

# Системные технологии

научно-практический журнал

---

1 [50] 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 Издаётся с 2011 г. Выходит 1 экземпляр в квартал Подписной индекс 45040	Scientific practical journal Published 2011 Issue every 3 month Index 45040
<p><b>Журнал «Системные технологии»</b> 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. <b>Журнал входит в систему РИНЦ, CyberLeninka, ВИНТИ РАН.</b> 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.</p>	

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

## The editorial Board

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

## СТРОИТЕЛЬСТВО

<b>М. В. Мозголов, В. В. Костюков</b> О сходимости решений моделей вычислительного комплекса SCAD из трехгранной призмы первого порядка. Часть 2. h-метод.....	5
<b>О. Г. Примин</b> Планирование восстановления трубопроводов городской водопроводной сети.....	20
<b>Р. Р. Шарипов, А. А. Парусов</b> Сравнение актуальных методов активации водно-цементных суспензий при производстве бетонов.....	29
<b>V. V. Lalin, H. H. Ngo, A. M. Vavilova</b> A finite element force method applied to free vibration of rod systems.....	34
<b>И. И. Павлинова, Е. В. Макиша, И. К. Дмитриев</b> Водосбережение в системе внутреннего водоснабжения многоквартирного жилого дома.....	47
<b>А. П. Андрианов, Р. Е. Хургин</b> Анализ нарушений нормальной работы водоотводящей сети и показатели ее надежности.....	54
<b>В. К. Мусаев</b> Моделирование напряженного состояния десятиэтажного здания (полное разрушение перекрытия первого этажа) при внешнем ударном воздействии на поверхности полуплоскости.....	62
<b>М. А. Фахратов, А. А. Осадчий</b> Особенности строительства монолитных жилых зданий в стесненных условиях.....	75
<b>Д. А. Шевченко</b> Брендинг строительной фирмы.....	84
<b>М. О. Аллаев</b> Оптимизация зондировочных испытаний при оценке несущей способности висячих свай.....	94
<b>Э. Р. Абдуллаев, Г. Э. Окольников</b> Влияние композитного армирования на повышение эксплуатационных характеристик асфальтобетонных аэродромных и дорожных покрытий.....	103
<b>Н. А. Залётова, С. В. Залётов</b> Технологическая подготовка к проектированию реновации очистных сооружений канализации.....	110
<b>М. В. Мозголов, Г. Э. Окольников</b> К вопросу оценки точности решений моделей метода конечных элементов на примере расчета консольной балки.....	118
<b>Г. Э. Окольников, М. Е. Ершов, А. С. Малафеев</b> Обследование и оценка остаточной несущей способности конструкций студенческого общежития.....	129
<b>И. А. Синянский, В. В. Пименов, О. А. Стифеева</b> Результаты наблюдений за санитарным состоянием водных объектов столицы, используемых для приема очищенных сточных вод, после строительства канала имени Москвы.....	138

## АРХИТЕКТУРА

**М. А. Гранстрем, Е. Гоюн**

Прогрессивные тенденции в архитектуре Гуанчжоу колониального периода — с 1840 по 1949 гг.....144

**И. В. Дёма, Л. В. Петрова**

Объемно-пространственная организация жилых комплексов  
для активизации взаимодействия прибрежной территории  
и акватории (на примере полуострова ЗиЛ в городе Москве).....152

**О. С. Пчелинцев, О. А. Пастух**

Особенности выбора территории для проектирования  
горнолыжного туристического комплекса в Арктической зоне.....162





УДК 624.01

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_5-19

## О СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЙ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА SCAD ИЗ ТРЕХГРАННОЙ ПРИЗМЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА. ЧАСТЬ 2. h-МЕТОД

М. В. Мозголов

В. В. Костюков

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

### Аннотация

В докомпьютерный период проектирование строительных конструкций зданий и сооружений, а также изучение напряженно-деформированного состояния их оснований, выполнялось при помощи традиционных инженерных методов расчета, основанных на известных аналитических решениях. Аналитические способы позволяют вычислять нормативные усилия, напряжения и перемещения без учета многих особенностей работы строительной системы. Компьютерный анализ на основе метода конечных элементов во многих случаях позволяет это сделать. Расчет можно разделить на три уровня степени детализации, являющиеся ступенями последовательного уточнения напряженно-деформированного состояния. Библиотеки программных комплексов включают в себя линейные, плоские, объемные и специальные конечные элементы.

При изучении сложных конструкций линейные элементы, как правило, применяются на первом уровне, плоские и объемные на втором, объемные, а также комбинации всех типов конечных элементов на третьем. Достоверность полученного результата зависит от типа конечного элемента, вида и плотности сетки конечно-элементного разбиения. Преимуществом треугольных и тетраэдрических конечных элементов является возможность представления сложной геометрии расчетной модели, хотя такие элементы первого порядка к применению нормами не рекомендованы.

Целью работы является изучение сходимости шестиузловой трехгранной призмы первого порядка КЭ № 33 BK SCAD.

В работе рассматриваются два типа моделей шарнирно-опертой балки, отличающиеся между собой пространственным расположением конечных элементов и их размерами, равными: 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 высоты и ширины конструкции.

У шестиузловой прямой трехгранной призмы КЭ № 33 BK SCAD сходимость зависит от пространственного расположения элемента. При хорошей геометрии конечных элементов с коэффициентом формы 1,15 и наихудшем их расположении по отношению к усилиям, для получения результатов напряжений с ошибкой до 5% конечно-элементная сетка должна быть мелкой, равной не более 1/16 характерного размера конструкции. Достоверность деформаций обеспечивается более крупной сеткой конечно-элементного разбиения, равной 1/8.

### Ключевые слова

BK SCAD, верификация, сходимость результата, конечный элемент, напряжения, перемещения, изгибающий момент, твердотельная модель

### Дата поступления в редакцию

05.02.2024

### Дата принятия к печати

15.02.2024

## Введение

В докомпьютерный период проектирование несущих строительных конструкций зданий и сооружений, а также изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) их оснований, выполнялось при помощи традиционных инженерных методов расчета, основанных на известных аналитических решениях. Аналитические способы позволяют вычислять нормативные (номинальные) усилия, напряжения и перемещения. Они не учитывают: концентрацию напряжений; эффекты стеснения деформаций при кручении и изгибе; дефекты и несовершенства форм конструкций; геометрическую и физическую нелинейность; этапность возведения объекта; поведение грунта при нагружении; сложные инженерно-геологические условия; анизотропию свойств материала, его упрочнение и ползучесть; свойства грунта, зависящие от времени - консолидацию и релаксацию; появление, распределение и рассеивание избыточных поровых давлений в грунте и др. [1, 2]. Расчет на компьютере в программных комплексах, основанных на методе конечных элементов (МКЭ) в некоторых случаях позволяет это сделать. В тоже время, имеются и трудности. Так например, при решении геотехнических задач в работе [2] отмечается, что: «Использование МКЭ требует намного больше времени и затрат, чем «традиционные» методы проектирования...; «Традиционные» методы проектирования, не использующие МКЭ, обычно быстрее и дешевле, однако в их основе всегда имеются существенные допущения...; Следует помнить что само по себе использование МКЭ не гарантирует точности результата». Выполнение нормативных требований расчета конструкций обеспечивается изучением грубой расчетной модели, ее уточнение может приводить к менее экономичным решениям, что является парадоксальной ситуацией [3]. В работе [4] исследуется плитная сталежелезобетонная конструкция междуэтажных перекрытий и фундаментов, в опорной зоне которой установлены вертикальные стальные пластины, существенно повышающие несущую способность на продавливание. Отмечается, что близкое к действительному НДС таких конструкций можно получить при помощи решения объемной задачи теории упругости, моделируя бетон и грунтовое основание — объемными, стальные листы — оболочечными, арматуру — стержневыми конечными элементами. Другие способы моделирования, а также применение коэффициентов постели приводят к неверному расчету и могут использоваться только при расчете осадки. Аналогичный вывод при выполнении геотехнических расчетов приведен в [2, с. 172]: «Использование стержневых и/или плитных элементов для моделирования конструкций является распространенным упрощением, которое содержит ошибку».

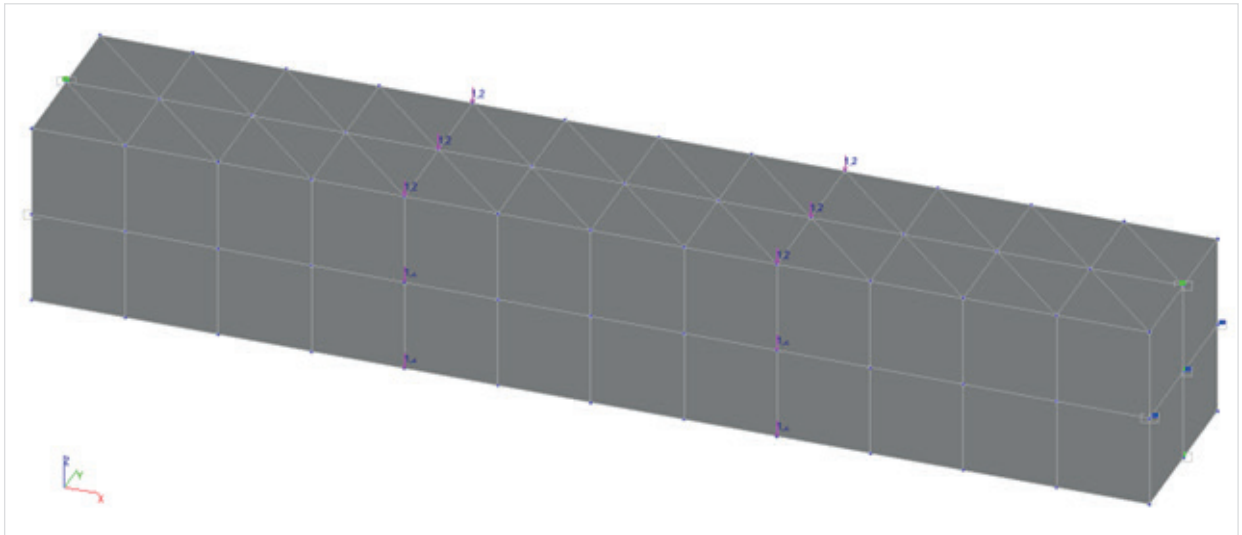
В работе [1, с. 25] представлены данные расчета напряжений в сварных швах стальной конструкции, которые разделены на три уровня степени детализации, являющиеся ступенями последовательного уточнения НДС. Первый уровень — номинальный, второй — конструктивный, третий — локальный. Третий уровень расчета показал, что напряжения в отдельных точках изучаемого узла превышают напряжения первого уровня более, чем в три раза. Возникает вопрос: как это учитывать в соответствии с нормативными требованиями? Уточненный результат часто приводит к менее экономичному решению [3]. Номинальные напряжения получают на моделях, состоящих из одномерных конечных элементов (КЭ). Данный этап расчета удобен на начальной стадии проектирования. Второй уровень детализации моделируется двумерными (пластинчатыми) или трехмерными (объемными) конечными элементами, которые называют еще твердотельными. В этом уровне размер твердотельных элементов ограничивается  $(1 \div 2)t$ , где  $t$  — толщина проката. Третий уровень детализации моделируется объемными конечными элементами, а их размер должен быть значительно меньше толщины проката [1]. Расчеты металлических конструкций со сложными узлами рекомендуется выполнять с использованием объемных конечных элементов в физически нелинейной постановке задачи [5].

В соответствии с требованиями п.п. 5.3.1 ГОСТ Р 57700.10-2018 [6] при моделировании твердотельными элементами тонкостенных конструкций, количество элементов по толщине должно быть не менее трех. Решение трехмерных задач методом конечных элементов охватывает почти все практические случаи [7]. Для получения наиболее полной информации об объекте исследования конструкцию рекомендуется моделировать целой серией конечно-элементных моделей (КЭМ) (стратов) [8], каждая из которых будет посвящена другой характеристике сооружения или конструкции, при этом парируются возможные ошибки расчетных схем [3]. При таком подходе выполняется верификация моделей, поиск правильного решения [9, 10]. Таким образом, при выполнении расчетов строительных конструкций с использованием МКЭ в моделях необходимо применять разные типы конечных элементов: линейные, плоские, объемные, их сочетания. Плотность сетки конечно-элементного разбиения влияет на уровень изучения НДС конструкции, достоверность полученного результата, возможности ЭВМ справиться с поставленной задачей. При этом от способа разбиения, а также типа конечного элемента зависит скорость сходимости результата [3, 6–17]. Например, в соответствии с п.п. 5.3.3, 5.3.4 [6] использование треугольных и тетраэдральных конечных элементов первого порядка при создании компьютерных моделей не рекомендуется. Модели из объемных КЭ рассматриваются в работах [4, 7, 10, 11, 13, 19–23]. В 1975 г. [7], 1993 г. [17] при применении МКЭ в области твердотельного моделирования отмечается о значительных трудностях, связанных не только с решателями, но и с возможностью компьютеров. На современном этапе развития ЭВМ часть вопросов, касающихся производительности процессоров и компьютерной памяти решено, поэтому как отдельные строительные конструкции, так и их критические зоны эффективно изучать при помощи решения объемной задачи теории упругости [4, 5, 10, 11, 21].

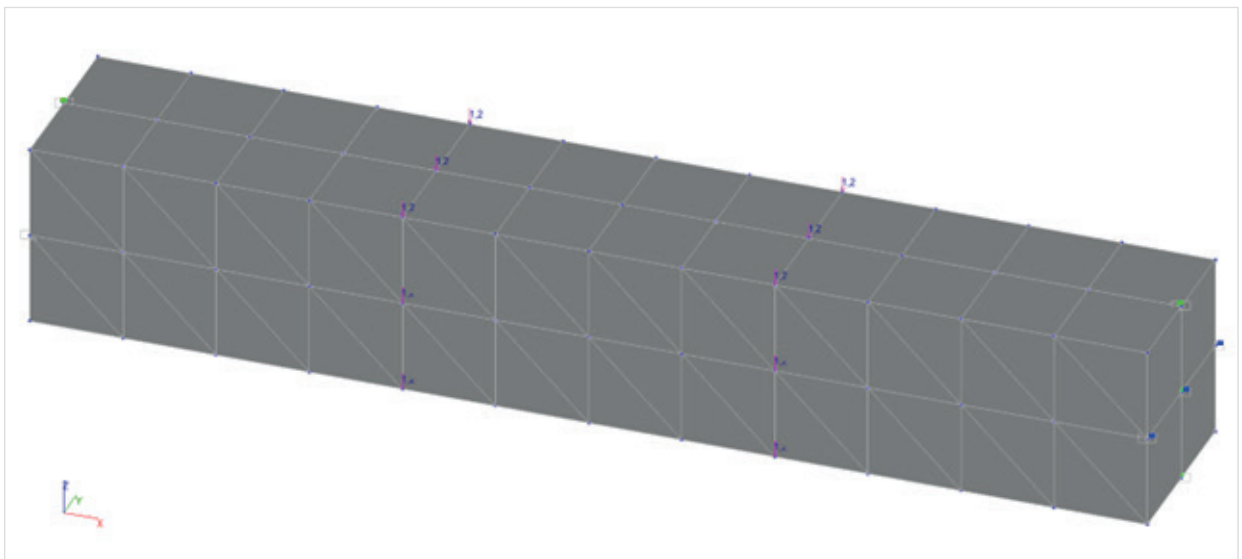
Данная работа является продолжением численного эксперимента по изучению сходимости шестиугольной прямой трехгранной призмы первого порядка КЭ № 33 вычислительного комплекса SCAD по двум ортогональным направлениям [23]. Преимуществом треугольных и тетраэдрических конечных элементов является возможность представления сложной геометрии расчетной модели. Такие элементы больше подходят для автоматических генераторов сетки [2]. Сходимость изучается при помощи  $h$  – метода [3,7,8,14-17] или критерия п.п. 5.4.3 [6]. Условием сходимости является совпадение полученных данных с данными известного аналитического расчета. Анализируются вертикальные перемещения и усилия – изгибающие моменты в середине балки, вычисленные по напряжениям, действующим на гранях конструкции [13].

