на периферии.

Для полной картины рассмотрим различные варианты преобразования промышленных предприятий в отечественной и зарубежной практике архитектуры и строительства.

Зарубежный опыт

- *Завод «Klingenthal» в Германии:* Бывший текстильный завод преобразован в многофункциональный комплекс с жилыми помещениями, офисами, магазинами, ресторанами и культурным центром.
- *Завод «Silo» в Чехии:* Бывший зерновой элеватор преобразован в современный жилой комплекс с уникальными квартирами в старинных силосах.
- *«The Mill» в Великобритании:* Бывшая мельница перестроена в творческий кластер с мастерскими для художников, дизайнеров и ремесленников.
- *«The Factory» в США:* Заброшенный завод превратился в ресторанный комплекс, кинотеатр и концертный зал. [1]

Отечественный опыт:

- *«Красный Октябрь» в Москве:* Бывший кондитерский завод стал местом для проведения культурных и развлекательных мероприятий
- *«Винзавод» в Москве:* Бывший винный завод переоборудован в арт-кластер, где проводятся выставки, мастер-классы и концерты.
- *«Этажи» в Санкт-Петербурге:* Бывший склад превращен в торгово-развлекательный центр с бутиками, кафе и художественными мастерскими.
- *«Завод» в Екатеринбурге:* Бывший текстильный завод реконструирован в многофункциональный комплекс с жилыми помещениями, офисами, магазинами и ресторанами.
- *«Арсенал» в Туле:* Бывший оружейный завод стал культурным центром, где проходят выставки, концерты и фестивали. [1, 2].

Примеры редевелопмента в малых городах России:

- *«Красная Заря» в Иваново:* Бывший текстильный комбинат преобразован в музей текстильной промышленности и выставочный центр.
- *«Завод «Электроаппарат»» в Челябинске:* Бывший электротехнический завод переоборудован в современный бизнес-центр. [3].

Выше представленные примеры иллюстрируют общие тенденции решения бывших промышленных территорий:

1. Создание смешанного использования:

- *Жилье:* Создание жилых районов с различными типами жилья.
- *Коммерческая недвижимость:* Включение офисов, магазинов, кафе и развлекательных заведений для создания динамичных и оживленных мест.

- *Общественные пространства*: Создание парков, скверов, спортивных площадок и других общественных пространств для отдыха, встреч
- *Культура и образование*: Размещение музеев, галерей, библиотек и учебных заведений для развития культурной жизни и образования.

2. Экологичность и устойчивое развитие:

- *Зеленая архитектура*: Применение энергоэффективных материалов, использование ВИЭ, системы сбора дождевой воды и озеленение территорий.
- *Сохранение исторического наследия*: Включение исторических элементов в новые проекты, сохранение архитектурных памятников и создание музеев, рассказывающих об истории промышленного прошлого.
- *Транспортная доступность*: Развитие пешеходных зон, велодорожек, общественных транспортных систем, чтобы создать удобные и безопасные условия для передвижения.

3. Инновационные архитектурные решения:

- *Применение передовых технологий*: Использование современных материалов, технологий строительства и проектирования для создания инновационных и функциональных пространств.
- *Креативные подходы*: Поиск нестандартных решений, адаптация существующей инфраструктуры, использование исторических элементов в новом контексте.
- *Участие сообщества*: Привлечение жителей к процессу планирования и реализации проектов, чтобы учесть их потребности и идеи.

Архитектура старых промышленных предприятий вызывает все больший интерес по мере разрушения строений и требований специалистов сохранить историю для потомков. В современном мире очевидна тенденция к смене функциональной нагрузки комплексов зданий и сооружений старых промышленных предприятий, и это вполне оправдано переводом производственных мощностей за пределы городской черты, но подобные действия приводят к утрате градоформирующей роли и аутентичности зданий и сооружений старых фабрик, и как результат, к росту безработицы в городах и социальным проблемам. [4].

В качестве примера рассмотрим предприятия Республики Карелия, на северо-западе Петрозаводска и предложим возможную реорганизацию.

Обзор литературы

Известно, что традиции зодчества в создании промышленных предприятий, храмов и жилых зданий, искусные мастера и закономерности в градоустроении, существовали на русском севере издавна. Об этом пишут многие историки, известны исследования архитектуры, фотографии и зарисовки известного ученого Грабаря И. Э.¹ Но в данной статье рассматривается лишь малая часть истории металлургических предприятий, послуживших отечеству сотни лет назад.

Современный анализ архитектурных ансамблей промышленных производств прошлого, выявляет их разрушенное состояние, с одной стороны, но и величественность и акцентность в структуре города, с другой. Об этом говорится в Декларации тысячелетия Организации Объединенных Наций, Генеральной Ассамблеи от 8 сентября 2000 года.

¹ URL — <https://refdb.ru/look/1502485.html>.

«В основу охраны и рационального использования всех живых организмов и природных ресурсов должна быть положена осмотрительность в соответствии с постулатами устойчивого развития. Только таким образом можно сохранить для наших потомков те огромные богатства, которые дарованы нам природой. Нынешние неустойчивые модели производства и потребления должны быть изменены в интересах нашего будущего благосостояния и благополучия наших потомков»².

Таким образом отметим, что реорганизация бывших промышленных территорий — это не просто архитектурная задача, но комплексный процесс, который требует внимания к экологическим, социальным и экономическим аспектам. Новые тенденции — это создание динамичных, устойчивых и привлекательных городских пространств, которые улучшают качество жизни и делают города более привлекательными.

Сохранение и развитие памятников индустриального наследия в северной части России — является важным вопросом развития страны. При этом Архитекторы принимают непосредственное и активное участие в этих вопросах, т. к. творчество является основополагающей движущей силой прогресса общества. [5].

Исторически Карелия является привлекательным природно-ландшафтным достоянием нашей страны и известна, как металлургический центр, с городом Петрозаводск. Поселения на побережье Онежского озера и устье реки Лосоински и издревле славилось металлическими изделиями и получило широкое развитие благодаря казенным металлургическим заводам, созданным по приказу Петра I. [6, 12].

Развитие металлургии создает новое направление — промышленную архитектуру.

Развитие промышленности формирует новые решения не только в объеме, но и в функциональном насыщении: цеха, административные и жилые корпуса. [7]. Закладываются основы промышленной архитектуры и строительства новых типов городов, с промышленным ядром.

Исторически закладка предприятий металлургической отрасли относится к 18 веку. Акцентным промпредприятием края стоит выделить Петровский завод, ориентируемый по выпуск ружей, необходимых стране. Почти одновременно с Петровским заводом в 1703 году, началось сооружение второго нового государственного Олонецкого железоделательного завода — Повенецкого в селе Повенец на северной оконечности Онежского озера. Который впоследствии объединен с Петровским, и назывались Шуйскими (по названию реки Шуи) или Петровскими. Этот комплекс заводов снабжал боевые корабли пушками, ядрами и всеми необходимыми элементами. [8].

Третий новый Олонецкий из Петровских заводов — доменный и молотовой Алексеевский был построен в 1705 году в Выгозерском погосте в 40 верстах от Повенецкого на реке Телекиной. В начале 1706 г. был введен в строй новый Кончезерский медеплавильный завод на реке Викше, между Кончезерским озером и Пертозером. С 1703 по 1706 г. в Олонецком районе были построены четыре государственных завода, обеспечивающих металлическими изделиями строящийся Балтийский флот. [9].

Архитектура, с художественными излишествами тогда не волновала строителей заводского комплекса, но функциональная схема расположения производственных помещений прекрасно вписывалась в ландшафт, используя каждый элемент комплекса для успешной работы предприятия, формируя при этом гармоничные панорамы будущих промышленных городов России. [10]. На протяжении своей истории завод перестраивали и архитектура завода не дошла до наших дней. А окончательно завод потерял свою функциональность в 2000 годы, но до сих пор является памятным воспоминанием Петрозаводска.

Надо заметить, что строительство промышленных предприятий является катализатором обустройства жизни людей, строительства общественных зданий и сооружений и как результат возникновения

² Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций. Принята резолюцией 55/2 Генеральной Ассамблеи от 8 сентября 2000 года.

поселения городского типа. В процессе жизнедеятельности завода к нему была подведена железная дорога. На территории города были созданы новые учебные заведения, построены жилые кварталы, а инфраструктура города развивалась.



Рис. 1. а) Панорама Петровского завода; б) Генеральный план Петрозаводска 1785 года

Возникновение промышленных предприятий диктовало новые подходы в инженерных решениях, раскрывающихся на организации просторных цехов, решении вопросов с отоплением, освещением и удобстве и бесперебойности технологических процессов. Такие подходы легли в основу формирования процессов дальнейшего развития не только промышленности, но и общественных зданий и сооружений, а как результат укрупнение поселения до города.

Отметим, металлургический завод в Кончезере. Там после окончания северной войны, производились товары народного потребления, и выполнялись заказы архитекторов Осипа Трезини и Растрелли Бартоломео Франческо. Это были заказы на чугунные изделия для строительства новых архитектурных ансамблей столицы и ее пригородов.