#### Материалы и методы исследования

Рассматривается шарнирно опертая квадратная балка сечением 500×500 мм, длиной 3000 мм, выполненная из бетона класса В 15. Моделирование граничных условий осуществлено по средним линиям опорных граней конструкции. С целью получения больших деформаций и изучения их значений до двух знаков после запятой, жесткость конструкции снижена путем умножения начального модуля упругости бетона на коэффициент редуцирования 0,2. Одинаковое изменение жесткости всех элементов модели не влияет на распределение усилий или напряжений, но влияет на ее деформативность [9]. Сосредоточенные нагрузки по 11 Т, направленные вдоль вертикальной оси Z, равномерно распределены по узлам сечений, расположенных на расстоянии 1,0 м от опор конечно-элементных моделей (рис. 1, 2). При создании моделей, для обеспечения лучшей обусловленности матрицы [14], использовалась функция автоматической перенумерации узлов, предусмотренная в BK SCAD.



**Рис. 1.** Первый тип конечно-элементной модели. Размер стороны призмы 250 мм (1/2 характерного размера балки)



**Рис. 2.** Второй тип конечно-элементной модели. Размер стороны призмы 250 мм (1/2 характерного размера балки)

### **Основная часть**

Изучается два типа конечно-элементных моделей, отличающихся между собой пространственным расположением конечных элементов (**рис. 1, 2**). Модели как по высоте, так и по ширине разбиваются на одинаковое количество конечных элементов: 2, 4, 8, 16, 32. Таким образом, размер ребра призмы равен: 250 мм, 125 мм, 62,5 мм, 31,25 мм, 15,625 мм. Коэффициент формы всех конечных элементов 1,15, что укладывается в рекомендацию [15].

Изучаем поперечное сечение в середине пролета (**рис. 3, 4**). Находим усредненные фибровые напряжения в нижней и верхней зонах конструкции. Вначале усредняем по звезде элементов узла, затем по количеству узлов [3, 13]. Рассчитанные данные представлены в **таблице 1**.

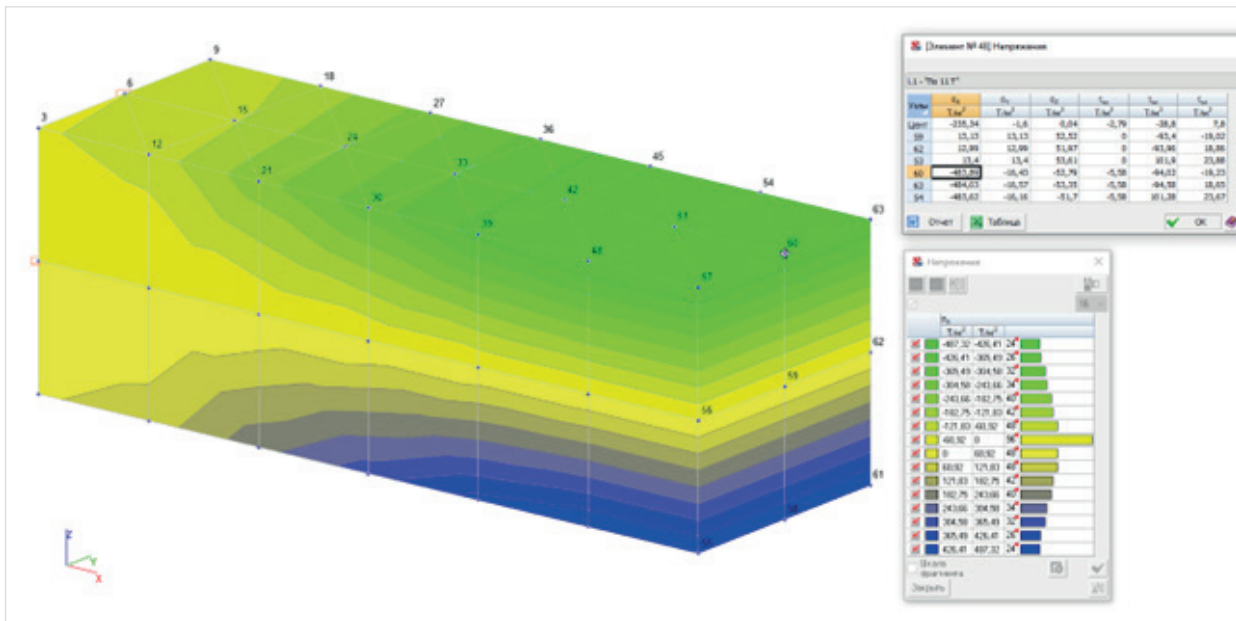


Рис. 3. Модель тип № 1 с размером сторон конечного элемента 250 мм. Поля напряжений  $\sigma_x$ . Напряжения в элементе № 48 верхней зоны балки

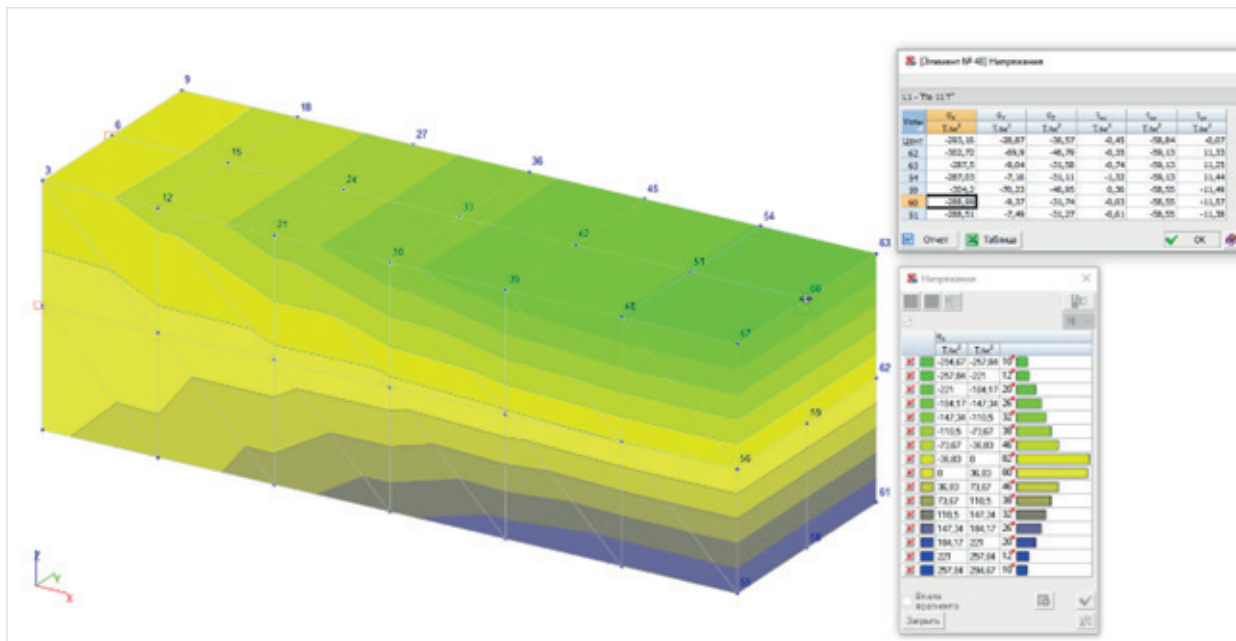


Рис. 4. Модель тип № 2 с размером сторон конечного элемента 250 мм. Поля напряжений  $\sigma_x$ . Напряжения в элементе № 48 верхней зоны балки

Вертикальные перемещения узлов твердотельных моделей с размером сторон конечного элемента 250 мм представлены на рис. 5, 6, с размером сторон 31,25 мм на рис. 7, 8. На рис. 9 представлены прогибы стержневой КЭМ. Теоретические значения прогибов балки  $f_{\max} = 4,59$  мм определены в работе [23].



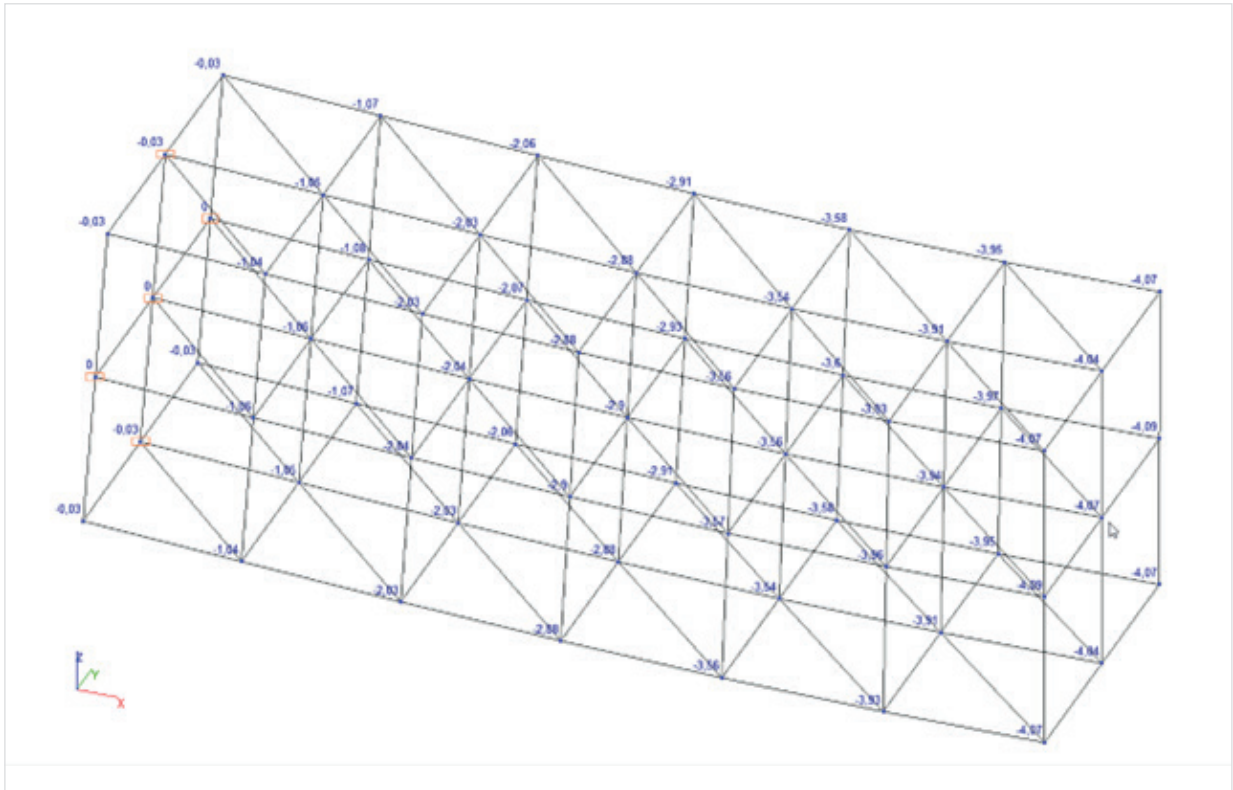


Рис. 5. Модель тип № 1 с размером сторон конечного элемента 250 мм. Вертикальные перемещения узлов,  $f_{\max} = 4,07$  мм. Показана левая половина конструкции

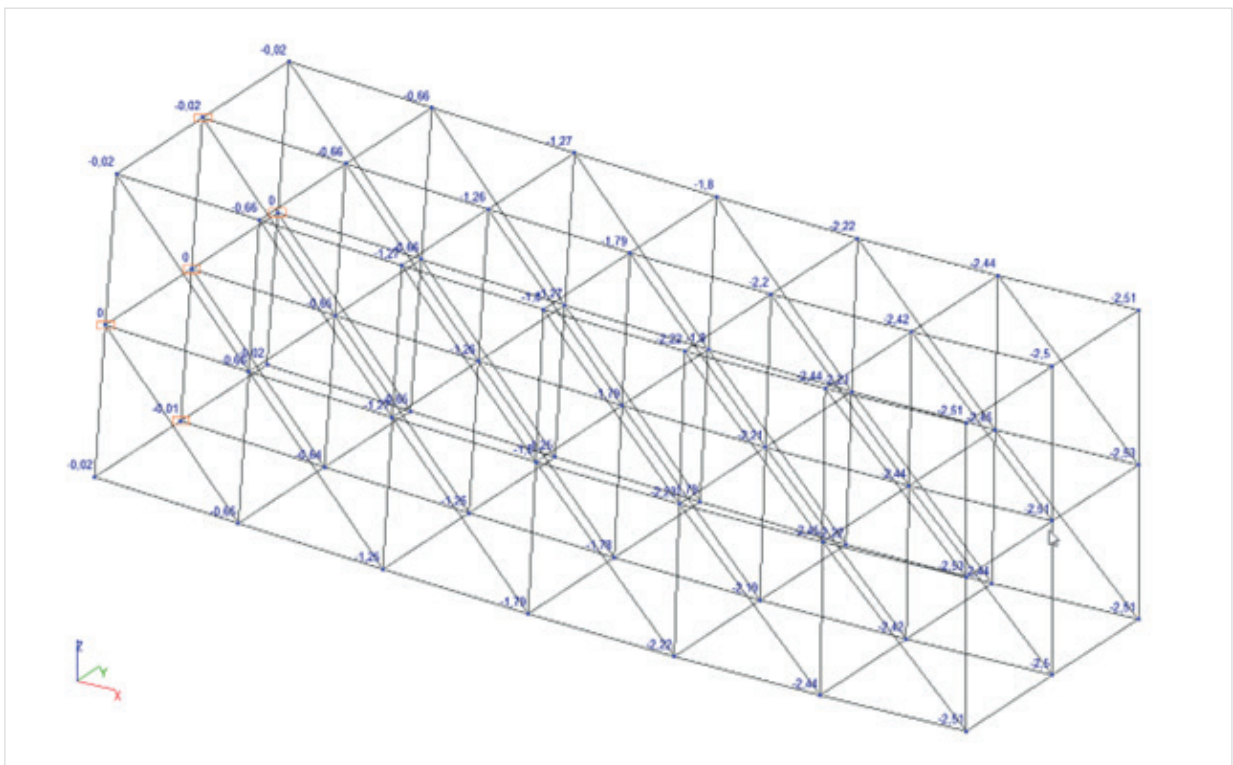


Рис. 6. Модель тип № 2 с размером сторон конечного элемента 250 мм. Вертикальные перемещения узлов,  $f_{\max} = 2,51$  мм. Показана левая половина конструкции

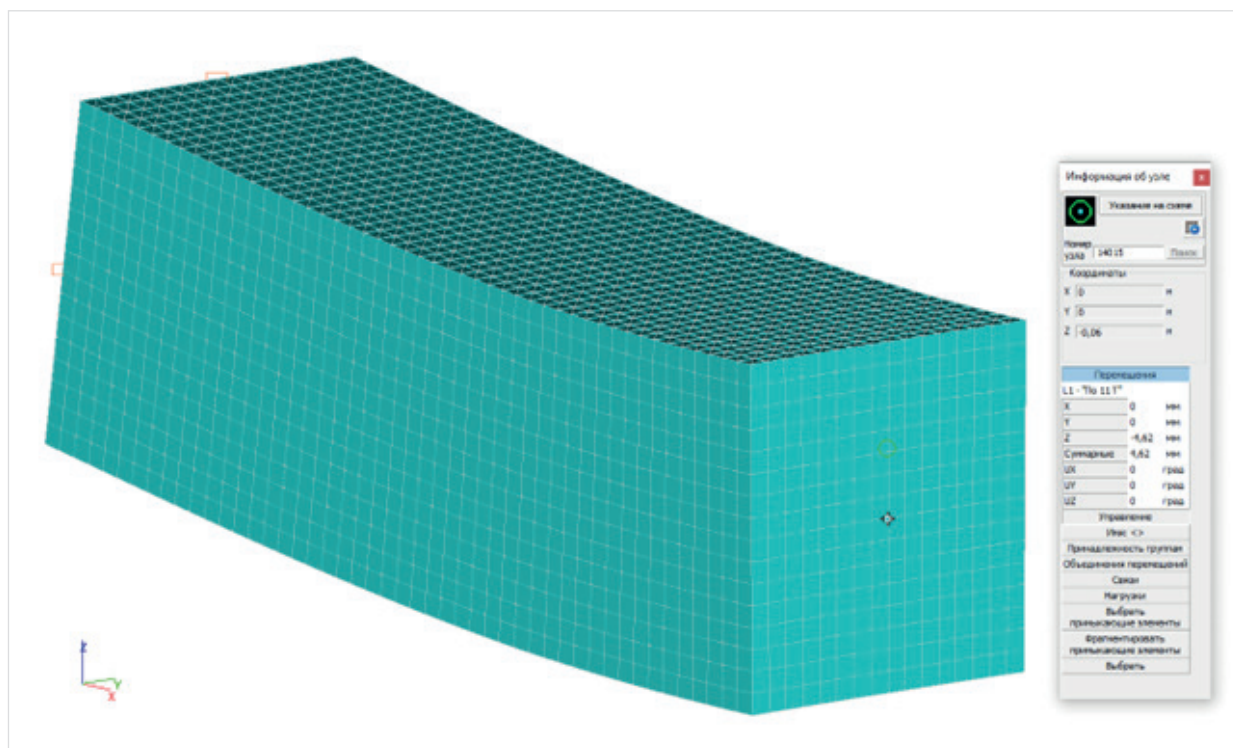


Рис. 7. Модель тип № 1 с размером сторон конечного элемента 31,25 мм. Прогиб  $f_{\max} = 4,62$  мм. Показана левая половина конструкции

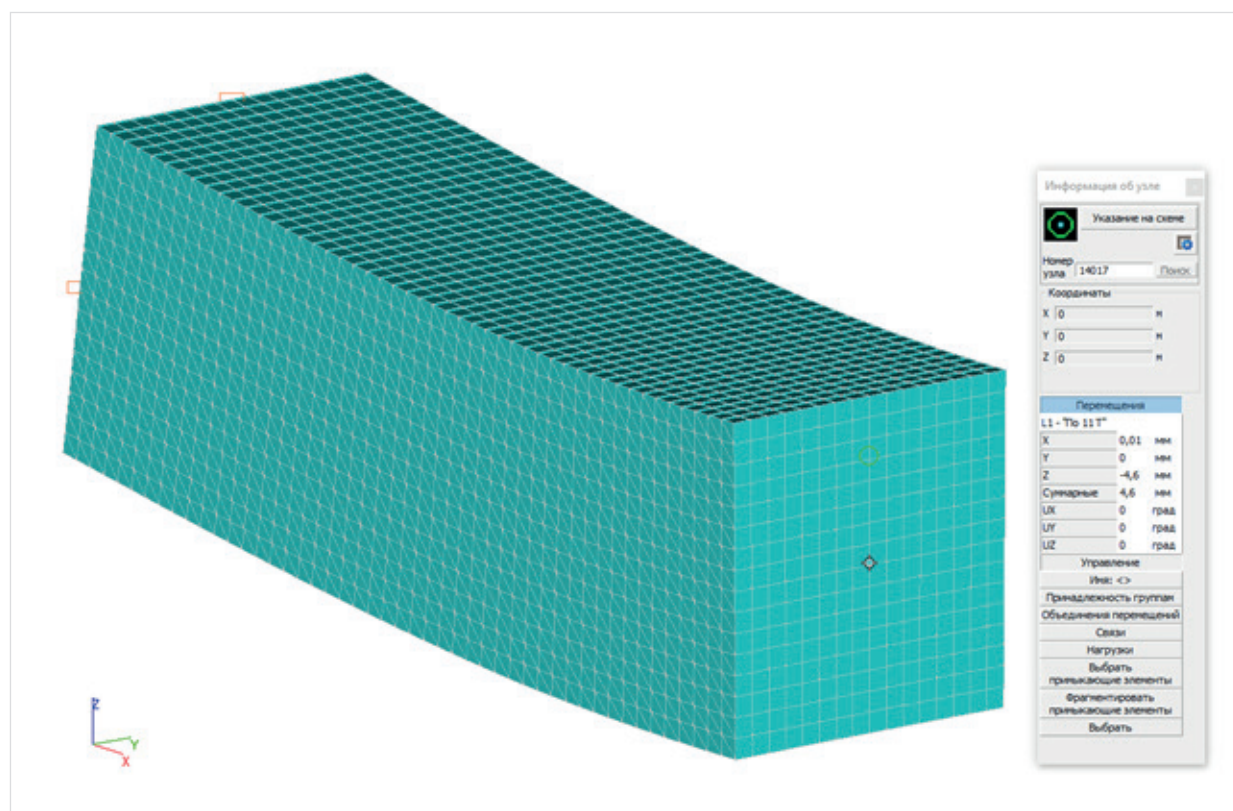


Рис. 8. Модель тип № 2 с размером сторон конечного элемента 31,25 мм. Прогиб  $f_{\max} = 4,6$  мм. Показана левая половина конструкции

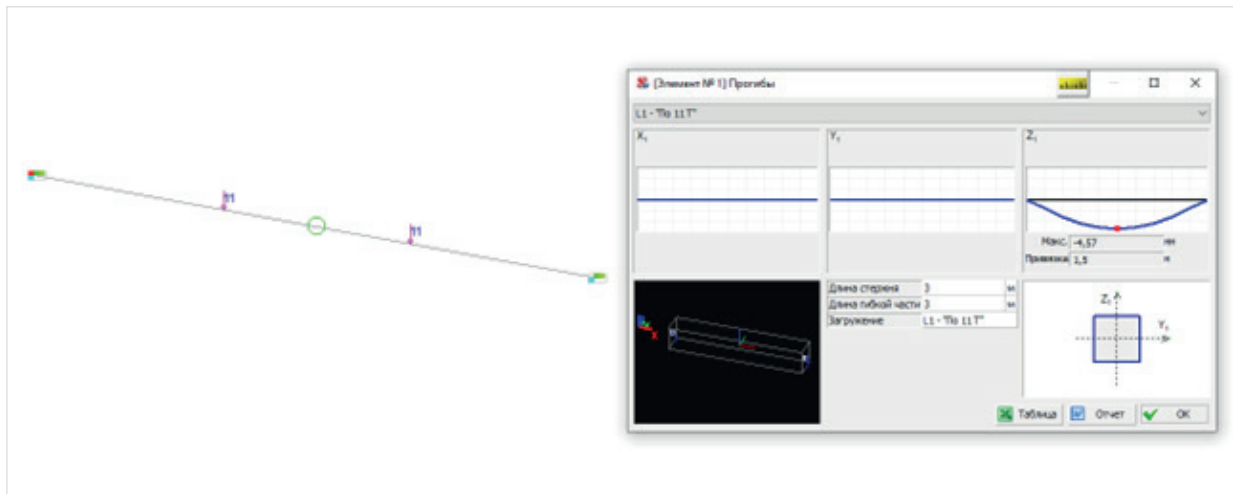


Рис. 9. Стержневая модель. Тип КЭ № 6 (стержень со сдвиговой жесткостью). Прогиб  $f_{\max} = 4,57$  мм

Таблица 1

Усредненные фибровые значения напряжений в конечных элементах поперечного сечения балок в середине пролета по верхним и нижним граням

№ типа модели (размер КЭ)	Напряжения	
	$\sigma_{xbt,max}$ , [Т/м <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xbc,max}$ , [Т/м <sup>2</sup> ]
№ 1 (250 мм)	486,6	- 486,6
№ 1 (125 мм)	520,1	- 520,1
№ 1 (62,5 мм)	527,8	- 527,8
№ 1 (31,25 мм)	528,8	- 528,8
№ 1 (15,625 мм)	528,7	- 528,7
№ 2 (250 мм)	184,5	- 184,5
№ 2 (125 мм)	358,7	- 358,7
№ 2 (62,5 мм)	457,5	- 457,5
№ 2 (31,25 мм)	506,2	- 506,2
№ 2 (15,625 мм)	514,9	- 514,9



Таблица 2

## Значения изгибающих моментов и прогибов моделей

№ типа модели (размер КЭ)	Изгибающий момент $M_y, Tм$	Отклонение изгибающего момента от теоретического значения, %	Прогиб середины, мм	Отклонение прогиба от теоретического значения, %
№ 1 (250 мм)	10,14	-7,82	4,07	-11,3
№ 1 (125 мм)	10,84	-1,45	4,45	-3,05
№ 1 (62,5 мм)	11,0	0	4,57	-0,44
№ 1 (31,25 мм)	11,01	+0,09	4,62	+0,65
№ 1 (15,625 мм)	11,01	+0,09	4,65	+1,3
№ 2 (250 мм)	3,84	-65,1	2,51	-45,32
№ 2 (125 мм)	7,47	-32,1	3,78	-17,65
№ 2 (62,5 мм)	9,53	-13,36	4,37	-4,8
№ 2 (31,25 мм)	10,55	-4,1	4,6	+0,21
№ 2 (15,625 мм)	10,73	-2,45	4,62	+0,65

Изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении, вычисляем по формуле [4, 23]:

$$M_y = I_y \times \frac{\sigma_{x_{bt}, \max} - \sigma_{x_{bc}, \max}}{h}, \quad (1)$$

Момент инерции  $I_y$  определен в работе [23].

Модель тип № 1 (250 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{486,6 + 486,6}{0,5} = 10,14 \text{ Тм}. \quad (2)$$

Модель тип № 1 (125 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{520,1 + 520,1}{0,5} = 10,84 \text{ Тм}. \quad (3)$$

Модель тип № 1 (62,5 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{527,8+527,8}{0,5} = 11,0 \text{ ТМ.} \quad (4)$$

Модель тип № 1 (31,25 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{528,8+528,8}{0,5} = 11,01 \text{ ТМ.} \quad (5)$$

Модель тип № 1 (15,625 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{528,7+528,7}{0,5} = 11,01 \text{ ТМ.} \quad (6)$$

Модель тип № 2 (250 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{184,5+184,5}{0,5} = 3,84 \text{ ТМ.} \quad (7)$$

Модель тип № 2 (125 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{358,7+358,7}{0,5} = 7,47 \text{ ТМ.} \quad (8)$$

Модель тип № 2 (62,5 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{457,5+457,5}{0,5} = 9,53 \text{ ТМ.} \quad (9)$$

Модель тип № 2 (31,25 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{506,2+506,2}{0,5} = 10,55 \text{ ТМ.} \quad (10)$$

Модель тип № 2 (15,625 мм).

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{514,9+514,9}{0,5} = 10,73 \text{ ТМ.} \quad (11)$$

Графики сходимости по изгибающему моменту и прогибу представлены на **рис. 10, 11.**