Выделим Кончезерский завод, строения которого отличались архитектурой. Кончезерский завод был третьим в процессе строительства металлургических комплексов. Для организации технологического процесса производства было выбрано место, где завод становился акцентом на фоне окружающей природы. Стоит заметить, что архитектурное решение отличалось инженерной точностью и гармоничным соединением зданий и сооружений, что подчеркивает мастерство прежних зодчих. [10].

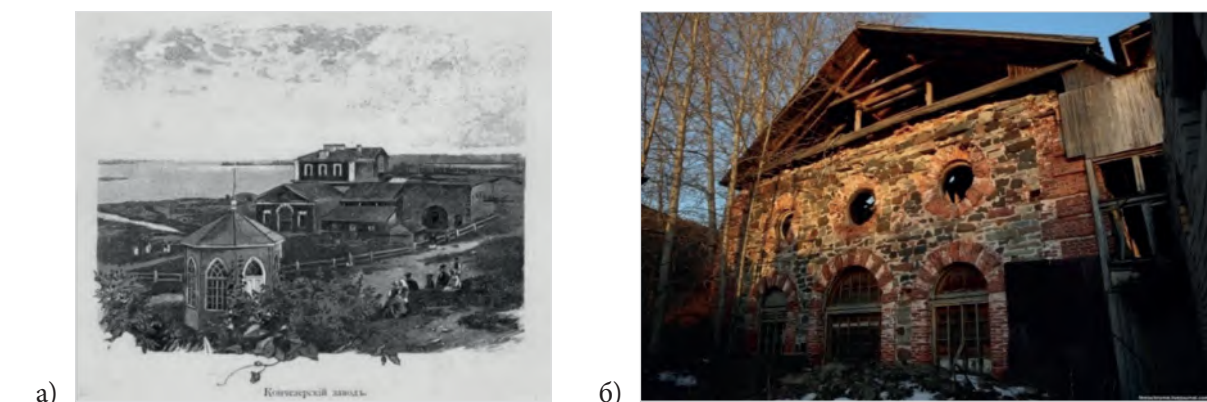


Рис. 2. а) Вид на литейные цеха. Озеро Кончезеро; б) Кончезерский завод в современном состоянии

Завод успешно работал до 1905 года, потом помещения использовались в качестве мастерских. В настоящее время он разрушается из-за отсутствия должного внимания реставраторов, архитекторов

и властей. Иллюстрации подтверждают интересные архитектурные и художественные решения, способные обогатить культурный пласт туристического бизнеса сегодня, учитывая, что рядом располагаются минеральные источники с лечебными водами. На **рис. 2** представлено старое фото завода и современное состояние разрушающегося металлургического предприятия.

Современный Петрозаводск сформировался в годы расцвета Александровского завода. К сожалению, не осталось промышленного потенциала способного привлекать людей и увеличивать экономическую привлекательность города. Но, стоит заметить, что современный Петрозаводск не утратил свое ценное уникальное наследие, способное еще много десятков лет служить на благо страны. Технические исследования промышленных конструкций старой застройки показало, что они обладают достаточной прочностью и устойчивостью, для дальнейшей эксплуатации. [10, 11]. Перспективная реновация промышленных предприятий позволила бы развивать город, привлекая туристов и возможных постоянных жителей. [12].

Выводы

Исследование промышленных предприятий показало вдумчивый подход архитекторов прошлых лет и архитектурную идентичность зданий местности строительства. Таким образом, восстановление данных зданий и включение их в инфраструктуру города позволит сохранить колоритность и неповторимость современных градообразований, с одной стороны, а включение новых функций в городскую среду, с другой стороны, развивать экономическую независимость страны, создавать рабочие места, снимать социальную напряженность, развивать города. Реставрация архитектурных комплексов таких предприятий требует определенных затрат от общества и государства в целом, но это необходимость, окупающая эти затраты за короткий срок.

Анализируя выше приведенные примеры Карельского края отметим, что:

- Промышленные предприятия прошлого имеют историческую важность, как для края, так и для страны, в целом.
- Восстановление и реконструкция дошедших до нас остатков промышленных производств могло бы лечь в интересные туристические маршруты по данной местности, которые привлекли бы туристов и подняли бы экономическую привлекательность края.
- Анализируемые объекты имеют акцентные архитектурные и градостроительные решения. Градообразующая функция, учитывая мировой опыт, предполагает использование их под привлекательные общественные решения, с включением исторической составляющей, которая может быть реализована в музейных выставочных залах, а также в гостинично-торговых комплексах.
- Кроме того, производственная функция, востребованных малых производств, размещаемая в данных промышленных зданиях обогатила бы инфраструктуру города и создало бы дополнительные рабочие места.

Исследование подчеркивает необходимость разработки проектных предложений по реставрации архитектурных комплексов промышленных предприятий в названных городах, а также озеленения и благоустройства прилегающих территорий. Проектные предложения должны быть вынесены на обсуждение специалистов и опубликованы в печати.

Библиографический список

1. Храпцов А. Б., Порошин О. С. Зарубежные и отечественные практики ревитализации заброшенных промышленных зон города: направления и перспективы // Строительство и Архитектура. Том 11, (4 /2023). 14 с.
2. М. В. Горячкина, Л. В. Петрова. Архитектурная организация культурно-образовательных центров на исторических промышленных территориях городов Московской области. — Системные технологии. — 2023. — № 1 (46). — С. 156 – 167.
3. Т. О. Волошенко, Н. М. Евтушенко-Мулукаева. Особенности реновации промышленных объектов в малом городе // Современная архитектура мира. Вып. 21 (2/2023). С. 301 – 322.
4. Гутнов А. Э. Центр города. Музей или активная жизнь? / А. Э. Гутнов // Наука и жизнь. — 1979. — № 4 — С. 66 – 73.
5. Эйрамджанц А. С. Основные аспекты развития архитектуры Северных регионов // История российского производства. — Красноярск: Гермес, 2002. — С. 54.
6. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2024. Т. 24, № 2. С. 20 – 29. DOI: 10.14529/build240203
7. Любимов П. Г. Очерки по истории русской промышленности. XVII, XVIII и начало XIX века [Текст] / проф. П. Г. Любимов. — [Москва]: Госполитиздат, 1947. — 763 с.
8. Касатонова И. В. Три века российского флота, М.: 1996 год. URL: <https://rusistori.ru/russkoe-tsarstvo/flot-petra-1> (обращение 15.12.2022).
9. Коваленко Г. М. Первые металлургические заводы в Карелии 1679–1703. Л., 1979. С. 13, 34–38, 43–44, 48–49; Глаголева А. П. Олонецкие заводы в первой четверти XVIII века. М., 1957. С. 40–44.
10. Швабе К. И. Описание Александровского пушечного-литейного завода в Петрозаводске // МС. 1855. № 7. С. 18–19.
11. Случевский К. К. «По северо-западу России». СПб., 1997.
12. Гаврильева, Т. Н. Северные города: общие тренды и национальные особенности / Т. Н. Гаврильева, Е. А. Архангельская // ЭКО. — 2016. — №3 (501).

THE TRENDS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES RENOVATION IN THE NORTHERN REGIONS OF RUSSIA

N. N. Korshunova
A. S. Eyramdzants

Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation, Moscow

Abstract

The article is devoted to the preservation of city-forming industrial enterprises, which are now monuments of the industrial heritage of the northern regions of Russia. These buildings and structures are a historically important part of the social structure of the country. Approaches with the analysis of their historical past, the study of the world experience of similar structures allows us to note common similar processes — old enterprises undergo reorganization. Thus, a scientific approach to the study of the history of old enterprises, the use of world experience will allow us to further outline the prospects for development and methods of architectural design in this region. This study emphasizes that it is necessary to revive industrial enterprises, and the possibility of adapting these types of buildings and structures, with their active inclusion in the urban environment. The article touches upon the issues of preservation and development of historical cities with city-forming industrial enterprises, and their prospects in the future. The results may be useful for territories with similar natural and functional features.

The Keywords

Industrial heritage; city-forming industrial enterprises; preservation of the industrial heritage of the country; community centers in old architectural complexes; metallurgical enterprises of the Russian North.

Date of receipt in edition

09.12.2024

Date of acceptance for printing

20.12.2024

Ссылка для цитирования:

Н. Н. Коришнова, А. С. Эйрамджанц. Подходы к реорганизации бывших промышленных предприятий на территориях севера России (на примере Карелии). — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 188–195.



КИНЕТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ КАК ЭЛЕМЕНТЫ НОВОГО ДИЗАЙНА
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ. ДИНАМИЧЕСКИЕ ФАСАДНЫЕ СИСТЕМЫ

А. В. Плаксина
Я. А. Коржемпо

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Кинетические объекты — (греч. *kinetikos* — движение, приводящий в движение) это объекты, которые могут двигаться и изменяться. Художники (в будущем — художники-кинетисты) создали кинетическое искусство, желая найти новую форму выражения, придать движения картинам и скульптурам, внести в них больше жизни. Кинетическое искусство стало обновлением дизайна городской среды. Кинетические объекты дополняют и подчёркивают пространство в том месте, где они установлены.