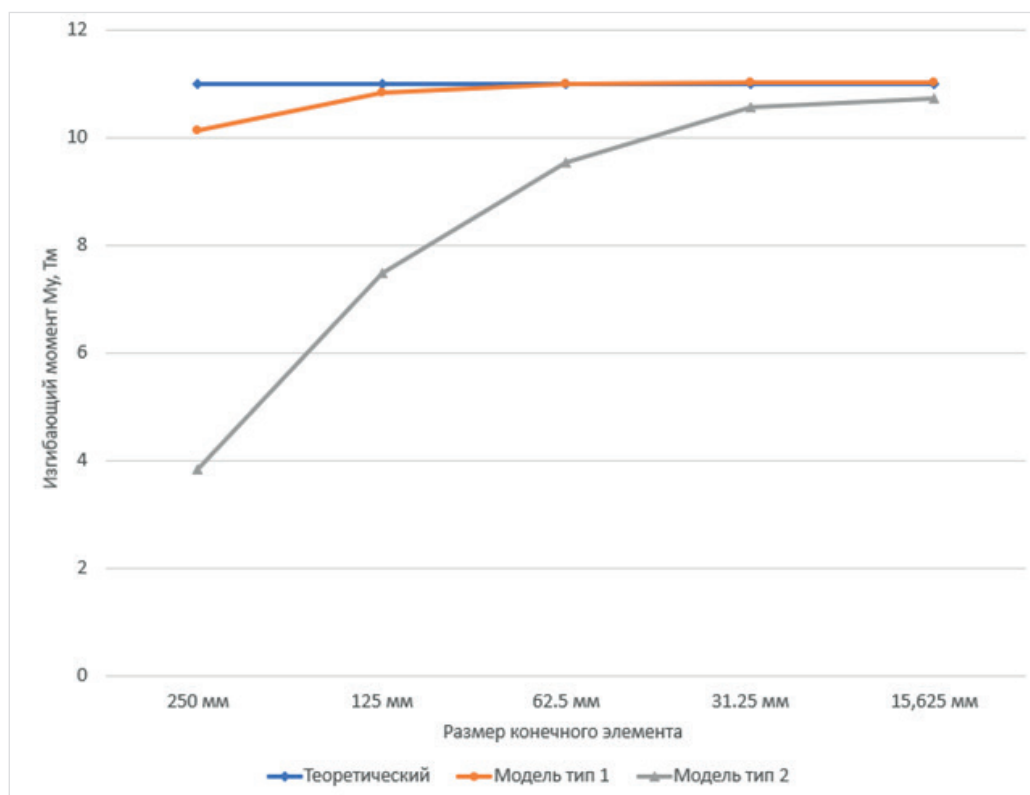


Рис. 10. График сходимости изгибающего момента

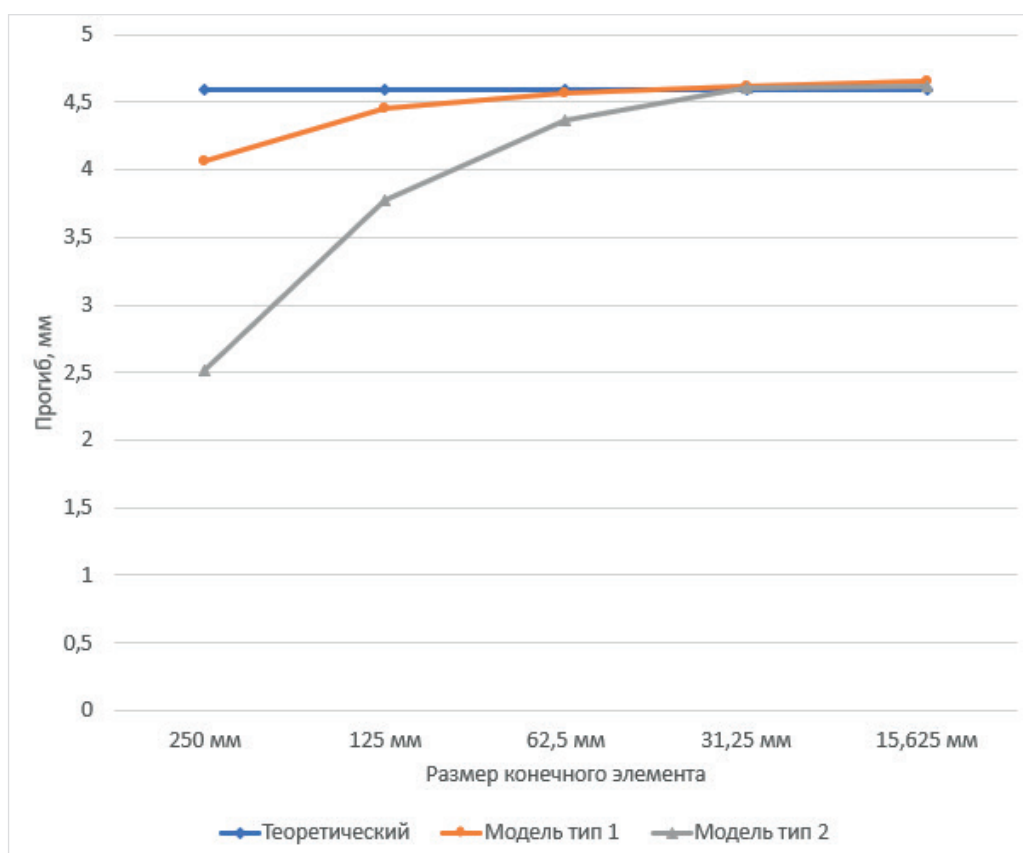


Рис. 11. График сходимости прогиба

Проведенный численный эксперимент на твердотельных моделях балок вычислительного комплекса SCAD, выполненных из объемного конечного элемента первого порядка — шестиузловых прямых трехгранных призм КЭ № 33 показал, что при хорошей геометрии конечных элементов с коэффициентом формы 1,15 и наихудшем их расположении по отношению к потокам усилий, а это может встретиться при сложном напряженно-деформированном состоянии конструкции, для получения результатов напряжений с необходимой точностью (ошибкой до 5%) конечно-элементная сетка должна быть мелкой, равной не более 1/16 характерного размера конструкции, что подтверждает рекомендацию  $ch/L = 1/20$  работы [24]. Аналогичные выводы приводятся в работах [3, 15] при изучении сходимости плоских конечных элементов (плит и оболочек) на моделях перекрытий, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой.

Характерным размером балок при изучении их сложного НДС методом конечных элементов с применением объемных тел является высота и ширина конструкции.

Для трехгранной призмы первого порядка КЭ № 33 BK SCAD приближение к правильному решению как по изгибающему моменту, так и по прогибу идет по нижней границе, что характерно для МКЭ в перемещениях [17].

### **Выводы**

1. У шестиузловой прямой трехгранной призмы КЭ № 33 BK SCAD сходимость зависит от пространственного расположения элемента. При наихудшем расположении конечных элементов по отношению к потокам усилий для получения результатов напряжений с необходимой точностью (ошибкой до 5%) конечно-элементная сетка должна быть мелкой, равной не более 1/16 характерного размера конструкции. Достоверность деформаций обеспечивается более крупной сеткой конечно-элементного разбиения, равной 1/8. Данные цифры верны при хорошей геометрии конечных элементов с коэффициентом формы 1,15.

2. При большем коэффициенте формы трехгранных призм первого порядка КЭ № 33 BK SCAD следует ожидать ухудшения сходимости решения.

3. Характерным размером балок при изучении их сложного напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов с применением объемных тел является высота и ширина конструкции.

4. Следующим этапом численного изучения сходимости трехгранных призм BK SCAD может быть моделирование конструкций конечными элементами второго порядка, с использованием пятнадцатиузловой трехгранной призмы КЭ № 35.

### **Библиографический список**

1. Соколов С. А. Критерии работоспособности металлических конструкций машин. Проектирование с применением МКЭ. СПб.: Страта, 2023. 202 с.

2. Мельников Р. В. Использование метода конечных элементов в геотехнике. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 188 с.

3. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с.

4. Пекин Д. А. Плитная сталежелезобетонная конструкция. М.: АСВ, 2010. 440 с.
5. Еремеев П. Г. Современные конструкции покрытий над трибунами стадионов. М.: Издательство АСВ, 2015. 236 с.
6. ГОСТ Р 57700.10-2018 Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно-деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области. Москва; Стандартинформ; 2018.
7. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Перевод с английского под редакцией Б.Е. Победри. М.: МИР, 1975. 541 с.
8. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. 344 с.
9. 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.
10. Мозголов М. В., Козлова Е. В. Верификация стержневой и твердотельной моделей вычислительного комплекса SCAD расчета железобетонного кессонного перекрытия // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2023. №6. С. 35 – 47. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-35-47
11. Мозголов М. В., Козлова Е. В. Модель комплекса SCAD из объемных конечных элементов: расчет железобетонных кессонных перекрытий. Вестник НИЦ «Строительство». 2023; 37 (2): 18 – 36. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-18-36](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-18-36)
12. 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.
13. Мозголов М. В., Костюков В. В. О выборе места действия напряжений при анализе усилий в твердотельной модели вычислительного комплекса SCAD. Системные технологии. 2023. № 3 (48). С. 122 – 129. doi: 10.55287/22275398-2023-3-122
14. Городецкий А. С., Барабаш М. С., Сидоров В. Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. М.: АСВ, 2016. 337 с.
15. Перельмутер А. В. Беседы о строительной механике. М.: Издательство SCAD Soft, Издательский дом АСВ, 2016. 304 с.
16. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Фиалко С. Ю., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD ++. М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2015. 848 с.
17. Секулович М. Метод конечных элементов. Перевод с сербского Ю. Н. Зуева. Под редакцией В. Ш. Барбакадзе. М.: Стройиздат, 1993. 664 с.
18. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2019. 464 с.
19. Никитин К. Е., Кирсанов О. А. Сравнительное исследование конечно-элементных методик расчета ребристых железобетонных перекрытий. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. 18(3). 242 – 254. DOI 10.22363/1815-5235-2022-18-3-242-254

20. *Кашеварова Г. Г., Труфанов Н. А.* Численное моделирование деформирования и разрушения системы «здание – фундамент – основание». Екатеринбург – Пермь: УрО РАН, 2005. 225 с.

21. *Сокуров А. З.* Продавливание плоских железобетонных плит, усиленных поперечной арматурой. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: АО «НИЦ «Строительство», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. 2015. 155 с.

22. *Филимонова Е. С.* Анализ рекомендуемой методики расчета для монолитных плит перекрытия с различными типами пустотообразователей по системе Sobiax. Молодой ученый. Международный научный журнал. С. 109 – 112. № 20(415)/2022.

23. *Мозголов М. В., Костюков В. В., Сидоренко Д. А.* О сходимости решений моделей вычислительного комплекса SCAD из трехгранной призмы первого порядка. Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 144 – 153. doi: 10.55287/22275398\_2023\_4\_144

24. *Вовкушевский А. В., Шойхет Б. А.* Расчет массивных гидротехнических сооружений с учетом раскрытия швов. М.: Энергия, 1981. 136 с.

---

## ON THE CONVERGENCE OF SOLUTIONS OF MODELS OF THE SCAD COMPUTER COMPLEX FROM A FIRST ORDER TRIHEDRAL PRISM. PART 2. h-METHOD

**M. V. Mozgolov**

**V. V. Kostyukov**

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

---

### Abstract

In the pre-computer period, the design of building structures of buildings and structures, as well as the study of the stress-strain state of their foundations, was carried out using traditional engineering calculation methods based on well-known analytical solutions. Analytical methods make it possible to calculate standard forces, stresses and displacements without taking into account many features of the operation of the building system. Computer analysis based on the finite element method allows this to be done in many cases. The calculation can be divided into three levels of detail, which are stages of sequential refinement of the stress-strain state. Libraries of software systems include linear, planar, volumetric and special finite elements. When studying complex structures, linear elements are usually used at the first level, flat and volumetric at the second, volumetric, as well as combinations of all types of finite elements at the third. The reliability of the obtained result depends on the type of finite element, the type and density of the mesh of the finite element partition. The advantage of triangular and tetrahedral finite elements is the ability to represent the complex geometry of the calculation model, although such first-order elements are not recommended for use by the standards.

### The Keywords

*VC SCAD, verification, result convergence, finite element, stress, displacement, bending moment, solid model*

### Date of receipt in edition

05.02.2024

### Date of acceptance for printing

15.02.2024

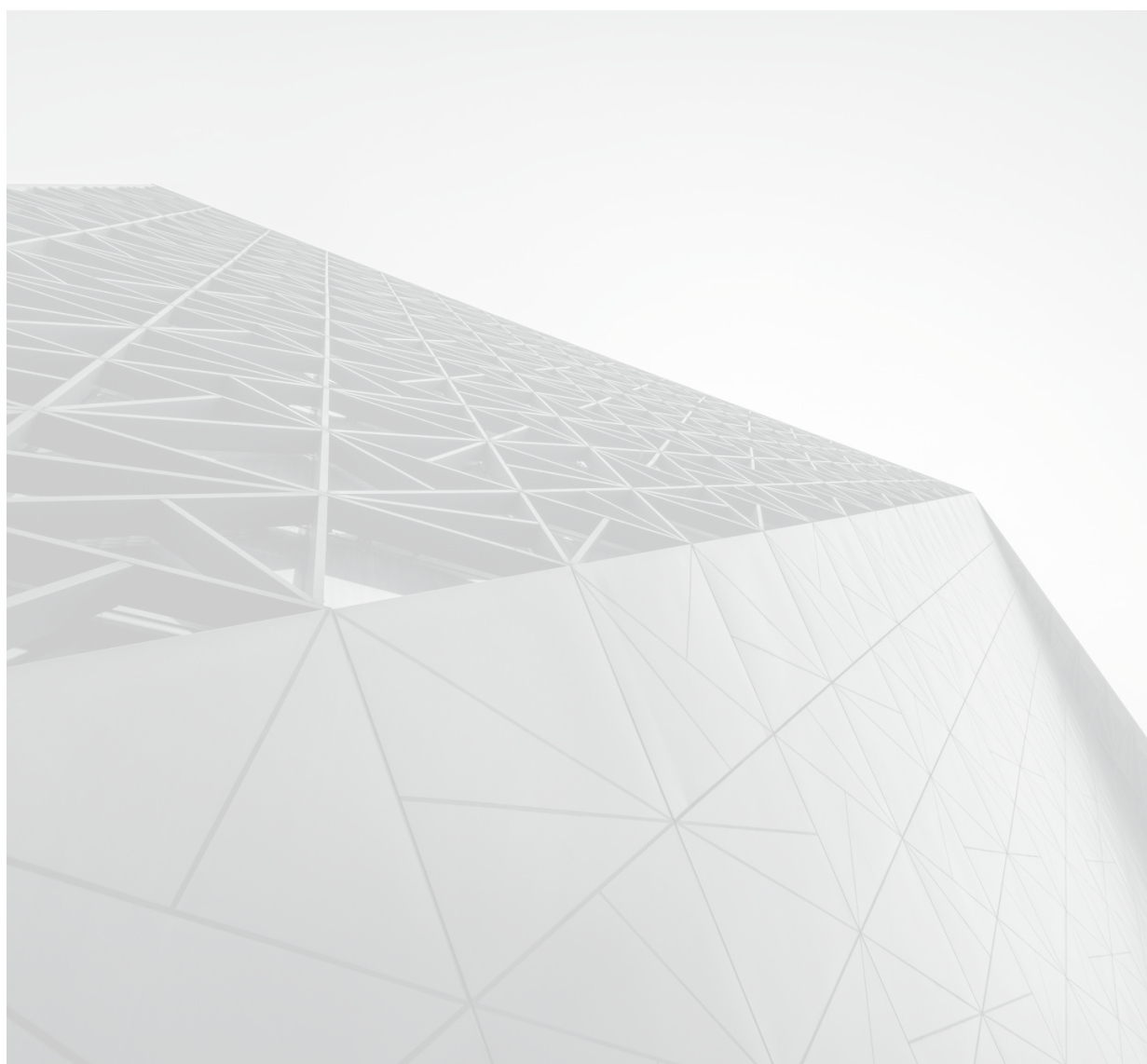
The purpose of the work is to study the convergence of a six-node trihedral prism of the first order FE No. 33 VK SCAD.

The work considers two types of hinged-supported beam models, differing in the spatial arrangement of the finite elements and their sizes, equal to:  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$  of the height and width of the structure.

For a six-node straight triangular prism FE No. 33 VK SCAD, the convergence depends on the spatial location of the element. With good geometry of the finite elements with a shape factor of 1.15 and their worst location with respect to the forces, in order to obtain stress results with an error of up to 5%, the finite element mesh should be fine, equal to no more than  $1/16$  of the characteristic size of the structure. The reliability of the deformations is ensured by a larger finite element mesh equal to  $1/8$ .

**Ссылка для цитирования:**

М. В. Мозголов, В. В. Костюков. О сходимости решений моделей вычислительного комплекса SCAD из трехгранной призмы первого порядка. Часть 2. h-метод. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 5–19.







УДК 628.2

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_20-28

---

## ПЛАНИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ГОРОДСКОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

**О. Г. Примин**

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

---

### **Аннотация**

В статье рассматривается стратегическое планирование восстановления трубопроводов городских сетей водоснабжения. Показано, что подход, заключающийся в проведении ремонтно-восстановительных работ или реконструкции труб только там, где произошла авария (стратегия «пожарной команды»), приводит к застою в области реконструкции сетей. Необходима научно-обоснованная стратегия планирования их восстановления, основанная на технико-экономическом анализе состояния водопроводной сети, оценке и прогнозе показателей надежности трубопроводов.

Сделан вывод, что наряду с анализом повреждаемости труб и прогнозом их надежности, оценка технического состояния трубопроводов сетей водоснабжения должна стать основой для определения полезного срока службы трубопроводов и объема необходимой реконструкции или обновления труб.

### **Ключевые слова**

*водоснабжение, трубопроводы, реконструкция, стратегия, восстановление, ремонт, концепция, надежность*

### **Дата поступления в редакцию**

05.02.2024

### **Дата принятия к печати**

17.02.2024

---

В нормативной практике водоснабжения различают следующие стратегии реконструкции трубопроводов водопроводных сетей [1, 2, 3, 4]:

- ремонт, ориентированный на происшествия, т. е. ремонт, как реакция на возникшие повреждения или аварии;
- периодический планово-предупредительный ремонт, т. е. работы по техническому обслуживанию и реконструкции системы через заданные интервалы времени;
- профилактический ремонт с учетом реального состояния, т. е. ремонтные работы, определяемые по текущему реальному состоянию трубопроводов в сравнении с заданным для нее состоянием.



### Ремонт, ориентированный на аварии и повреждения

Выполнение ремонтных работ только при возникновении повреждений является с точки зрения самой краткосрочной перспективы простым и недорогим, а поэтому и наиболее распространенным методом работы. В долгосрочной перспективе он ведет к снижению надежности сети и к высоким издержкам.

### Стратегия периодического планово-предупредительного ремонта

Сюда следует отнести проверки и техническое обслуживание системы через регулярные промежутки времени. Большой пользе от инспекций и технического обслуживания противостоят сравнительно малые издержки.

В отличие от этого, от регулярной санации или замены трубопроводов через определенные промежутки времени следует отказаться по причине высоких расходов, поскольку возраст трубопровода и продолжительность эксплуатации не являются критериями их работоспособности.

### Стратегия профилактики, ориентированная на реальном состоянии труб

Планово-предупредительная реконструкция и обновление системы при этом ориентированы на состояние системы или на обусловленное состоянием трубопровода ухудшение гидравлических параметров и показателей качества воды и надежности, на жалобы потребителей или на вытекающий отсюда рост расходов на оплату работы персонала и прочих расходов.

Эффективным методом долгосрочного обеспечения надежности водоснабжения и поддержания должного технического уровня сети и ее элементов является организация профилактического ремонта и реконструкции сети [5, 6, 7, 8, 9].

Как правило, все предприятия водоснабжения городов России и мира ведут сбор и статистическую оценку данных о возникших повреждениях и потерях воды (кольцевая трещина, продольная трещина, разрыв оболочки, вид коррозии, повреждения арматуры и домовых вводов) [10-14].

Пределы использования статистики повреждений для планирования восстановления труб вызваны следующими факторами [15, 16]:

- учитываются, как правило, только те повреждения, которые связаны с потерями воды; повреждения без заметных потерь воды (скрытые утечки) не учитываются;
- ошибки при сборе и оценке повреждений вследствие недостаточных специальных знаний и неполные отчеты о повреждениях;
- повторные повреждения на отремонтированных трубопроводах учитываются как новые повреждения;
- как правило, никак не выделяются повреждения, возникшие вследствие чрезвычайных природных явлений (затопления, мороз);
- в статистических данных отдельно не учитываются повреждения, возникшие вследствие временных нагрузок транспорта;

Сопоставление преимуществ и недостатков реконструкции отдельных участков трубопровода и полной реконструкции приведено в **табл. 1**.

**Сопоставление реконструкции отдельных участков  
и полной реконструкции по критериям состояния сети**

Критерии	Реконструкция отдельных участков	Полная реконструкция
Состояние сети	<ul style="list-style-type: none"> <li>улучшается только на отдельных участках и, как следствие, неоднородность состава материалов труб, и поэтому материалы труб с очень разными свойствами;</li> <li>участки трубопровода в плохом состоянии выходят из строя и подлежат замене (не используется потенциал экономии расходов посредством облицовки цементным или полимерным растворами)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>зоны трубопроводной сети в плохом состоянии сначала реконструируются, чем достигается системное улучшение состояния сети на большой площади;</li> <li>поэтапное обновление (реконструкция) трубопроводной сети в соответствии с требованиями XXI века (высоконадежные и долговечные материалы труб, гидранты, запорная арматура, домовые вводы)</li> </ul>
Потери воды	<ul style="list-style-type: none"> <li>снижаются путем замены наиболее слабых участков труб - причины относительно небольших неизмеряемых потерь воды (например, негерметичные соединения, маленькие утечки от начавшейся точечной коррозии) не устраняются</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>зоны с наибольшими потерями воды могут быть определены и использованы как основа для выбора последовательности восстановительных мер;</li> <li>новые улучшенные материалы труб обеспечивают долговременную прочность труб</li> </ul>

Ориентированная на состояние трубопроводной сети полная реконструкция требует соответствующих подготовительных работ организационного плана. Затем следует ожидать синергетических эффектов:

- выбор экономичного метода реконструкции путем материально-технического исследования (пригодно или непригодно по статическим свойствам к облицовке цементно-песчаным или полимерным растворами и к использованию бестраншейного метода реконструкции) и тем самым снижение стоимости строительных работ;
- новое расположение арматуры при полной реконструкции (задвигжки, гидранты, домовые вводы);

- снижение потерь воды по районам города — реконструированные трубопроводные сети в этих районах города не имеют потерь воды, вызванные повреждением трубопроводов;
- снижение эксплуатационных расходов путем сокращения объема работ по техническому обслуживанию и сведения ремонтных работ только к исключительным случаям (как, например, внешнее воздействие).

Полная реконструкция одновременно означает выполнение требований, предъявляемых к качеству и бесперебойности водоснабжения.

Две стратегии восстановления трубопроводов основаны на оценке технических, экономических и социальных рисков и идут «рука об руку»:

1. Ждать и смотреть.
2. Решать проблемы по мере их возникновения.
3. Установить стратегию приоритетов.
4. Приниматься за проблемы в обдуманном порядке в соответствии с рисками, последствиями, затратами и эксплуатационной пригодностью.

Генеральный путь проходит через стратегию «ждать и смотреть» к стратегии приоритетов. Очевидно, что окончательное решение по поводу того, какой метод реконструкции труб и когда следует применить, как правило определяется их стоимостью.

Анализ исследований зарубежных ученых показал, что подходящими инструментами для количественной оценки будущего объема работ по реконструкции сетей, является групповая модель долговечности для срока службы трубопроводов сетей водоснабжения [17, 18].

Для реализации модели проводится сбор и обработка эксплуатационных и инвентаризационных данных трубопроводов и с помощью оценки функции распределения числа аварий (отказов) труб и интенсивности их восстановления планируется объем восстановления трубопроводов [19].

В качестве функции распределения интервалов безотказной работы трубопроводов используют распределение Вейбулла. Реализация модели основана на трех математически взаимосвязанных функций [20]:

1. Функция выживания (функция распределения  $P(t)$  срока службы):

$$P(t) = 1 - \int_0^t a(t) \cdot d(t) = 1 - \int_0^t \omega_0 k t^{k-1} e^{-\omega_0 t} d(t) = e^{-\omega_0 t} \quad (1)$$

здесь:  $a(t) = \omega_0 k t^{k-1} e^{-\omega_0 t}$

2. Функция аварийности:

$$\omega(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \omega_0 k t^{k-1} \quad (2)$$

3. Продолжительность времени (срока) эксплуатации (ожидаемая и прогнозируемая):

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\omega_0 t} d(t) = \frac{\Gamma(\frac{1}{k} + 1)}{\omega_0^k} \quad (3)$$

где  $\Gamma(\frac{1}{k} + 1)$  — гамма функция, значения которой табулированы:

$$\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right) = \int_0^{\infty} x^k e^{-x} d(x) \quad (4)$$

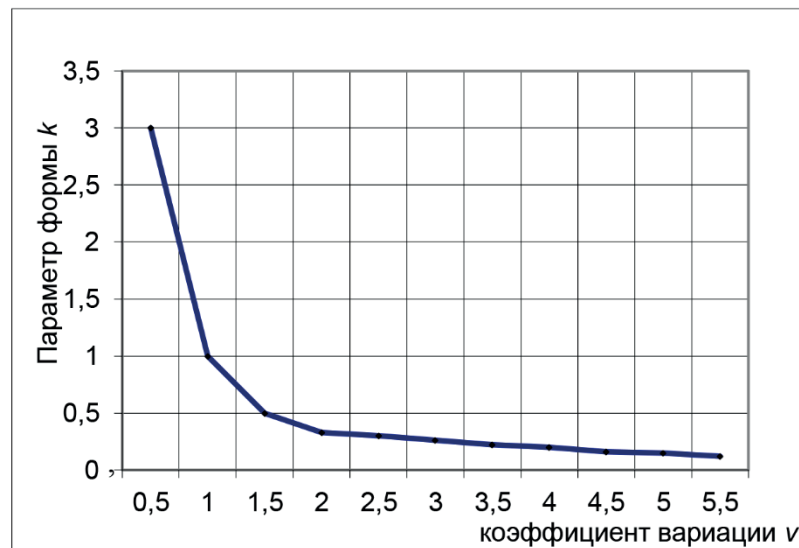
В этих выражениях  $k$  — коэффициент старения, если  $k = 0$  старения не происходит,  $\omega_0$  — интенсивность отказов или интенсивность восстановления участков трубопроводов. Для оценки среднеквадратического отклонения времени безотказной работы  $\sigma$  используется формула:

$$\sigma = \sqrt{\int_0^{\infty} t^2 a(t) \cdot d(t) - T^2} = \sqrt{\int_0^{\infty} \frac{k}{t} \cdot t^{k+1} \cdot e \cdot d(t) - t_0 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^2} \quad (5)$$

Для оценки коэффициента вариации распределения  $v$  используется отношение:

$$v = \frac{\sigma}{T} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (6)$$

На **рис. 1** приведен график изменения параметра старения распределения Вейбулла —  $k$ . Найденные значения параметров  $k$  и  $\omega_t$  позволяют интерпретировать функции выживания (надежности) трубопроводов.



**Рис. 1.** Изменение коэффициента старения распределения Вейбулла ( $k$ ) в зависимости от коэффициента вариации  $v$

Значения интенсивности отказов и времени наработки на отказ участков трубопроводов определяются путем обработки статистики отказов исследуемых трубопроводов, а затем модифицируются в виде функций выживания. Используя вышеприведенную модель, приведем пример функций выживания стальных трубопроводов Московского водопровода (**рис. 2**).

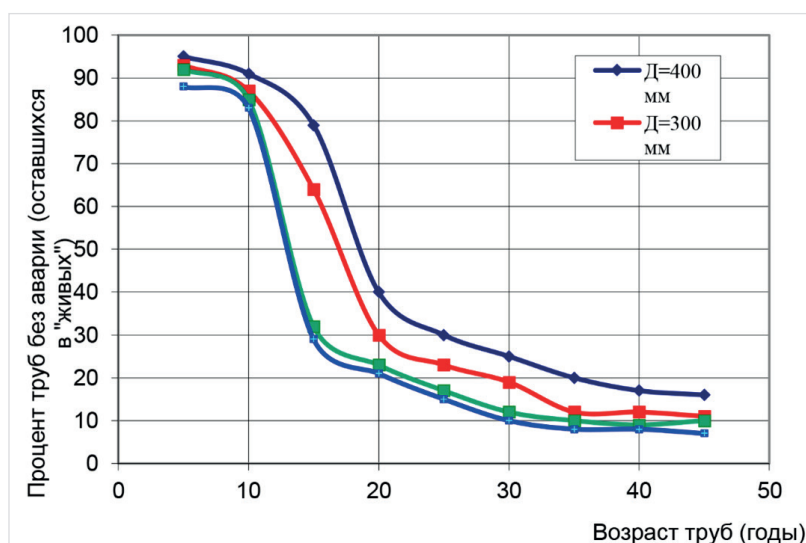


Рис. 2. Функции «выживания» трубопроводов Московского водопровода

Используя функции выживания, можно определить вероятность полезного срока службы трубопровода, при окончании которого трубопровод не обеспечивает (требуемого) уровня надежности и необходимо восстанавливать его работоспособность. Исследования показали, что определение регламента технического обслуживания, ремонта и реконструкции трубопроводов большинства систем водоснабжения городов РФ, используя реальные сроки полезной службы, не будут соответствовать нормативным, так как они весьма отличаются от нормативных, применительно к которым в настоящее время определяется срок амортизации трубопроводов и, соответственно, не отражают существующую практику эксплуатации [21]. Предлагается применение методов на основе использования вышеприведенной математической модели старения трубопроводов сетей водоснабжения города, оценки реального срока полезной службы трубопроводов, технико-экономических критериев целесообразности дальнейшей эксплуатации трубопроводов. Осредненные значения полезных сроков службы стальных трубопроводов Московского водопровода в целом по системе приведены на рис. 3.

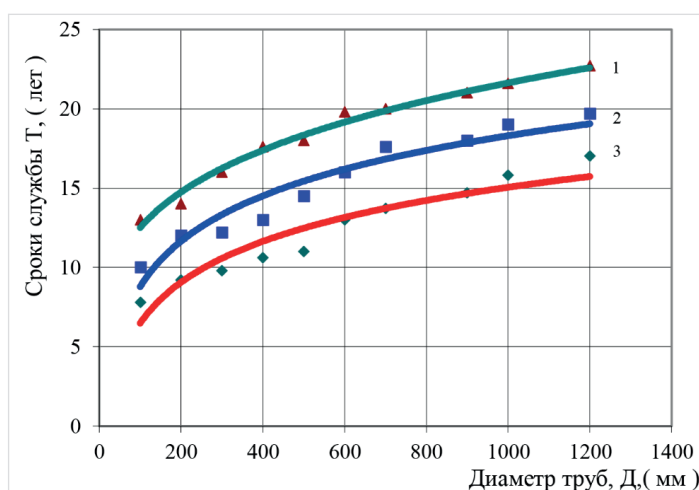


Рис. 3. Расчетные сроки полезной службы стальных трубопроводов Московского водопровода: 1 — нормальные условия эксплуатации; 2 — усредненные условия эксплуатации; 3 — тяжелые условия эксплуатации

Стратегия планирования восстановления трубопроводов включает [22]:

- анализ всей трубопроводной сети в зависимости от групп трубопроводов;
- определение технико-экономических целей реконструкции сети;
- проверка соблюдения количественных критериев (давление, качество воды, потери воды);
- оценка долгосрочной необходимости в восстановлении на основании состояния сети и среднего срока эксплуатации;
- определение средней интенсивности восстановления;
- выбор подходящих методов обновления и санации;
- разработка планов финансирования для периода экономического планирования на предприятии Водоканал.

### **Выводы**

1. Зарубежный и отечественный опыт эксплуатации трубопроводов показал, что гибкая стратегия профилактического ремонта и реконструкции водопроводной сети, ориентированная на ее реальное состояние, является наиболее эффективным методом долгосрочного обеспечения качества водоснабжения и поддержания должного технического уровня сети и ее надежности.

2. Анализ исследований отечественных и зарубежных ученых показал, что подходящими инструментами для количественной оценки будущего объема работ по реконструкции сетей, является групповая модель долговечности для срока службы трубопроводов сетей водоснабжения.

3. Исследования показали, что определение регламента технического обслуживания, ремонта и реконструкции трубопроводов большинства систем водоснабжения городов РФ, используя реальные сроки полезной службы, не будут соответствовать нормативным, так как они весьма отличаются от нормативных, применительно к которым в настоящее время определяется срок амортизации трубопроводов, не отражают существующую практику эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. DIN 31051:2019-06. Fundamentals of maintenance. Основы технического обслуживания. Grundlagen der Instandhaltung // 2019. 13 P.
2. DWA A 143-1, Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen // 2015. 24 P.
3. DWA A 149-1, Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen // 2014. 14 P
4. DWA-A 133:2021-05 Wertermittlung von Abwasseranlagen – Systematische Erfassung, Bewertung und Fortschreibung // 2021. 18 P.
5. Achim, D., Ghotb, F., and McManus, K. J., Prediction of water pipe asset life using neural networks, // University of Cincinnati, J. of Infra. Syst, 2007. N 13(1) pp. 26 – 30.
6. Al-Barqawi, H., and Zayed, T., Infrastructure Management: Integrated AHP/ANN Model to Evaluate Municipal Water Mains' Performanc», // ASCE, Journal of Infrastructure Systems, 10.1061/(ASCE) 1076-0342, pp. 123 – 135.