Кинетика нашла отражение не только в декоративном искусстве, но и в архитектуре: стали появляться динамические фасадные системы, которые также взаимодействуют с окружающей средой и влияют как на экстерьер, так и на интерьер.

Целью статьи является анализ роли кинетических объектов в городской среде и оценка динамических фасадных систем как новой технологии в архитектуре.

Ключевые слова

Кинетические объекты, динамические фасадные системы, дизайн городской среды, кинетизм, арт-объекты, кинетика, кинетическая архитектура.

Дата поступления в редакцию
25.11.2024

Дата принятия к печати
09.12.2024

Кинетические объекты начали появляться на улицах в начале XX века. Развитие в области технологий привело и к изменениям в области мироощущения человеком, что потребовало поиска нового варианта художественного самовыражения. Таким образом появился кинетизм.

Чтобы разобраться, каким бывает кинетическое искусство и как оно взаимодействует с городской средой, приведём описательную базу нескольких примеров.

1. Фонтан «Fire and Water»

Автор: Яаков Агам (Yaacov Agam), местоположение: Тель-Авив, Израиль, год: 1986



Рис. 1. Фонтан Огня и Воды

Фонтан состоит из нескольких зубчатых колес, которые, вращаясь специальным механизмом, создают с разных углов зрения разные изображения (с помощью цветных геометрических фигур). Движение сопровождается впрыскиванием вверх воды и огня и музыкой. Такой кинетический объект стал неотъемлемой культурной частью городской площади. [1]

2. «Пляжные звери»

Автор: Тео Янсен (Theo Jansen), Местоположение: Нидерланды, год: 2012.



Рис. 2. «Пляжные звери»

Кинетические скульптуры в виде существ, которые приводятся в движение силой ветра¹, получили название «Пляжные звери». Они состоят из конструкций из трубок ПВХ, пластиковых бутылок и другого

¹ Стоит отметить, что объекты Янсена двигаются не за счёт отдельного механизма, а с помощью природной силы — ветра, что ещё больше соединяет их с окружающей средой. [2]. «Я пытаюсь создавать новые формы жизни» — Тео Янсен.

вторсырья. Изначально Янсен создавал эти структуры для борьбы с эрозией пляжей (они бы отодвигали песок от кромки воды и создавали барьер для продвижения моря), но впоследствии «Пляжные звери» стали яркими кинетическими арт-объектами и получили множество наград на выставках.

3. Гипнотические Мобили

Автор: Александр Колдер (Alexander Calder), Местоположение: музеи мира, год: 1932.



Рис. 3. Мобиль А. Колдера



Рис. 4. Миниатюрный цирк «Le Cirque de Calder»

Мобилями называли кинетические объекты скульптора Александра Колдера, который стоял у истоков кинетического искусства. Сначала они приводились в движение моторами, но позже Колдер, благодаря своим инженерным знаниям, разработал технику «неустойчивое равновесие»: мобили стали двигаться от любого колебания воздуха. Эти инженерные скульптуры покорили людей своей уникальностью и принесли известность их автору. [3]

4. Кинетические фонтаны (Фонтан Стравинского)

Автор: Жан Тенгли (Jean Tinguely), Местоположение: Париж, год: 1981.



Рис. 5. Комплекс скульптур «Фонтан Стравинского»

Тенгли, автор множества самодвижущихся механизмов, собранных из промышленных материалов и утиля, известен в основном своими фонтанами в Париже. Эта композиция находится на площади Игоря Стравинского и посвящена музыкальным произведениям. Каждая из 16 скульптур вращается, и вместе они разбавляют и дополняют дизайн площади и завершают её композицию. [4]

Промежуточный итог: Кинетический арт-объект, являясь таким же градоформирующим объектом, как и архитектура или скульптура, может очень круто преобразить пространство. Он позволяет по-новому выразить в присущей автору форме его взгляд на какую-либо тему. Он может солировать в городской среде, а может дополнять и раскрывать какую-то архитектурную композицию. Помимо культурно-эстетической, он может нести и прикладную функцию. Он может служить для оформления дизайна среды и её зонирования, а также для управления движением потока людей.

Динамические фасадные системы

Кинетизм нашёл своё отражение и напрямую в архитектуре. Сейчас всё чаще архитекторы и заказчики стремятся к полностью остеклённым фасадам, но при таком решении возникает ряд проблем, например, чрезмерный нагрев помещений. Конечно, эти вопросы можно решить обычно — повесить шторы или жалюзи, но инженеры и архитекторы создали новую технологию, превосходящую привычные способы во многих аспектах.

Динамические фасадные системы — это конструкции, состоящие из подвижных модулей, которые при необходимости обеспечивают затенение стекла, смещаясь в зависимости от положения солнца.



Рис. 6. Башни Аль Бахар

Фасад в современной архитектуре стал такой же сложной конструкцией, как и само здание, что не удивительно: фасад — это целый самостоятельный элемент, который влияет и на интерьер (помещения), и на экстерьер (окружающую среду). Динамические фасадные системы, также как и кинетические арт-объекты, реализуют изменчивость городской среды, добавляют подвижность её наполнения и создают эстетически комфортное пространство. [5] Но также они имеют большое техническое значение, о котором поговорим далее.

Какие же основные функции несут динамические фасады?

Первая — это обыкновенная функциональная защита, которая необходима особенно при наличии панорамных окон. Таким образом можно оформить личное пространство.

Вторая — климатическая защита: это возможность значительно снизить воздействие прямых солнечных лучей. Элементы динамической конструкции, подстраиваясь под погоду, меняют свое положение, перекрывают прямой свет и делают его рассеянным, обеспечивая комфортные условия внутри. Помимо обеспечения приятной температуры в помещениях, за счёт рассеянного света устраняются блики, что наиболее важно для офисных зданий, где много работают на компьютере. Динамические фасадные системы расположены снаружи здания, поэтому не препятствуют прохождению свежего воздуха через окна, которые, также управляясь автоматически, осуществляют естественную вентиляцию.

Третья функция — экономия энергии. Грамотное распределение естественного света внутри помещения позволит оптимизировать использование искусственного света, а также систем вентиляции, кондиционирования и отопления. Соответственно, уменьшатся эксплуатационные расходы. Но комфортные условия, как в плане освещенности, так и свежести воздуха, сохраняются.

Может возникнуть вопрос: имеет ли это большой смысл, если человек может сам передвигать шторы/жалюзи, когда ему будет необходимо? Если автоматизации системы затенителей, кондиционирования и освещения нет — потребление энергии останется таким же, ведь процесс не унифицирован, а субъективен. Исследования показали, что примерно 30% людей затеняют окна в облачные дни, что увеличивает расходы на освещение, а в ясные дни, наоборот, открывают, что увеличивает расход на кондиционирование. Также, неоспоримое преимущество в том, что автоматизированная система может учитывать индивидуальные потребности каждого пользователя. [6]

Теперь рассмотрим несколько конкретных примеров зданий с динамическими фасадными системами.

1. Здание офисного центра Аль Бахар (Al Bahr)

Архитектор: Aedas Architects, Местоположение: Абу-Даби, год: 2012.



Рис. 7, 8. Динамическая фасадная система башен Аль Бахар

В условиях 50-градусной жары в ОАЭ особенно важно создать прохладу в офисных помещениях, поэтому главную свою функцию динамический фасад здесь выполняет: более 2000 триангуляционных

модулей-зонтиков, управляемых центральным компьютером, раскрываются и защищают от прямых солнечных лучей. Стоит отметить, что даже когда заслоняющее устройство закрыто, обитатели все равно могут видеть сквозь него все, что происходит снаружи. [7] Также интересно то, что узор динамической системы отсылается к традиционному элементу арабской архитектуры, машрабии, которой закрывались окна и балконы.



Рис. 9. Движение модулей фасада башен Аль Бахар

2. Выставочный зал Kiefer Technic

Архитектор: Ernst Gieselbrecht + Partner, Местоположение: Штайермарке, Австрия, год: 2007.



Рис. 10, 11. Фасадная система Kiefer Technic

Этот динамический фасад управляется лично пользователем. Такая технология проще, так как не включает в себя реагирующую систему и зависит только от входных данных от людей, находящихся в здании. Но она также энергозатратна: система обеспечивается 56 двигателями. Однако такое количество позволяет каждому работнику настроить перфорированные алюминиевые панели под себя. [8]

3. Раздвижные и складные экраны

Архитектор: студия Hunter Douglas, Местоположение: жилое строительство по миру, год: 2000.



Рис. 12. Экраны Hunter Douglas

Эти панели — доказательство того, что адаптированные динамические фасадные системы могут использоваться и для жилого строительства. Работают они также: контролируют проникновение солнца, а различные их виды позволяют сделать выбор в соответствии с эстетикой и функционалом, которые задал архитектор. [8]

4. Galleria Centercity

Архитектор: студия Unstudio, Местоположение: Чеонан, Южная Корея, год: 2008.



Рис. 13. Galleria Centercity

Фасад (двуслойное стекло) состоит из внешней и внутренней оболочки, обе с линейным рисунком из вертикальных стоек, которые создают глубину и эффект, когда изображение меняется в зависимости от угла обзора. Зачем же два слоя в фасадной системе? «Стратегические» основные фасадные отверстия пропускают дневной свет, а внешние модули препятствуют попаданию прямых солнечных лучей. [9]

5. Паркинг аэропорта в Брисбене

Архитектор: Нед Кан (Ned Kahn) и Urban Art Projects Studio, Местоположение: Брисбен, Австралия, год: 2011.



Рис. 14. Паркинг аэропорта в Брисбене

Американский художник Нед Кан в своих работах всегда использовал такие инструменты, как ветер и свет. Также и в этом проекте: динамическая фасадная система паркинга состоит из 250.000 легких алюминиевых панелей, которые, шевелясь от дуновений ветра, создают волнообразные движения, похожие на рябь на воде. Здание также является примером экологической архитектуры. [10]

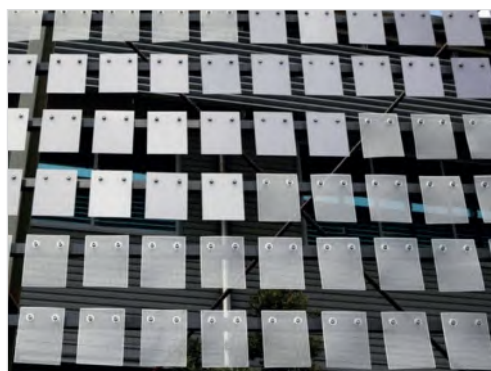


Рис. 15. Панели фасадной системы паркинга

6. «One Ocean» Pavillion

Архитектор: студия Soma architecture, Местоположение: Йосу, Южная Корея, год: 2012.



Рис. 16, 17. «One Ocean» Pavillion

В павильоне «One Ocean» проходит экспозиция на тему океана, поэтому в этом случае динамическая фасадная система из панелей из армированного полимерного стекловолокна выступает ещё и как метафора: её можно считать как открывающиеся и закрывающиеся жабры огромной рыбы, или как морскую волну. Работу моторов, запускающих движение панелей, обеспечивает энергия солнечных батарей, расположенных на крыше здания, поэтому эта вариация динамичного фасада может считаться экологичной. Управляется система центральным компьютером. Такой, как его назвали, «дышащий» фасад обеспечивает в каждое время суток оптимальное естественное освещение внутри интерьеров павильона. [11]

Проблематика

Применение динамических фасадов в каждом отдельном здании требует индивидуального подхода для проектирования в зависимости от его назначения, условий местного климата и т. д. И выбрать из вариантов решения может быть сложно, особенно, потому что используются инновационные технологии. Как следствие, итоговый выбор часто бывает субъективен. [12]

Также, некоторые проекты, где фасадная система запускается не с помощью природы, а с помощью компьютера и специальных механизмов, сводятся к вопросу стоимости. Энергия для обеспечения работы сложных устройств может привести к еще более высоким расходам. Вопрос, действительно ли такие системы энергоэффективны и безубыточны, пока что, не имеет однозначно верного ответа. Вероятно, всё зависит от конкретного случая, от потребностей заказчика, от условий местоположения. Любой высокотехнологичный механизм стоит денег, поэтому этот аспект не умаляет ценности и инновационности технологии динамических фасадных систем.

Выводы

Кинетические объекты и кинетическая архитектура значительно влияют на дизайн городской среды. Они взаимодействуют с ней, удовлетворяя потребности в динамичности, реализовывая задачи по отражению социальных принципов (например, природо-сберегающих и культурных) и делая территорию более интересной, а объекты, приводящиеся в движение природой, соединяются с окружающей средой вдвойне. Работая в симбиозе с архитектурой и скульптурой, объекты кинетизма стали свежим и интересным ответвлением искусства и новой и развивающейся формой жизни.

Динамические фасадные системы не только формируют дизайн городской среды как другие кинетические объекты, но и способствуют адаптации здания к условиям окружающей среды, экономят эксплуатационные затраты энергии и делают нахождение в здании более комфортным. Опыт применения динамических фасадных систем показал, что, в здании с остекленными фасадами высотой 10 – 15 этажей и площадью 4500 кв. м. автоматическая система затенения экономит 40% энергии, а нагрузка на системы кондиционирования может быть снижена на 20 – 40%. [13] Таким образом, это инженерное решение, которое может быть реализовано как сложным механизмом, так и простым взаимодействием с природными явлениями, в обоих случаях умело интегрируется в пространство среды и значительно улучшает условия нахождения в зданиях, оснащённых динамической фасадной системой.

Библиографический список

1. URL — https://en.wikipedia.org/wiki/Fire_and_Water_Fountain
2. URL — <https://www.audemarspiguet.com/com/ru/news/art/theo-jansen-strandbeest.html>

3. URL — <https://www.architectorgallery.ru/interesting/stati/gipnoticheskie-mobili-aleksandra-koldera/>
4. URL — <https://artguide.com/posts/955>
5. URL — <https://stroy-trading.ru/information/article/610-Zachem-nuzhny-dinamicheskie-fasady>
6. URL — http://zvt.abok.ru/articles/523/Kineticheskie_fasadnie_sistemi
7. URL — <https://www.alpicagroup.ru/articles/dinamicheskii-fasad/>
8. URL — <https://ru.beautiful-houses.net/2018/06/dynamic-facades.html#1>
9. URL — <https://www.unstudio.com/en/page/12104/galleria-centercity>
10. URL — https://www.architime.ru/specarch/urban_art_projects_studio/brisbane_airport_parking.htm
11. URL — https://www.architime.ru/specarch/soma_architecture/one_ocean_pavillion.htm#1.jpg
12. URL — <https://do.kgasu.ru/files/N2-2-12-.pdf>
13. URL — http://bacnet.ru/knowledge-base/articles/index.php?ELEMENT_ID=778

KINETIC OBJECTS AS ELEMENTS OF NEW URBAN ENVIRONMENT DESIGN. DYNAMIC FACADE SYSTEMS

A. V. Plaksina
I. A. Korzhempo

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Abstract

Kinetic objects—(greek. *kinetikos*— movement, setting in motion) are objects that can move and change. Artists (in the future— kinetic artists) created kinetic art, wanting to find a new form of expression, to give movement to paintings and sculptures, to bring more life into them. Kinetic art has become an update of the design of the urban environment. Kinetic objects complement and emphasize the space in the place where they are installed.

Kinetics is reflected not only in decorative art, but also in architecture: dynamic facade systems began to appear, which also interact with the environment and affect both the exterior and the interior.

The purpose of the article is to analyze the role of kinetic objects in the urban environment and evaluate dynamic facade systems as a new technology in architecture.

The Keywords

Kinetic objects, dynamic facade systems, urban design, kineticism, art objects, kinetics, kinetic architecture.

Date of receipt in edition

25.11.2024

Date of acceptance for printing

09.12.2024

Ссылка для цитирования:

А. В. Плаксина, Я. А. Коржемпо. Кинетические объекты как элементы нового дизайна городской среды. Динамические фасадные системы. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 196–205.



УДК 728.1
doi: 10.48612/dnitii/2024_53_206-217

**ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
СТРУКТУРЫ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ**

С. А. Сафронов*
Н. С. Калинина*/**

* Российский Университет Дружбы Народов, г. Москва
** Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва

Аннотация

Исследованы примеры решений транспортно-пересадочных узлов развитых и развивающихся стран. Проанализированы особенности их функционального зонирования, а также предпосылки и условия для формирования центров притяжения для населения.

Ключевые слова

Архитектура транспортно-пересадочных узлов, городская транспортная сеть, интермодальные узлы, центры городской активности.

Дата поступления в редакцию
19.12.2024

Дата принятия к печати
22.12.2024

Введение

На сегодняшний день, город, являясь функциональной и пространственно связанной средой, активно развивается. По этой причине, транспортная инфраструктура для пассажиров, является одним из важнейших факторов роста города. Расширение транспортной сети увеличивает количество пешеходных связей, наполняет городские пространства новыми зонами для пассажиров, что в свою очередь, требует роста количества новых пересадочных узлов. Таким образом, проблема комфортного и безопасного перемещения пассажиров в городе, не теряет своей актуальности.

Транспортно-пересадочные узлы (ТПУ), представляют собой сооружения с комплексным функционалом. Это не только транспортная функция, но и ряд других, таких как социальная, торговая, культурная, рекреационная и прочие. Четко прослеживается связь между набором необходимых функций, путей логистики и архитектурными решениями, применяемыми при проектировании транспортно-пересадочных узлов для пассажиров [1].

В свою очередь, насыщение ТПУ таким широким функционалом, обуславливает формирование центров притяжения для населения на их базе. Улучшение транспортной доступности и безопасности для пассажиров напрямую связано с увеличением количества новых ТПУ [2]. Из-за того, что, транспортно-пересадочные узлы возводятся обычно в городской черте с уже существующей застройкой — предпочитают варианты с многоуровневой компоновкой [3]. При такой компоновке, парковки для транспорта и станции метро — размещаются на уровне ниже нуля. Перехватывающие парковки, остановки общественного транспорта — логично размещать на уровне земли. Реализация остальных функций выполняется, как правило, на уровне земли и выше него [4].