7. Ariaratnam S. T., El-Assaly A., Yang Y., Assessment of infrastructure inspection needs using logistic models», // Journal of Infrastructure Systems, 2001. 7, pp. 160 – 165.
8. Bai, H., Sadiq, R., Najjaran, H., Rajani, B., Condition assessment of buried pipes using hierarchical evidential reasoning model // Journal of Computing in Civil Engineering, 2008. 22(2), pp. 114 – 122.
9. Примин О. Г. Анализ факторов, влияющих на надежность и экологическую безопасность водопроводных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 7, с. 16 – 22.
10. Baufachliche Richtlinien Abwasser: [сайт] URL: <https://www.bfr-abwasser.de/html/index.html> (дата обращения: 25.07.2023).
11. Сколубович Ю. Л., Примин О. Г., Е. С. Гогина. Проблемы инженерных систем водопользования и научные исследования по их решению // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 1 с. 6 – 10.
12. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.
13. Викулин П. Д. Реконструкция и увеличение производительности водозаборных сооружений из поверхностных источников // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 50 – 53.
14. Зубарева О. Н., Аушев А. М., Саймулло А. В., Тайбарей В. В. Особенности подготовки питьевой воды для систем водоснабжения городов, расположенных в южных широтах // Системные технологии. 2018. № 1 (26). С. 71 – 74.
15. Kleiner, Y., Sadiq, R., and Rajani, B., Modeling failure risk in buried pipes using fuzzy markov deterioration process, // Proc., Pipeline Engineering and Construction: 2004. pp. 1 – 12.
16. Kleiner, Y., «Scheduling inspection and renewal of large infrastructure assets» // J. Infrastruc. Syst., 2001. 7(4), pp. 136 – 143.
17. Baur R, Herz R, (2002), Selective inspection planning with ageing forecast for sewer types, Water Science and Technology 46 (6–7) pp. 389–396.
18. Herz R., (1995), Alterung und Erneuerung von Infrastruturbeständen — ein Kohortenüberlebensmodell», Jahrbuch für Regionalwissenschaft Jg., 14/15.
19. Herz R., (1996), Aging Processes and Rehabilitation needs of Drinking Water distribution networks, Journal of Water Resources Planning and Management, 45, 221 – 231.
20. Herz, R. (2006): Alterungsmodelle für Abwasserkanäle – Typologie und Ansatz einer vergleichenden Untersuchung. Vortrag zum 7. Kolloquium Stadtbauwesen Lehrstuhl Stadtbauwesen, TU Dresden, 2006.
21. Примин О. Г., Громов Г. Н. Надежность и экологическая безопасность водонесущих трубопроводов // E3S Web of Conferences 263, 04002 FORM-2021. 2021 Volume 419, pp. 123 – 130.
22. Руководство в помощь при реконструкции водопроводных систем. // DVGW, Берлин, 2007. 143 с.



---

## PLANNING OF RESTORATION OF PIPELINES OF THE CITY WATER SUPPLY NETWORK

**O. G. Primin**

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

---

### **Abstract**

The article discusses the strategic planning of the restoration of pipelines of urban water supply networks. It is shown that the approach of carrying out repair and restoration work or reconstruction of pipes only where an accident occurred (the strategy of the "fire brigade") leads to stagnation in the field of network reconstruction. A scientifically based strategy for planning their restoration is needed, based on a technical and economic analysis of the state of the water supply network, assessment and prediction of pipeline reliability indicators.

It is concluded that along with the analysis of pipe damage and the forecast of their reliability, the assessment of the technical condition of pipelines of water supply networks should become the basis for determining the useful life of pipelines and the volume of necessary reconstruction or renovation of pipes.

### **The Keywords**

*water supply, pipelines,  
reconstruction, strategy, restoration,  
repair, concept, reliability*

### **Date of receipt in edition**

05.02.2024

### **Date of acceptance for printing**

17.02.2024

---

### **Ссылка для цитирования:**

О. Г. Примин. Планирование восстановления трубопроводов городской водопроводной сети. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 20–28.





УДК 666.9

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_29-33

## СРАВНЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АКТИВАЦИИ ВОДНО-ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНОВ

**Р. Р. Шарапов**  
**А. А. Парусов**

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

### Аннотация

Авторами выполнен анализ релевантных методов улучшения свойств современных бетонов. В статье рассмотрены различные методы механоактивации бетонов, выявлены преимущества и недостатки предложенных вариантов воздействия на водно-цементную суспензию. Описан принцип работы установки для ультразвуковой обработки суспензий и преимущества ее применения по сравнению с остальными методами активации

### Ключевые слова

*бетоны, химические добавки, механическая активация, гидродинамическая активация, роторно-пульсационный аппарат, ультразвуковая активация*

### Дата поступления в редакцию

05.02.2024

### Дата принятия к печати

15.02.2024

### Введение

В последние годы в Российской Федерации наблюдается существенный рост потребления цемента, в разрезе 2018–2022 года он составляет 47%: с 34 до 50 млн м<sup>3</sup>. По оценкам экспертов на весну 2023 года спрос вырос еще на 12% по сравнению с аналогичным периодом 2022 года [1]. Такие показатели обусловлены реализацией государственных программ, в том числе: реновацией жилого фонда, комплексным освоением территорий, строительством цементобетонных дорог, а также достижением целей национального проекта «Жилье и городская среда». Немаловажными факторами является увеличение объемов малоэтажного строительства, активное возведение и восстановление зданий на новых территориях. Как отмечают аналитики, в связи с выраженной сезонностью строительства, особенно в северных регионах, загрузка цементных, а также бетонных заводов достаточно скачкообразна. Основная деятельность осуществляется в теплое время года, в высокий сезон заводы загружены на полную мощность, часто ресурсов недостаточно. Для компенсации недостающих ком-

понентов бетонов производители вынуждены в частности импортировать цемент из Белоруссии, Ирана, Казахстана и Турции.

### **Основная часть**

Помимо сезонного ажиотажа на сам цемент, резко возрастает потребность в специальных модифицирующих добавках, которые стали уже неотъемлемым компонентом любого бетона. Применение таких добавок особенно важно при изготовлении монолитных, сборных и железобетонных высокопрочных бетонных конструкций, имеющих повышенные требования к прочности, надежности и долговечности [2].

Наиболее широкое распространение получили пластифицирующие добавки, которые позволяют за счет снижения водоцементного соотношения при заданной подвижности бетонной смеси существенно повышать прочность и долговечность бетонных конструкций и изделий. Пластификаторы относятся к поверхностно-активным добавкам (ПАВ) и выпускаются в виде порошкообразных сухих смесей или в виде жидких суспензий, которые при добавлении к остальным компонентам смеси образуют нейтральные или слабощелочные соединения, регулирующие удобоукладываемость (подвижность) бетонных растворов [3].

Несомненно, применение химических добавок позволяет получить высококачественные бетоны с прогнозируемыми характеристиками и свойствами. Но стоит также отметить, что в реальной промышленной обстановке расчет, подбор и точное дозирование химических добавок требует применения высокоточного и дорогостоящего оборудования. Также требуется высококвалифицированный персонал. Все эти факторы существенно сказываются на конечной стоимости бетона для потребителя. В настоящее время негативный экономический эффект от применения химических добавок ощущается еще сильнее. Причин для этого несколько — напряженная международная обстановка и, в том числе, нарушение выстроенных логистических цепочек, изменение рынка — уход ряда ведущих иностранных компаний (нередко вместе с оборудованием и запатентованными технологиями). Отечественная химическая промышленность в ускоренном темпе налаживает собственное производство, но многое сырье по-прежнему является импортным. Наряду с этим многие промышленные предприятия не подготовлены к изменяющимся внешним факторам и нуждаются в доработке производственных линий специальным оборудованием для дозированной подачи добавок в соответствии с этапами технологических процессов.

С учетом вышесказанного, увеличение потребности в высококачественных бетонах вынуждает промышленность наращивать производственные мощности, а также модернизировать производство. Поиск альтернативных методов улучшения свойств бетонных и растворных смесей является ключевой задачей отечественной бетонной промышленности.

Одним из наиболее актуальных вариантов решения данной проблемы является модифицирование свойств композиций цемента с растворителями, в частности применение физико-механических воздействий с целью повышения активности компонентов смеси. Механическая активация водно-цементных растворов, основана на комбинированном воздействии импульсного и локального характера на вещество, в том числе давления и/или сдвига с целью изменения размеров частиц этого вещества. В процессе обработки возникает выделение тепла, образование как дефектов на существующей поверхности, так и образование новых активных поверхностей, а также его аморфизация [4, 5]. Первые упоминания методов механической активации водно-цементных суспензий, а также воды затворения описаны в научных работах начала прошлого века. С тех пор было разработано множество новых методов, рассмотрим наиболее релевантные и выделим их конкурентные преимущества.

В настоящее время активно ведется разработка и внедрение в технологические линии различных установок для гидродинамической активации водно-цементной суспензии в процессе приготовления бетонного раствора. Такой метод обработки реализуется с использованием роторно-пульсационных аппаратов [6]. Конструктивно такой аппарат состоит из асинхронного электродвигателя и закрепленного на выходном валу рабочего механизма, включающего в себя корпус с ротором и статором с проточенными каналами. Подача обрабатываемого материала в рабочую зону осуществляется через входной патрубок, обработанный материал выводится с помощью выходного патрубка. В процессе обработки исходный материал подается под давлением в рабочую полость установки, где с периодичностью каналы статора совмещаются с каналами ротора. При их взаимном перекрытии образуется импульсный скачок давления, а при взаимном наложении сброс давления в канал статора. Образовавшийся объем обрабатываемого материала под давлением проходит через открывшиеся каналы, при этом инерционные силы под действием импульса пониженного давления создают растягивающие напряжения, в результате чего образуется эффект кавитации [7].

При обработке вещества возникает механическое, гидродинамическое и гидроакустическое воздействие. Первое происходит за счет удара, среза и истирания, возникающего при контакте водно-цементной суспензии с поверхностями ротора и статора в форме диска с каналами. Второе вызвано турбулентностью пульсации давления и изменяющейся скоростью потока вещества. Гидроакустическое воздействие обусловлено изменением давления, кавитацией, вихреобразованием, а также прочими видами нелинейных гидроакустических эффектов.

Такой метод улучшения свойств водно-цементных суспензий нашел свое отражение во множестве актуальных научных исследований. Как подчеркивают авторы, его ключевым преимуществом является высокая эффективность обработки, но в то же время к недостаткам можно отнести сложности с подбором времени и интенсивности обработки материала, сравнительно сложное прогнозирование выходных свойств бетонов отличающихся марок. Существующие исследования в большей степени основаны на экспериментальном определении характеристик обработанного материала, чаще в лабораторных условиях, в связи с этим эффективность применения таких установок в реальных промышленных условиях требует дополнительного изучения, особенно при работе с абразивными материалами.

При ультразвуковом воздействии на водно-цементную суспензию возникает эффект кавитации (холодного кипения), который сопровождается появлением микротрещин в структуре цементного камня и, в частности, измельчением твердых частиц цемента. Схожее воздействие на обрабатываемый материал не удастся выполнить ни при высокоскоростном перемешивании, ни при низкочастотной вибрации. Положительный эффект от такого метода активации основан на пептизации коллоидных частиц и измельчении полнокристаллических агрегатов в результате их соударения под действием ультразвуковых колебаний, процесс сопровождается возникновением парогазовых пузырей воздуха, которые способны накапливать энергию при расширении и высвободить ее при сжатии [8]. Такой метод активации, является одним из наименее изученных ввиду того, что ранее не были доступны аппараты для ультразвуковой обработки материалов высокой мощности. Поскольку водно-цементная суспензия является вязкой средой, то при воздействии низкой интенсивности не возникает кавитация, а также ударные волны с коммулятивными струями. Для решения поставленной задачи наибольшую эффективность показывают специальные ультразвуковые установки проточного типа, способные создавать колебания высокой интенсивности (более  $4 \dots 10 \text{ Вт/см}^2$ ) [9].

Работы В. Н. Хмелева, Р. Н. Голых, Р. В. Барсукова и др. позволяют говорить о том, что при точном подборе времени и интенсивности обработки материала возможно получить наилучшие характеристики как водно-цементной суспензии, так и существенно улучшить характеристики бетона [10].

Применение метода ультразвуковой активации в процессе производства бетонных растворов и смесей позволяет уменьшить расход цемента при сохранении марки (класса прочности) бетона, что обусловлено измельчением частиц цемента, получением его более однородного зернового состава.

ва с преобладающим количеством частиц среднего размера. В результате образуются новые активные поверхности и центры кристаллизации, ускоряется гидратация, а, следовательно, время схватывания и набора прочности бетонов.

### **Выводы**

Темпы строительства зданий и сооружений в Российской Федерации определяют активное развитие бетонной промышленности. Использование химических добавок с одной стороны позволяет получить высокие характеристики бетонов, но с другой стороны вынуждает изменять существующие технологические процессы, устанавливать дорогостоящее оборудование. Также по-прежнему актуальна зависимость отрасли от импортных компонентов, существенно влияющих на стоимость бетона для потребителя.

Одним из наиболее релевантных методов решения такой проблемы является механическая активация. Роторно-пульсационные аппараты показывают высокие результаты в обработке материалов, но для высокодисперсного цемента с большим количеством твердых частиц их работа затруднена — этот факт обусловлен конструкцией установки и в частности ротора со статором, имеющих тонкие прорезы, подверженные сильному износу.

Наиболее современным и перспективным методом обработки водно-цементных суспензий является ультразвуковые установки, способные обеспечить ультразвуковое воздействие высокой интенсивности. При воздействии на водно-цементную суспензию в проточной установке предложенной конструкции удастся достигнуть существенного улучшения структуры материала, за счет измельчения крупных частиц и образования новых непрореагировавших ранее поверхностей. Такие установки (по сравнению с роторно-пульсационными аппаратами) имеют меньшие габариты, за счет применения волновода с титановым покрытием меньше подвержены износу, а также обладают большей производительностью. Их применение в промышленности позволит снизить потребление цемента, повысить качество бетонных и растворных смесей, а также увеличить срок службы монолитных, сборных и железобетонных конструкций.

### **Библиографический список**

1. Д. Д. Кенчадзе и др. Строительство в России. 2022 [Электронный ресурс]: Стат. сб./ Росстат. — М., 2022. — 148 с. — Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Stroit\\_2022.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Stroit_2022.pdf)
2. Майоров А. Г., Нурмагомедов Ш. А. Модифицирующие добавки для бетона: виды, применение // Актуальные исследования. 2022. №50 (129). Ч. I. С. 63–70.
3. Вишневский, В. И. Супер- и гиперпластификаторы для бетонов нового поколения / В. И. Вишневский, Е. А. Шкред. — Текст: непосредственный // Технические науки в России и за рубежом : материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). — Москва : Буки-Веди, 2017. — С. 99–102.
4. Федюк, Р. С. Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) / Р. С. Федюк, А. В. Мочалов, В. С. Лесовик // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2018. — № 4(37). — С. 85–99.
5. Qian, J. Activation of blended cements containing fly ash / J. Qian, C. Shi, Z. Wang // Cement and Concrete Research. — 2001. — Vol. 31, No. 8. — P. 1121–1127.

6. М. А. Чурюкин, Д. А. Зорин, А. В. Хамутаев Повышение активности цемента при гидродинамической активации // Успехи в химии и химической технологии. 2018. № 2 (198). С.185 – 187.
7. Горн, К. С. Особенности гидратации цементной композиции, активированной в роторно-пульсационном аппарате / К. С. Горн, А. В. Викторов // Ползуновский вестник. — 2011. — № 1. — С. 56–58.
8. Парусов, А. А. Технологическая установка для ультразвуковой активации водно-цементной суспензии / А. А. Парусов, М. А. Богданов, В. В. Шумов // Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы — Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. — С. 189–192.
9. Шаронов, Р. Р. Прогнозирование дисперсных характеристик высокодисперсных цементов / Р. Р. Шаронов, В. Г. Шантала, Н. И. Алфимова // Строительные материалы. — 2007. — № 8. — С. 24–25.
10. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных жидких сред / В. Н. Хмелев, С. С. Хмелев, Р. Н. Голых, Р. В. Барсуков // Ползуновский вестник. — 2010. — № 3. — С. 321 – 325.