Целый ряд задач в вопросах транспортной логистики, стоящих перед городом, успешно решаются путем внедрения новых транспортно-пересадочных узлов. Более того, решаются стратегические задачи по комплексному развитию транспортной инфраструктуры, уменьшению доли использования личного транспорта, распределению пешеходных потоков и улучшению социальной инфраструктуры [5].

Материалы и методы

Методы исследования базируются на изучении текстовых и графических материалов зарубежных и отечественных источников. Проанализированы транспортно-пересадочные узлы развитых и развивающихся стран, с растущим темпом развития городов и, как следствие, развитием транспортного трафика [6].

Материалами для исследования являются реализованные транспортно-пересадочные узлы, а именно:

- ТПУ Сакра Селарас, Индонезия, 2021 г.
- Интермодальный центр Дубьюк, США, 2016 г.
- Узел пассажирских перевозок по шоссе Дацин, Китай, 2010 г.
- ТПУ Планерная, Россия, 2008 г.

Причиной выбора данных ТПУ явилось то, что несмотря на выполнение схожих функциональных задач, они имеют ряд отличий. Среди них: географическое положение, пропускная способность, различная номенклатура задействованного в процессе общественного транспорта, разные задачи, стоящие перед архитекторами на этапе проектирования и связанные с этим разные варианты компоновки объемов.

Методы исследования — изучение объектов транспортной инфраструктуры отечественной и зарубежной практики, обнаружении ключевых особенностей функционального зонирования объемов ТПУ и формирования их объемно-пространственной структуры. Для удобства, основным функциональным зонам присвоена штриховая кодировка.

Принципиальная схема зонального деления объема ТПУ с группировкой по функциональному назначению и раскрытием легенды кодировки представлена в **таблице 1**. Сводные данные сравнения наличия схожих функциональных зон с использованием штриховой кодировки по исследованным ТПУ приведены в **таблице 2**.

Принципиальная схема зонального деления объема ТПУ с группировкой по функциональному назначению и раскрытием легенды кодировки. Используется на рисунках: 1, 2, 3 и 4

Объем транспортно-пересадочного узла			
Объемы ТПУ, относящиеся к транспортной инфраструктуре		Объемы ТПУ, не связанные с перевозкой пассажиров	
	зоны ожидания транспорта		общественные пространства
	билетные кассы		коммерческие павильоны
	стоянки автотранспорта		предприятия общественного питания
			административные помещения, офисы

Результаты и обсуждение

При изучении опыта проектирования и строительства транспортно-пересадочных узлов, выявлены некоторые особенности.

ТПУ *Сакра Селарас*¹, Джакарта, Индонезия, 2021г. Архитектурное бюро «Studio Lawang», площадь 4400м2. CSW, бывшая Centrale Stichting Wederopbouw, является одним из главных перекрестков в Кебайоран-Бару. На перекрестке CSW изначально была кольцевая развязка. **Cakra Selaras Wahana**— CSW —расшифровывается как «**Чакра**» —форма круга, «**Селарас**» —гармония с окружающим, и «**Вахана**» — транзитное пространство для соединения пользователей автобусов и поездов. Архитекторам удалось спроектировать ТПУ на небольшой площади, при этом сохранив самобытность, придать новые смыслы историческому месту. Облик ТПУ органично вписался в окружение благодаря цветовым и архитектурным решениям. CSW стал развязкой для коридора XIII линии BRT (Трансьякарта) (автобусная эстакада запад-восток) и линии MRT (железная дорога север-юг). В 2019 году правительство Джакарты провело конкурс. Изучаемый объект был выбран победителем из-за его способности как обеспечить мобильность людей на развязке, так и возродить историческое значение этого места. Целью проекта было воссоздать бывшую кольцевую развязку, облагородить ее и сделать доступной для пешеходов. ТПУ обеспечивает пересадку с железнодорожного транспорта на автомобильный и наоборот, а на четырех этажах ТПУ размещаются деловые, правительственные зоны, общественные пространства, точки общепита и торговые павильоны (рис. 1).

¹ Источник информации и изображений: URL https://www.archdaily.com/988214/cakra-selaras-wahana-station-studio-lawang?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

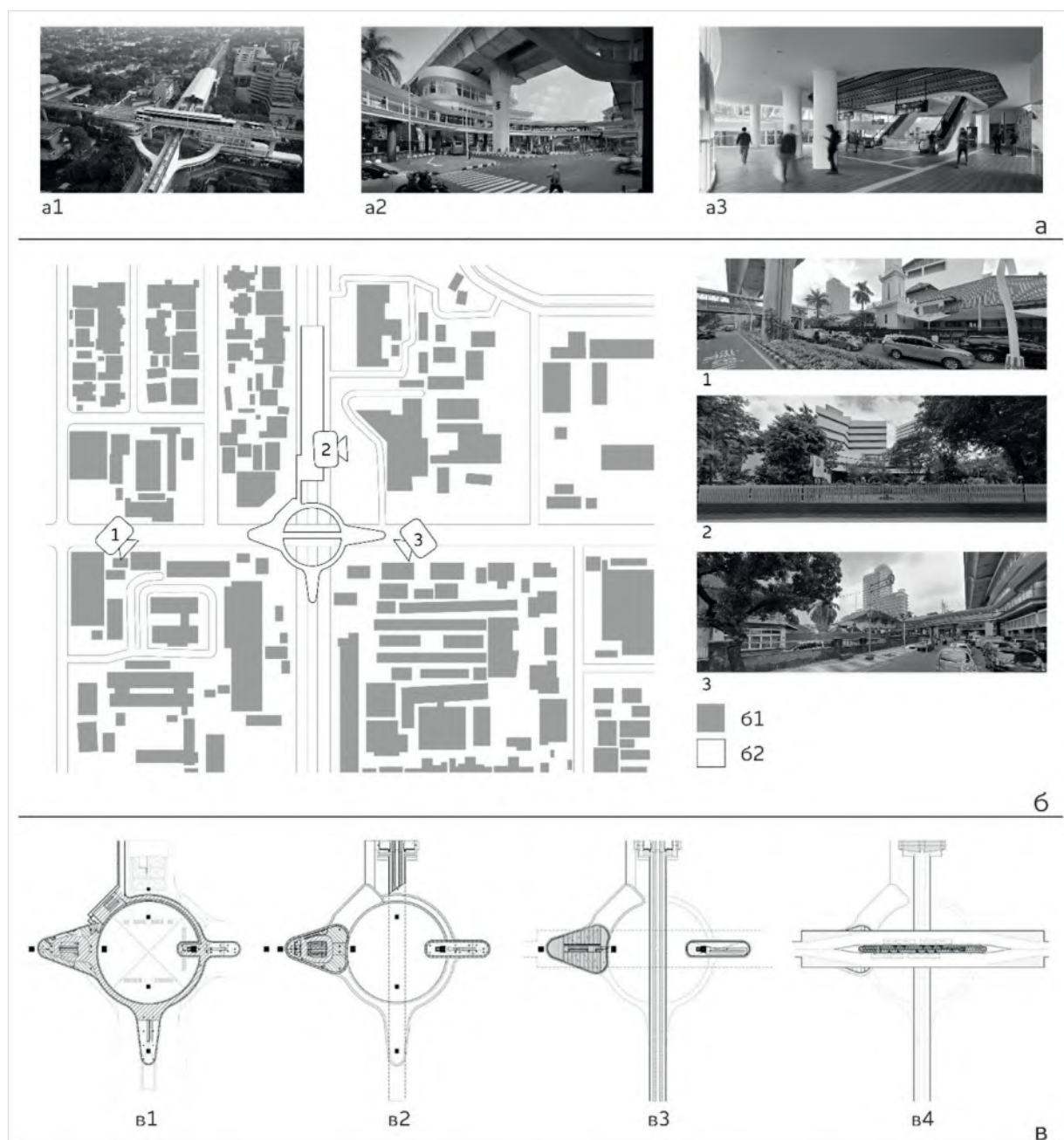


Рис. 1. а) Изображения ТПУ Сакра Селарас; а1 — силуэт здания; а2 — фрагмент фасада; а3 — интерьер. б) План местности, окружающей ТПУ с указанием точек фотофиксации и их представление² (3 вида); 61 — существующая застройка; 62 — ТПУ Сакра Селарас. в) Схема функционального зонирования ТПУ с использованием штриховой кодировки, (см. таблицу 1); в1 — 1 этаж; в2 — 2 этаж; в3 — 3 этаж; в4 — 4 этаж

Интермодальный центр Дубьюк³, США, Айова, 2016г. Площадь 882 м², количество машиномест 292, расширяемо до 450. Архитектурное бюро «Neumann Monson Architects». Интермодальный центр

² Панорамы улиц, источник изображений (здесь и далее): URL <https://www.google.ru/maps>

³ Источник информации и изображений: URL https://www.archdaily.com/908060/dubuque-intermodal-transportation-center-neumann-monson-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

Дубьюк расположен между центром города и шоссе, чтобы возродить исторический производственный район с местной, федеральной и государственной инфраструктурой. Программные элементы создают фон для района и экранируют территорию от шоссе. Конфигурация также создает городской колорит и обрамляет будущую общественную зеленую зону. Масштаб и пропорции соответствуют историческому окружению. Расстояние между колоннами и окнами повторяет ритм фасадов окружающих складских зданий. Это соответствует государственным рекомендациям по сохранению исторических памятников для новых зданий (*рис. 2*). Транспортный кампус состоит из трех компонентов: структурированного гаража-стоянки, подвесной пешеходной дорожки и здания вокзала, которое обеспечивает продажу билетов как на местные, так и на междугородние автобусы. Центр готов принять потенциальный будущий пассажирский поезд, соединяющий Чикаго и Миннеаполис.