---

## ACTUAL METHODS OF ACTIVATION OF WATER-CEMENT SUSPENSIONS IN CONCRETE PRODUCTION

**R. R. Sharapov**  
**A. A. Parusov**

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

---

### Abstract

The authors analyzed relevant methods for improving the properties of modern concrete. The article discusses various methods of mechanical activation of concrete, identifies the advantages and disadvantages of the proposed options for exposure to water-cement suspension. The principle of operation of the installation for ultrasonic treatment of suspensions and the advantages of its use in comparison with other activation methods are described.

### The Keywords

*concretes, mortars, chemical additives, mechanical activation, hydrodynamic activation, rotary pulsating apparatus, ultrasonic activation*

### Date of receipt in edition

05.02.2024

### Date of acceptance for printing

15.02.2024

---

### Ссылка для цитирования:

Р. Р. Шаронов, А. А. Парусов. Сравнение актуальных методов активации водно-цементных суспензий при производстве бетонов. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 29–33.



УДК 624.04, 534.015

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_34-46

---

## A FINITE ELEMENT FORCE METHOD APPLIED TO FREE VIBRATION OF ROD SYSTEMS

**V. V. Lalin**  
**H. H. Ngo**  
**A. M. Vavilova**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg

---

### **Abstract**

In this study, the novel formulation of rod structures for dynamic analysis by the finite element force method using the element forces is proposed. The general equation of natural oscillation in which the unknowns of equation are nodal forces. The modified flexibility matrix is developed via the combination of consistent and lumped flexibility matrices with the specific ratio. The rate of convergence of frequencies using the modified flexibility matrix is considered. Numerical examples for the structural rods and frames are given to verify the effectiveness and practical applicability of the present study. It has been found that for a rod system when the use of modified flexibility formulation provides a good rate of convergence.

### **The Keywords**

*element forces, force method, finite element force method, flexibility matrices, inverse mass matrices*

### **Date of receipt in edition**

05.02.2024

### **Date of acceptance for printing**

16.02.2024

---

### **Introduction**

Rod systems are widely used in various scientific and engineering fields, including aerospace, architecture, medicine, and robotics. In free vibration analysis, the dynamic response of a rod system is expressed through two basic parameters such as the natural frequencies and mode shapes by using two well-known methods: the force method (FM) and displacement method (DM). Besides, the finite element method (FEM) is most commonly used in developing commercial software applications (Lira, Scad, etc.) for structural analysis and design. Obviously, the FEM is implemented in the form of the DM that it is called the finite element displacement method (FEDM) [1, 2]. On the other hand, the FEM is developed in the form of the FM that it is called the finite element force method [3, 4] or finite element flexibility method (FEFM) [5]. In addition, the mixed and hybrid finite element methods are presented in [6].

The early stage of development of the FM by using matrix calculations is found in [7–10]. Then, different formulations and variations of the FM have been proposed and used in engineering practice. Some of these methods are: the integrated force method (N. Patnaik) [11], the graph-theoretical force method (A. Kaveh) [12, 13], the generalized flexibility method (V. A. Meleshko) [14], the loop resultant method (V.V. Lalin) [15]. Furthermore, the



FM has been extended to handle various other problems in structural analysis, such as stability [16] and nonlinear [17, 18] analyses, as well as optimal design [19–22].

In this study, the FEFM is extended to the modified flexibility matrix for free vibration problems and it will be called the modified FEFM or MFEFM. In order to form the modified flexibility matrix, a suitable ratio between the consistent and lump flexibility matrices is determined. Three examples are analysed. The numerical results are compared to solutions of analytical models and Scad software to demonstrate the accuracy and the validity of the present formulation.

### Formulations

The FEFM using the element forces for the equation of longitudinal and bending vibrations is described as follows. The rotational inertia of the cross-section of a rod is not considered.

#### The functional form of forces

In Fig. 1, an element-rod is subjected to a uniformly distributed longitudinal force  $q(x)$  per unit length. The displacement  $u(x)$  and internal axial force  $N(x)$  represent the response of this element-rod due to a known applied load.

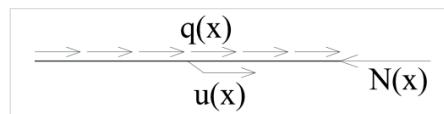


Fig. 1. The tension-compression element-rod

Let us establish the equation of longitudinal vibration of an element-rod.

The following relationships can be established:

$$\frac{1}{EA}N = \varepsilon, \quad (1)$$

and

$$\varepsilon = u', \quad (2)$$

where  $EA$  is the longitudinal stiffness,  $\varepsilon$  is the axial stress,  $(...)'$  denotes a derivative with respect to  $x$ .

Substituting expression (2) into expression (1) and taking its derivative with respect to  $x$ :

$$\frac{1}{EA}N' = u''. \quad (3)$$

In addition, we have the following relation:

$$N' + q = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho \ddot{u}, \quad (4)$$

or

$$N' \frac{1}{\rho} + q \frac{1}{\rho} = \ddot{u}, \quad (5)$$

where  $\rho$  is the density of the material, a dot over  $u$  denotes a partial derivative with respect to time.

By differentiating Eq. (5) with respect to  $x$ , we obtain

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( N' \frac{1}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( q \frac{1}{\rho} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\ddot{u}), \quad (6)$$

or

$$N'' \frac{1}{\rho} + q' \frac{1}{\rho} = (\ddot{u})'. \quad (7)$$

Substituting Eq. (2) into Eq. (7), we obtain

$$N'' \frac{1}{\rho} + q' \frac{1}{\rho} = \ddot{\varepsilon}. \quad (8)$$

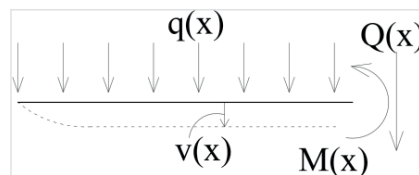
Substituting Eq. (1) into Eq. (8), we obtain

$$\frac{1}{\rho} N'' + q' \frac{1}{\rho} = \frac{1}{EA} \ddot{N}. \quad (9)$$

From Eq. (9), we have the following functional form in terms of the function  $N(x, t)$ :

$$L(N) = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^l \left( \frac{1}{2} \frac{1}{\rho} (N')^2 - \frac{1}{2} \frac{1}{EA} (\dot{N})^2 - \frac{1}{\rho} Nq' \right) dx dt. \quad (10)$$

Next, consider an element-rod under external transverse forces  $q(x)$  as shown in **Fig. 2**. The displacement  $v(x)$ , the transverse force  $Q(x)$  and the bending moment  $M(x)$  represent the response of this element-rod due to applied load  $q(x)$ .



**Fig. 2.** The bending element-rod: \_\_\_\_\_ the initial state, ..... the deformed state

Let us establish the equation of bending vibration of an element-rod.

The following relationships can be established:

$$v'' = \frac{-M}{EI}, \quad (11)$$

and

$$Q = M', \quad (12)$$

where  $EI$  is the bending stiffness,  $(...)'$  is the second derivative of the function.

By setting the second derivative of Eq. (11) with respect to  $x$ , we obtain



$$v^{IV} = \frac{-M''}{EI}. \quad (13)$$

In addition, we have the equation of motion for displacement  $v(x)$ :

$$EIv^{IV} + \rho\ddot{v} = q, \quad (14)$$

where  $\rho$  is the density.

Substituting Eq. (13) into Eq. (14), we obtain

$$-M'' + \rho\ddot{v} = q, \quad (15)$$

or

$$\frac{-1}{\rho}M'' + \ddot{v} = \frac{1}{\rho}q. \quad (16)$$

Let's set up the second derivative of Eq. (16) with respect to  $x$ , we obtain

$$\left(\frac{-1}{\rho}M''\right)'' + (v'')'' = \frac{1}{\rho}q''. \quad (17)$$

Substituting Eq. (11) into Eq. (17), we obtain

$$\frac{1}{\rho}M^{IV} + \frac{1}{EI}\ddot{M} + \frac{1}{\rho}q'' = 0. \quad (18)$$

From Eq. (18), the functional form can be expressed in terms of the function  $M(x, t)$ :

$$L(M) = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \frac{1}{\rho} (M'')^2 - \frac{1}{2} \frac{1}{EI} \dot{M}^2 + \frac{1}{\rho} Mq'' \right) dx dt. \quad (19)$$

### The element forces

For the longitudinal vibration of a rod, is assumed to be in the form:

$$N(x, t) = N_1(t) \left(1 - \frac{x}{l_e}\right) + N_2(t) \frac{x}{l_e}, \quad (20)$$

where  $H(x) = \left[ \left(1 - \frac{x}{l_e}\right) \quad \frac{x}{l_e} \right]$ ,  $\{N(t)\} = \{N_1(t) \quad N_2(t)\}^T$ , the superscript  $T$  denotes the transpose of the matrix, and  $l_e$  — the initial length of an element rod.

By substituting the expression (20) into each term of the functional form (10), we obtain:

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \frac{1}{\rho} (N')^2 \right) dx dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} N^T \frac{1}{\rho} (H')^T H' N \right) dx dt, \quad (21)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \frac{1}{EA} (\dot{N})^2 \right) dx dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \dot{N}^T \frac{1}{EA} H^T H \dot{N} \right) dx dt, \quad (22)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{\rho} N q' \right) dx dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( N^T \frac{1}{\rho} H q' \right) dx dt. \quad (23)$$

From the expressions (21), (22) and (23), by setting  $Z^{ax} = \int_0^{l_e} \frac{1}{\rho} (H')^T H' dx$  and it is called the inverse mass matrix (IMM),  $V_C^{ax} = \int_0^{l_e} \frac{1}{EA} H^T H dx$  — the consistent flexibility matrix (CFM),  $P = \int_0^{l_e} \frac{1}{\rho} H q' dx$ .

Then, it is not difficult to obtain  $Z^{ax} = \frac{1}{\rho l_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ (sym.) & 1 \end{bmatrix}$ ,  $V_C^{ax} = \frac{l_e}{6EA} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ (sym.) & 2 \end{bmatrix}$ .

The element forces allows its consistent flexibility matrix to be reduced to the diagonal matrix, thus  $V_L^{ax} = \text{diag}(\frac{l_e}{2EA}, \frac{l_e}{2EA})$  is called the lumped flexibility matrix (LFM).

Now, let's rewrite the functional form (10) as below:

$$L(N) = \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{1}{2} N^T Z^{ax} N - \frac{1}{2} \dot{N}^T V^{ax} \dot{N} - N^T P \right) dt. \quad (24)$$

The equation of longitudinal vibration can be obtained based on the functional form (24):

$$V^{ax} \ddot{N} + Z^{ax} N = 0, \quad (25)$$

where  $\det(Z^{ax}) = 0$ ,  $\det(V^{ax}) \neq 0$ .

Assuming the function  $M(x, t)$  for the bending vibration of a rod as

$$M(x, t) = Q_1(t) \mathcal{E}_1(x) + M_1(t) \mathcal{E}_2(x) + Q_2(t) \mathcal{E}_3(x) + M_2(t) \mathcal{E}_4(x), \quad (26)$$

where  $\mathcal{E}_i(x)$  — the Hermite polynomials ( $i = 1, 2, 3, 4$ ).

The expression (26) can be represented in matrix form:

$$M(x, t) = [\mathcal{E}_1(x) \quad \mathcal{E}_2(x) \quad \mathcal{E}_3(x) \quad \mathcal{E}_4(x)] \begin{Bmatrix} Q_i(t) \\ M_i(t) \end{Bmatrix} = HF, \quad (27)$$

where  $H = [\mathcal{E}_1(x) \quad \mathcal{E}_2(x) \quad \mathcal{E}_3(x) \quad \mathcal{E}_4(x)]$  and

$$F = \{Q_i(t) \quad M_i(t)\}^T = \{Q_1(t) \quad M_1(t) \quad Q_2(t) \quad M_2(t)\}^T.$$

By substituting the expression (27) into each term of the functional form (19), we have

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \frac{1}{\rho} (M'')^2 \right) dx dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} F^T \frac{1}{\rho} (H'')^T H'' F \right) dx dt, \quad (28)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \frac{1}{EI} \dot{M}^2 \right) dx dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{2} \dot{F}^T \frac{1}{EI} H^T H \dot{F} \right) dx dt, \quad (29)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( \frac{1}{\rho} M q'' \right) dx dt = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^{l_e} \left( F^T \frac{1}{\rho} H q'' \right) dx dt. \quad (30)$$

From the expressions (28), (29) and (30) by setting  $Z^{be} = \int_0^{l_e} \frac{1}{\rho} (H'')^T H'' dx$  — the IMM,  $V_C^{be} = \int_0^{l_e} \frac{1}{EI} H^T H dx$  — the CFM, and  $P = \int_0^{l_e} \frac{1}{\rho} H q'' dx$ . Here

$$Z^{be} = \frac{1}{\rho l_e} \begin{bmatrix} \frac{12}{l_e^2} & \frac{6}{l_e} & \frac{-12}{l_e^2} & \frac{6}{l_e} \\ & 4 & \frac{-6}{l_e} & 2 \\ (sym.) & & \frac{12}{l_e^2} & \frac{-6}{l_e} \\ & & & 4 \end{bmatrix}, V_C^{be} = \frac{1}{EI} \begin{bmatrix} \frac{13l_e}{35} & \frac{11l_e^2}{210} & \frac{9l_e}{70} & \frac{-13l_e^2}{420} \\ & \frac{l_e^3}{105} & \frac{13l_e^2}{420} & \frac{-l_e^3}{140} \\ (sym.) & & \frac{13l_e}{35} & \frac{-11l_e^2}{210} \\ & & & \frac{l_e^3}{105} \end{bmatrix},$$

and  $V_L^{be} = diag\left\{ \frac{l_e}{2EI}, \frac{l_e^3}{24EI}, \frac{l_e}{2EI}, \frac{l_e^3}{24EI} \right\}$  is the LFM.

We can rewrite the functional form (19) as

$$L(M) = \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{1}{2} F^T Z^{be} F - \frac{1}{2} \dot{F}^T V^{be} \dot{F} + F^T P \right) dt. \quad (31)$$

The equation of bending vibration can be obtained based on the functional form (31):

$$V^{be} \ddot{F} + Z^{be} F = 0, \quad (32)$$

where  $\det(Z^{be}) = 0$ ,  $\det(V^{be}) \neq 0$ .

Using the element forces of proposed formulation that forces, moments ( $N_{1x}$ ,  $Q_{1y}$ ,  $M_{1z}$ ,  $N_{2x}$ ,  $Q_{2y}$ ,  $M_{2z}$ ) at two ends of the rod which are called the nodal forces as shown in Fig. 3.