*Daqing Highway Passenger Transportation Hub*⁴. Узел пассажирских перевозок по шоссе Дацин, Китай, 2010 г., площадь 29576 м², Архитектурное бюро «Had Architects». Узел пассажирских перевозок по шоссе Дацин находится на пересечении улицы Лунфэн и Сенчури-авеню. Комплекс состоит из главного, трехэтажного здания вокзала и четырнадцатизэтажного делового центра, которые интимно соединены друг с другом. Общая площадь комплекса составляет почти 30000 м², он был спроектирован в начале 2009 года и завершен в конце 2010 года. Город Дацин известен как крупнейший нефтяной город Китая, и он расположен в северной альпийской зоне, которая имеет отличные географические особенности. Архитекторы пытались придать зданию некоторые культурные коннотации. При проектировании, архитекторы вдохновлялись культурой снега и льда, что характерно для северо-восточной части Китая и считается особенностью местного рельефа. Белые формы поднимаются вверх и опускаются вниз, как зимний холм, возвышающийся над землей. Внутренний объем комплекса подчеркивает открытость и прозрачность из-за трехэтажного холла, который является связующим звеном для выполнения функций каждого помещения. Комплекс узла пассажирских перевозок по шоссе Дацин включает в себя автовокзал с зонами ожидания, точки общепита и деловой центр (*рис. 3*). ТПУ возведено в основном из стальных конструкций и частично из бетона.

⁴ Источник информации и изображений: URL https://www.archdaily.com/344939/daqing-highway-passenger-transportation-hub-had-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

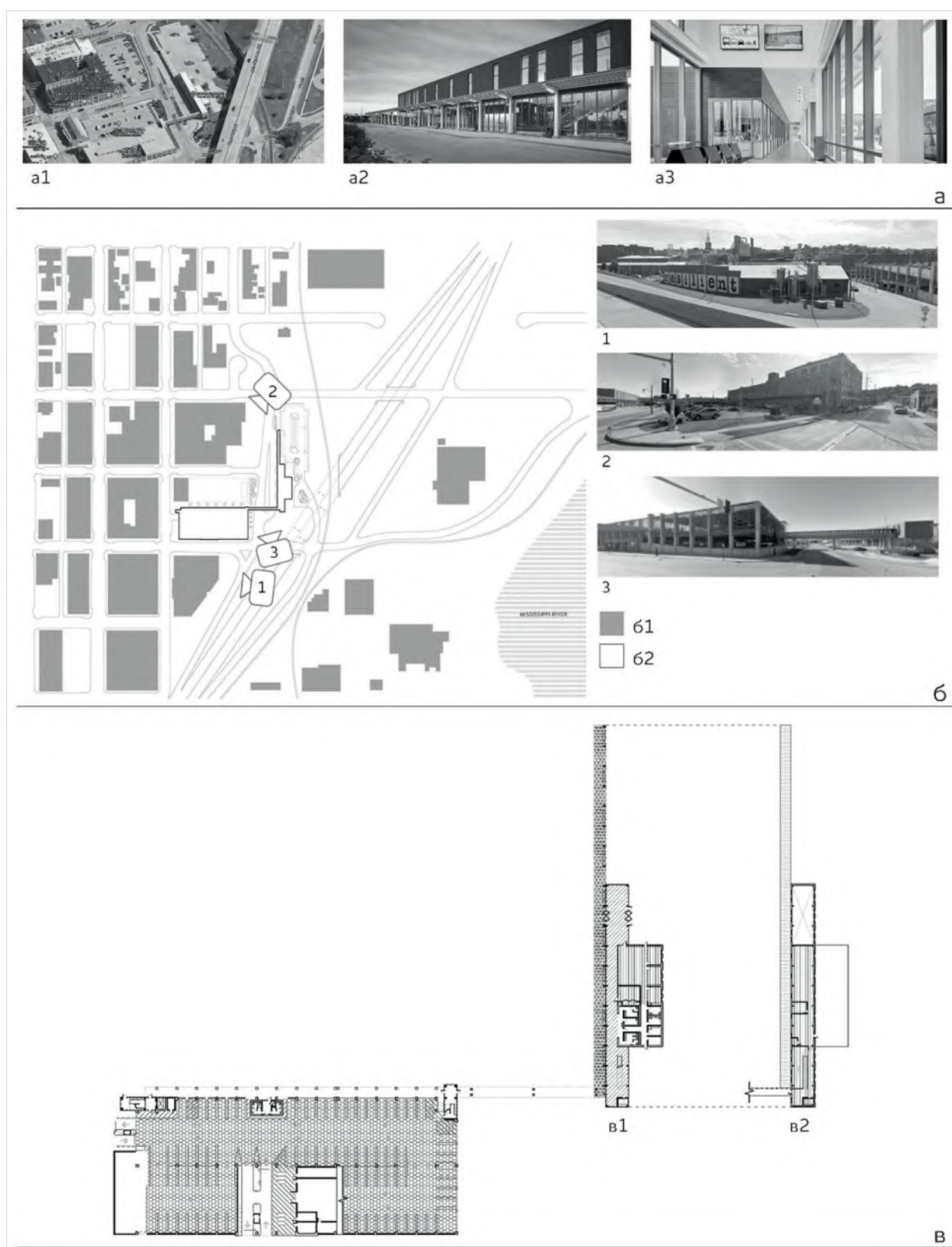


Рис. 2. а) Изображения Интермодального центра Дубьюк; а1 — силуэт здания; а2 — фрагмент фасада; а3 — интерьер. б) План местности, окружающей ТПУ с указанием точек фотофиксации и их представление (3 вида); б1 — существующая застройка; б2 — Интермодальный центр Дубьюк. в) Схема функционального зонирования комплекса зданий интермодального центра Дубьюк с использованием штриховой кодировки, (см. таблицу 1); в1 — 1 этаж; в2 — 2 этаж

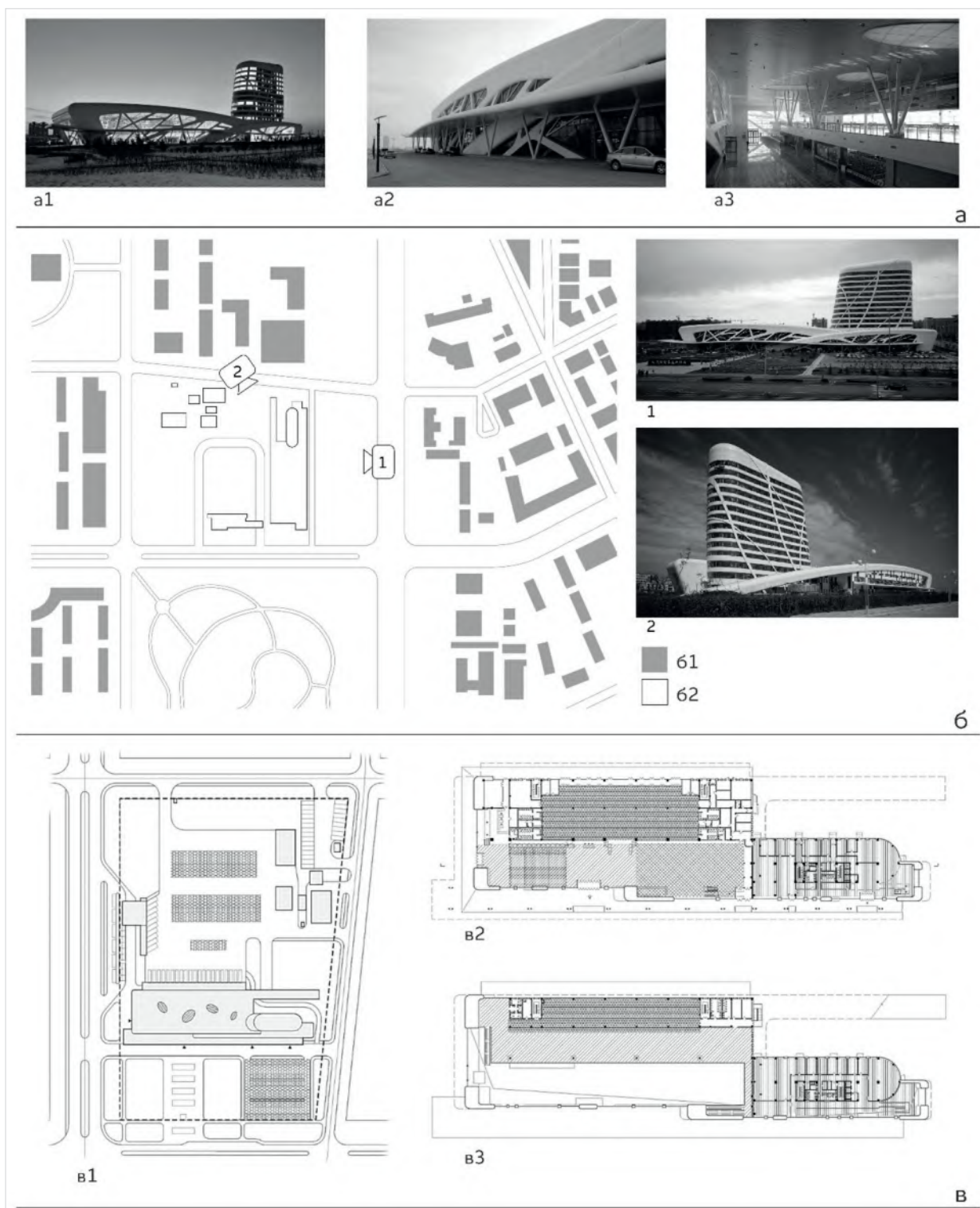


Рис. 3. а) Изображения Узла пассажирских перевозок по шоссе Дацин; а1 — силуэт здания; а2 — фрагмент фасада; а3 — интерьер. **б)** План местности, окружающей ТПУ с указанием точек фотофиксации и их представление (2 вида); б1 — существующая застройка; б2 — Узел пассажирских перевозок по шоссе Дацин. **в)** Схема функционального зонирования комплекса зданий Узла пассажирских перевозок по шоссе Дацин с использованием штриховой кодировки, (см. таблицу 1); в1 — генеральный план территории УПП по шоссе Дацин; в2 — главное здание, 1 этаж; в3 — главное здание, 2 этаж

*Транспортно-пересадочный узел «Планерная»*⁵. Россия, Москва, 2008 г., площадь 50.000 м², количество машиномест — 600 (21000 м²), архитектурное бюро «Четвертое измерение». Здание ТПУ «Планерная» возведено в окружении жилых и производственных зданий застройки советского времени, являясь архитектурной доминантой. Организация объемно-пространственной структуры транспортно-пересадочного узла «Планерная» преследует следующие цели:

- оптимизация пешеходных потоков для пассажиров, которые выполняют пересадку, возможность посетить различные объекты обслуживания, а также, при желании, полностью миновать их;
- размещение удобной и достаточно протяженной инфраструктуры для высадки-посадки пассажиров на различные виды наземного транспорта;
- реализация комфортных зон ожидания для пассажиров;
- разделение потоков пассажиров, пользующихся городским и коммерческим транспортом.

ТПУ «Планерная» в своем составе имеет 5 этажей. В данной компоновке, четвертый и пятый этажи — отведены перехватывающей парковке. Подвальный этаж (–1), разместил в себе супермаркет и прочие коммерческие объекты. Высадка и посадка пассажиров реализована на уличных платформах, доступ к которым возможен только через 1-й и 2-й этажи здания. Таким образом, одно здание выполняет не только функции вокзала с зонами ожидания, но и ряд других важных социальных функций (*рис. 4*).

Анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования транспортно-пересадочных узлов, позволяет определить следующие особенности. Размещение ТПУ в городе — ситуационное, поскольку обуславливается наличием активных узлов структуры города, где существует пересечение двух и более видов транспорта для пассажиров. В таких местах остро необходимо наличия особого пространства для быстрой и комфортной, а главное, безопасной пересадки пассажиров. Благодаря большой концентрации людей в одном месте, целесообразно насыщать ТПУ административными, торговыми и рекреационными функциями. Такой набор функций позволяет характеризовать транспортно-пересадочный узел, как многофункциональный центр. Это в свою очередь, способствует формированию центров притяжения для населения в виде ТПУ. Расширяющееся функциональное насыщение, в свою очередь, требует возрастания этажности, поскольку помимо транспортной инфраструктуры, в составе ТПУ появляются целая категория объектов, не связанных с перевозкой пассажиров. Это общественные пространства, коммерческие объекты, административные, офисные помещения и другие. В объемно-пространственной структуре транспортно-пересадочных узлов, четко отслеживается деление пространства, а также функциональное зонирование, как вертикальное, так и горизонтальное. Такое деление позволяет эффективно управлять пешеходными потоками и транспортной инфраструктурой, дополнительно включить в процесс коммерческие и социальные объекты для пассажиров. Планировочные решения служат поставленным целям и формируют быструю, беспрепятственную и безопасную смену транспорта, другие социальные функции. В функциональном зонировании рассмотренных транспортно-пересадочных узлов, существуют особенности, причисляющие их к одной категории объектов. Такой особенностью является логика наполнения зданий и территорий ТПУ различными объектами социального и коммерческого назначения. Среди них общественные пространства, коммерческие павильоны, точки предприятий общепита, зоны обслуживания пассажиров (билетные кассы), зоны ожидания транспорта, офисные, административные помещения, стоянки автотранспорта. Сравнение наличия схожих функциональных зон у исследуемых транспортно-пересадочных узлов приведено в *таблице 2*.

⁵ Источник информации: URL <https://archi.ru/projects/russia/9961/transportno-peresadochnyi-kompleks-planernaya>

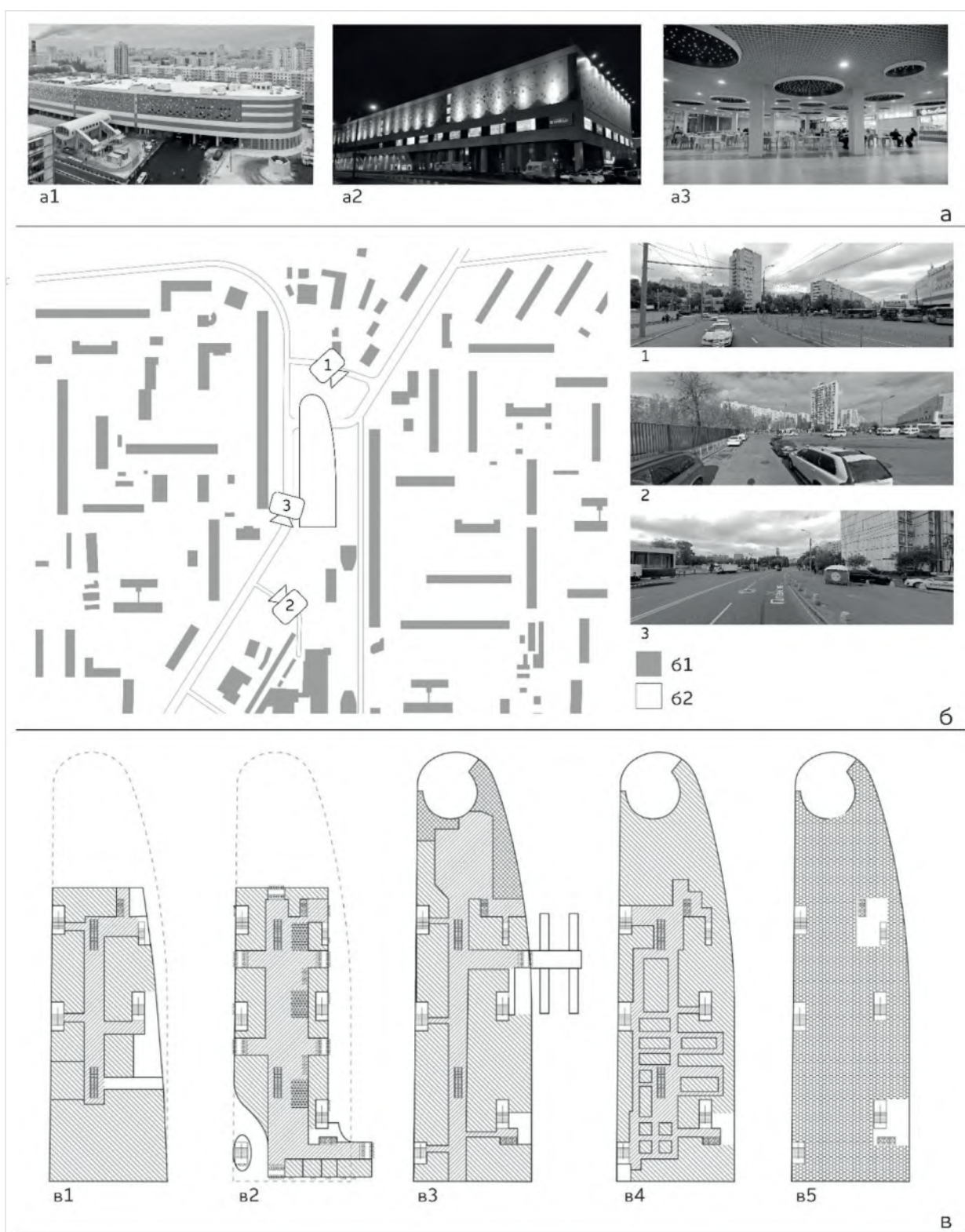


Рис. 4. а) Изображения транспортно-пересадочного узла «Планерная»; *a1* — силуэт здания; *a2* — фрагмент фасада; *a3* — интерьер. **б)** План местности, окружающей ТПУ с указанием точек фотофиксации и их представление (3 вида); 61 — существующая застройка; 62 — ТПУ «Планерная». **в)** Схема функционального зонирования ТПУ «Планерная» с использованием штриховой кодировки, (см. таблицу 1.); *в1* — (-1) этаж; *в2* — 1 этаж; *в3* — 2 этаж; *в4* — 3 этаж; *в5* — 4 и 5 этажи.

Таблица 2

Сравнение наличия схожих функциональных зон у исследуемых транспортно-пересадочных узлов

Штриховая кодировка							
Сравниваемые функциональные зоны Рассмотренные ТПУ	Общественные пространства	Коммерческие павильоны	Точки общепита	Билетные кассы	Зоны ожидания транспорта	Офисные, административные помещения	Стоянки автотранспорта
ТПУ Сакра Селарас, Индонезия, 2021г.	да	да	н/д	да	да	да	нет
Интермодальный центр Дубьюк, США, 2016 г.	да	нет	нет	н/д	да	да	да
Узел пассажирских перевозок по шоссе Дацин, Китай, 2010 г.	да	н/д	да	да	да	да	да
ТПУ Планерная, Россия, 2008 г.	да	да	да	да	да	нет	да

По наличию или отсутствию каких-либо функциональных зон, можно судить о некоторых параметрах транспортно-пересадочного узла. Например, кол-во парковочных мест говорит о пропускной способности ТПУ, а также, является ли данная стоянка транспорта — перехватывающей парковкой. Наличие площадей, выделенных для билетных касс и связанным с этим обслуживанием пассажиров, позволяют судить не только о кол-ве пассажиропотока. Также, наличие билетных касс может свидетельствовать о том, что транспортные перевозки в данном ТПУ не принадлежат к одной транспортной сети.

Особенности формирования объемно-пространственной структуры транспортно-пересадочных узлов доказывают, что на сегодняшний день, возможно создание уникального городского объекта, в котором будет реализовано сочетание не только элементов транспортной инфраструктуры, но и созданы условия для обеспечения многих потребностей жизнедеятельности людей. Современные транспортно-пересадочные узлы становятся центрами городской активности. Часто, они являются архитектурной доминантой, формируя градостроительный облик, создают новые рабочие места, помогают в развитии транспортной доступности района.

Заключение

На основании проведенного анализа зарубежного и отечественного опыта проектирования транспортно-пересадочных узлов сделаны выводы:

- особенности функционального зонирования основаны на принципах multifunctionality, что позволяет пассажирам скрасить время ожидания своего транспорта;
- грамотная реализация объемно-пространственной структуры ТПУ, позволяет горожанам с легкостью ориентироваться в здании, реализует комфортную и безопасную пересадку с одного вида общественного транспорта на другой;

- транспортно-пересадочные узлы сегодня — многофункциональные центры. Они совмещают транспортные и общественные функции, поэтому могут являться местами притяжения людей и центрами городской активности.

Результаты

Рассмотрен опыт проектирования четырех транспортно-пересадочных узлов в различных странах мира. Среди них такие страны как Россия, США, Индонезия и Китай. Определены особенности и значение функционального зонирования при комплектовании объемно-пространственной структуры в городских транспортных инфраструктурных объектах для пассажиров.

Выводы

Несмотря на то, что все рассмотренные ТПУ объединяет прежде всего их транспортная функция, существуют и определенные отличия. Они обусловлены следующими ключевыми факторами:

- особенности расположения в черте города и напрямую связанные с этим размеры и объемы транспортного объекта;
- различная номенклатура видов общественного транспорта, используемого для пересадки пассажиров;
- наличие или отсутствие в составе ТПУ объемов, связанных с транспортной инфраструктурой, а также не относящейся к ней.

Реализация ТПУ в черте города ставит перед архитекторами непростую задачу, поскольку зачастую, из-за стесненности территории в виду уже существующей застройки, приходится возводить многоэтажные сооружения. Примером могут послужить *узел пассажирских перевозок по шоссе Дацин, Китай* и *ТПУ Планерная, Россия*. В случае российского ТПУ, помимо его высотности, использованы еще и подземные объемы. Такой подход реализован не только для экономии места, но и в виду того, что среди задействованного транспорта для пассажиров, используется подземное метро. Помимо сложностей проектирования в стесненных городских условиях, важно грамотно «вписать» транспортный объект в ткань города, учитывая исторические и культурные предпосылки. Среди примеров, это *ТПУ Сакра Селарас, Индонезия* и *Интермодальный центр Дубьюк, США*.

Помимо транспортных функций, ТПУ являются еще и социальными объектами, по этой причине необходимо их насыщение объемами, не связанными с транспортной инфраструктурой. Это общественные пространства, коммерческие павильоны, предприятия общепита, офисы и административные помещения. Реализация такой парадигмы, позволяет стать им центрами городской активности, центрами притяжения для горожан.

Из-за роста городов и увеличения транспортных потоков в них, прослеживается явная тенденция на увеличение количества ТПУ, расширения номенклатуры общественного транспорта, используемого пассажирами. Поэтому, устоявшиеся принципы зонального деления объемов ТПУ, могут и будут меняться. Пример — *ТПУ Планерная*, где перехватывающая парковка расположена не как обычно, на уровне земли и ниже, а наоборот, вынесена на верхние этажи здания.

Вместе с этим, основные требования для комфортного и безопасного пребывания горожан и пересадки пассажиров в ТПУ, должны неукоснительно соблюдаться. Прежде всего — это разделение потоков, возможность для пассажиров посетить культурные, коммерческие и другие объекты в составе ТПУ, либо же полностью миновать их, не теряя времени. Такой подход позволит увеличить пропускную способность транспортно-пересадочных узлов, повысить их привлекательность, обеспечит создание новых рабочих мест и решение ключевой инфраструктурной задачи города, такой как улучшение транспортной доступности.

Библиографический список

1. Азаренкова З. В. Транспортная составляющая социальных стандартов качества жизни в градостроительстве // Жилищное строительство. 2011. Вып. 8. С. 49 – 53.
2. Азаренкова З. В. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов // Academia/ Архитектура и строительство. 2011. Вып. 1. С. 76 – 80.
3. Булгакова Е. А., Савичева А. А. Современные тенденции проектирования транспортно-пересадочных узлов в инфраструктуре мегаполиса // Евразийский союз ученых. 2015. Т. 13, № 4-9. С. 155 – 157.
4. Тахирай, Гледьян. Классификация транспортно-пересадочных комплексов // Молодой ученый. 2022. — № 17 (412). — С. 51 – 54.
5. Власов Д. Н. Транспортно-пересадочные узлы. // Издательство МИСИ-МГСУ, 2017. 193 с.
6. Шаймарданова К. А., Прокофьев Е. И. Интеграция транспортно-пересадочных узлов в городскую среду // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Вып. 4. С 153 – 162.

THE IMPORTANCE OF FUNCTIONAL ZONING FOR THE FORMATION OF A SPATIAL STRUCTURE IN TRANSPORT HUBS

S. A. Safronov*
N. S. Kalinina*/**

* RUDN University, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

** Moscow Architectural Institute, State Academy, Moscow

Abstract

Examples of solutions for transport hubs in developed and developing countries are studied. The features of their functional zoning, as well as the prerequisites and conditions for the formation of centers of attraction for the population are analyzed.

The Keywords

Architecture of transport hubs, urban transport network, intermodal hubs, urban activity centers.

Date of receipt in edition

19.12.2024

Date of acceptance for printing

22.12.2024

Ссылка для цитирования:

С. А. Сафронов, Н. С. Калинина. Значение функционального зонирования для формирования объемно-пространственной структуры в транспортно-пересадочных узлах. — Системные технологии. — 2024. — № 4 (53). — С. 206 – 217.

Р типография иасофт

рекламная продукция

постеры, флаера, листовки, буклеты, брошюры

полиграфическая продукция бизнес-сферы

конверты, визитки, фирменные бланки, календари, папки

книжно-журнальная продукция

журналы, книги

сувенирная продукция

календари, приглашения, открытки

**Компания оказывает услуги типографии по всей России
Мы работаем без выходных**

**Наш адрес: Респ. Дагестан, г. Махачкала,
пр. Акушинского, д. 28 "П"**

Тел. 8 962 999-52-51

8(8722)515254

**высокое
качество**



**минимальные
сроки**