Fig. 3. Finite element (FE) under tension, compression and bending forces

The equation of natural oscillation of a rod taking into account the axial and bending vibrations is shown as below:

$$V\ddot{R} + ZR = 0. \quad (33)$$

$$\text{where } R = [N_i \quad Q_i \quad M_i]^T, Z = \frac{1}{\rho l_e} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ & \frac{12}{l_e^2} & \frac{6}{l_e} & 0 & \frac{-12}{l_e^2} & \frac{6}{l_e} \\ & & 4 & 0 & \frac{-6}{l_e} & 2 \\ & & & 1 & 0 & 0 \\ & (sym.) & & & \frac{12}{l_e^2} & \frac{-6}{l_e} \\ & & & & & 4 \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} \frac{l_e}{3EA} & 0 & 0 & \frac{l_e}{6EA} & 0 & 0 \\ & \frac{13l_e}{35EI} & \frac{11l_e^2}{210EI} & 0 & \frac{9l_e}{70EI} & \frac{-13l_e^2}{420EI} \\ & & \frac{l_e^3}{105EI} & 0 & \frac{13l_e^2}{420EI} & \frac{-l_e^3}{140EI} \\ & & & \frac{l_e}{3EA} & 0 & 0 \\ & (sym.) & & & \frac{13l_e}{35EI} & \frac{-11l_e^2}{210EI} \\ & & & & & \frac{l_e^3}{105EI} \end{bmatrix}.$$

In free vibration, it is assumed that the element forces are the longitudinal and bending harmonics in the time:

$$|Z - \omega_n^2 V| \bar{R} = 0. \quad (34)$$

where  $\omega$  and  $\bar{R}$  are the frequency and force mode shape, respectively.

We investigate the rate of convergence of frequencies using the modified flexibility matrix of a rod which is created by the combination of consistent and lumped flexibility matrices in a specific ratio, as shown below:

$$V = \begin{bmatrix} \frac{l_e}{EA} (\frac{\alpha_1}{3} + \frac{\beta_1}{2}) & 0 & 0 & \alpha_1 \frac{l_e}{6EA} & 0 & 0 \\ & \frac{l_e}{EI} (\frac{13\alpha_2}{35} + \frac{\beta_2}{2}) & \alpha_1 \frac{11l_e^2}{210EI} & 0 & \alpha_1 \frac{9l_e}{70EI} & \alpha_1 \frac{-13l_e^2}{420EI} \\ & & \frac{l_e^3}{EI} (\frac{\alpha_1}{105} + \frac{\beta_2}{24}) & 0 & \alpha_1 \frac{13l_e^2}{420EI} & \alpha_1 \frac{-l_e^3}{140EI} \\ & & & \frac{l_e}{EA} (\frac{\alpha_1}{3} + \frac{\beta_1}{2}) & 0 & 0 \\ & (sym.) & & & \frac{l_e}{EI} (\frac{13\alpha_1}{35} + \frac{\beta_2}{2}) & \alpha_1 \frac{-11l_e^2}{210EI} \\ & & & & & \frac{l_e^3}{EI} (\frac{\alpha_1}{105} + \frac{\beta_2}{24}) \end{bmatrix},$$

here  $\alpha_1 = \frac{3}{5}, \beta_1 = \frac{2}{5}, \alpha_2 = \frac{8}{9}, \beta_2 = \frac{1}{9}$ .

Examples of natural vibrations for structural rods and frames of this study using the developed program of the FEFM and MFEFM with the help of Matlab software are given below.

### Numerical results of structural rods

*Example 1:* Consider a rod with different boundary conditions.

Initial data: Young's modulus  $E = 2.1 \times 10^{11}$  (N/m<sup>2</sup>), the length of a rod  $L = 1$  (m), the square cross-section with a square side 0.1 (m) and the mass per unit length of a rod  $\rho = 7830$  (kg/m<sup>3</sup>).

The exact solutions evaluated using the differential equation of vibration of a rod. The nth natural frequency of longitudinal vibration of a rod with fixed-fixed ends is given by  $\omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ , here  $n = 1, 2,$

3,...; the nth natural frequency of bending vibration of a rod with pinned-fixed ends  $\omega_n = \left(\frac{\lambda_n}{L}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$ ,

here  $\lambda_1 = 3.9266$ ,  $\lambda_2 = 7.0686$ ,  $\lambda_3 = 10.2102$ ,  $\lambda_4 = 13.3518$ ,  $\lambda_n = \frac{\pi}{4}(4n+1)$ , ( $n > 4$ ).

The numerical results of the first five natural frequencies are performed for rods from 2 to 16 finite elements. The normal, italic and bold values are obtained from Scad, the FEFM and MFEFM, respectively.

The error between numerical and exact solutions can be calculated by

$$\delta_n = \frac{|Numerical - Exact|}{Exact} \quad (35)$$

The error of numerical results generated by Scad, the FEFM and MFEFM, is given in **tables 1** and **2**.

Table 1

The errors of the longitudinal natural vibration frequencies

$\delta_n$	2FE	4FE	8FE	16FE	
1	0.108	0.035	0.016	0.011	Scad
	<i>0.103</i>	<i>0.026</i>	<i>0.007</i>	<i>0.002</i>	FEFM
	<b>0.033</b>	<b>0.006</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	MFEFM
2	–	0.108	0.035	0.016	Scad
	–	<i>0.103</i>	<i>0.026</i>	<i>0.006</i>	FEFM
	–	<b>0.033</b>	<b>0.006</b>	<b>0.001</b>	MFEFM
3	–	0.223	0.066	0.024	Scad
	–	<i>0.195</i>	<i>0.058</i>	<i>0.015</i>	FEFM
	–	<b>0.108</b>	<b>0.015</b>	<b>0.003</b>	MFEFM
4	–	–	0.109	0.035	Scad
	–	–	<i>0.102</i>	<i>0.026</i>	FEFM
	–	–	<b>0.033</b>	<b>0.006</b>	MFEFM
5	–	–	0.161	0.049	Scad
	–	–	<i>0.153</i>	<i>0.040</i>	FEFM
	–	–	<b>0.062</b>	<b>0.010</b>	MFEFM

From **table 1**, we can draw the following facts:

- The rate of convergence of frequencies of Scad is slower as compared to the FEFM and MFEFM (e. g., values  $\delta_{1(Scad)} = 0.016$ ,  $\delta_{1(FEFM)} = 0.007$ ,  $\delta_{1(MFEFM)} = 0.001$  by using 8 FE).
- The rate of convergence of the MFEFM is much fast as compared to the FEFM and Scad for most frequencies (e. g., values  $\delta_{5(MFEFM)} = 0.062$ ,  $\delta_{5(FEFM)} = 0.153$ ,  $\delta_{5(Scad)} = 0.161$  by using 8 FE).

Table 2

The errors of the natural frequencies of bending vibration

$\delta_n$	2FE	4FE	8FE	16FE	
1	0.083	0.043	0.041	0.041	Scad
	<i>0.008</i>	<i>0.000</i>	<i>0.000</i>	<i>0.000</i>	FEFM
	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	MFEFM

2	–	0.113	0.089	0.086	Scad
	–	0.006	0.000	0.000	FEFM
	–	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	MFEFM
3	–	0.263	0.153	0.142	Scad
	–	0.023	0.002	0.000	FEFM
	–	<b>0.008</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	MFEFM
4	–	–	0.232	0.204	Scad
	–	–	0.005	0.000	FEFM
	–	–	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	MFEFM
5	–	–	0.321	0.268	Scad
	–	–	0.011	0.001	FEFM
	–	–	<b>0.007</b>	<b>0.001</b>	MFEFM

The following facts can be drawn in **table 2**:

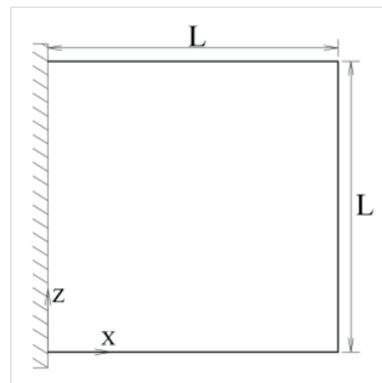
- The rate of convergence of frequencies of Scad is much slower as compared to the FEFM and MFEFM for most cases from 2 to 16 FE (e. g., values  $\delta_{1(\text{Scad})}=0.083$ ,  $\delta_{1(\text{FEFM})}=0.008$ ,  $\delta_{1(\text{MFEFM})}=0.004$  by using 2 FE).
- The rate of convergence of frequencies of the MFEFM is fast as compared to the FEFM, but in some cases both the FEFM and MFEFM have similar rate of convergence (e. g., values  $\delta_{5(\text{FEFM})}=\delta_{5(\text{MFEFM})}=0.001$  by using 16 FE).

### Numerical results of structural frames

*Example 2.* The planar frame is given, see **Fig. 4**.

Initial data: The elastic modulus  $E=2 \times 108$  (kN/m<sup>2</sup>), the cross-sectional area  $A=0.0144$  (m<sup>2</sup>), the moment of inertia  $I=1.728 \times 10^{-5}$  (m<sup>4</sup>), the mass per unit length of a rod  $\rho=2750$  (kg/m<sup>3</sup>).

Let's consider three options for the finite element mesh: 3, 6 and 9 finite elements.



**Fig. 4.** The planar frame 3 rods

**Table 3** shows the natural frequencies (Hz) taking into account the axial and bending vibrations, the error of results is enclosed in brackets.



Table 3

The first five natural frequencies of the planar frame

$\omega_n$	3FE		6FE		9FE		Exact
	FEFM	MFEFM	FEFM	MFEFM	FEFM	MFEFM	
1	150.49 (0.0332)	<b>148.37</b> <b>(0.0187)</b>	150.21 (0.0313)	<b>149.71</b> <b>(0.0279)</b>	150.18 (0.0311)	<b>149.97</b> <b>(0.0297)</b>	145.65
2	682.32 (0.2318)	<b>624.65</b> <b>(0.1277)</b>	581.84 (0.0504)	<b>575.25</b> <b>(0.0385)</b>	579.02 (0.0453)	<b>576.31</b> <b>(0.0404)</b>	553.92
3	1505.7 (0.6758)	<b>1096.4</b> <b>(0.2202)</b>	978.31 (0.0888)	<b>951.95</b> <b>(0.0595)</b>	969.67 (0.0792)	<b>958.86</b> <b>(0.0672)</b>	898.52
4	1803.9 (0.9826)	<b>1605.1</b> <b>(0.7641)</b>	1006.7 (0.1064)	<b>991.25</b> <b>(0.0895)</b>	995.10 (0.0937)	<b>989.15</b> <b>(0.0872)</b>	909.85
5	1923.7 (0.2376)	<b>1692.1</b> <b>(0.0886)</b>	1695.9 (0.0910)	<b>1665.6</b> <b>(0.0715)</b>	1641.7 (0.0562)	<b>1630.0</b> <b>(0.0486)</b>	1554.4

Note: The exact solutions are performed by Scad with 30 FE; FEFM and MFEFM — the results using the finite element force method and the modified finite element force method, respectively.

*Example 3.* Consider the space frame as shown in Fig. 5.

Initial data: The elastic modulus  $E = 3 \times 10^7$  (kN/m<sup>2</sup>), the cross-sectional area  $A = 0.01$  (m<sup>2</sup>), the coefficient of cross-sectional shape  $\kappa = 5/6$ , Poisson's ratio  $\nu = 0.2$ , the moment of inertia  $I = 8.33 \times 10^{-6}$  (m<sup>4</sup>), the mass per unit length of a rod  $\rho = 24517$  (N/m<sup>3</sup>).

Let's consider three options for the finite element mesh: 8, 16 and 24 finite elements.

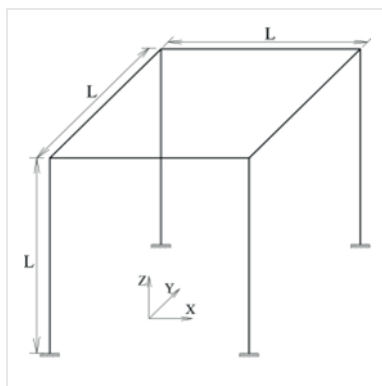


Fig. 5. The space frame 8 rods

Table 4 shows the natural frequencies (Hz) taking into account the axial, bending and torsional vibrations.

Table 4

## The first five natural frequencies of the planar frame

$\omega_n$	8FE		16FE		24FE		Exact
	FEFM	MFEFM	FEFM	MFEFM	FEFM	MFEFM	
1	40.064 (0.0164)	<b>39.725</b> <b>(0.0078)</b>	39.972 (0.0140)	<b>39.895</b> <b>(0.0121)</b>	39.967 (0.0139)	<b>39.933</b> <b>(0.0130)</b>	39.419
2	50.932 (0.0148)	<b>49.125</b> <b>(0.0212)</b>	50.852 (0.0132)	<b>50.396</b> <b>(0.0041)</b>	50.843 (0.0130)	<b>50.641</b> <b>(0.0090)</b>	50.191
3	88.196 (0.0193)	<b>86.240</b> <b>(0.0033)</b>	87.777 (0.0145)	<b>87.349</b> <b>(0.0095)</b>	87.724 (0.0138)	<b>87.540</b> <b>(0.0117)</b>	86.526
4	185.47 (0.1320)	<b>172.85</b> <b>(0.0550)</b>	165.99 (0.0131)	<b>164.20</b> <b>(0.0022)</b>	165.42 (0.0096)	<b>164.71</b> <b>(0.0053)</b>	163.84
5	225.36 (0.1873)	<b>208.01</b> <b>(0.0959)</b>	193.87 (0.0214)	<b>191.96</b> <b>(0.0113)</b>	192.96 (0.0166)	<b>192.25</b> <b>(0.0129)</b>	189.81

Note: The exact solutions are performed by Scad with 80 FE.

From **tables 3 and 4**, we can conclude that calculations using the element forces in the form of the MFEFM give fairly accurate results, even with a coarse mesh.

### Conclusions

The numerical examples of structural rods with different boundary conditions show all values obtained from the FEFM, MFEFM and Scad that converge to the exact values. The results dealt with the element forces by using a modified flexibility matrix which show the MFEFM is far more efficient than the FEFM and Scad in terms of convergence speed. Illustrated examples such as the planar and space frames were considered in order to assess the performance of the proposed formulation.

The FEFM solution can be improved using the combined technique of the consistent and lumped flexibility matrices in appropriate ratios. In the MFEFM, this technique is used for longitudinal and bending vibrations, which is not necessarily in the same ratio but must satisfy the following conditions:  $\alpha_1 + \beta_1 = 1$  and  $\alpha_2 + \beta_2 = 1$ .

### References

1. Mei, C. Finite element displacement method for large amplitude free flexural vibrations of beams and plates, *Computers & Structures*, 1973, 3(1), pp. 163 – 174.
2. Malkus, D. S. A finite element displacement model valid for any value of the compressibility, *International Journal of Solids and Structures*, 1976, 12(11), pp. 731 – 738.
3. Soyer, E., Topcu, A. Sparse self-stress matrices for the finite element force method, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2001, 50(9), pp. 2175 – 2194.

4. *Kaveh, A., Massoudi, M. S.* Recent Advances in the Finite Element Force Method, In: B.H.V. Topping and P. Iványi (eds) "Computational Methods for Engineering Technology". Saxe-Coburg Publications, Stirlingshire, UK, Chapter 12, 2014, pp. 305 – 324.
5. *Fried, I., Coleman, M.* Improvable bounds on the largest eigenvalue of a completely positive finite element flexibility matrix, *Journal of Sound and Vibration*, 2005, 283(1 – 2), pp. 487 – 494.
6. *Brezzi, F., Fortin, M.* Mixed and Hybrid Finite Element Methods, Springer New York, 1991, 344 p.
7. *Przemieniecki, J. S.* Theory of matrix structural analysis, McGraw-Hill Inc., 1968, 465 p.
8. *Argyris, J. H., Kelsey, S.* The matrix force method of structural analysis and some new applications, Aeronautical Research Council Reports & Memoranda, 1956, 42 p.
9. *Gallagher, R. H., Dhalla, A. K.* Direct Flexibility Finite Element Elastoplastic Analysis, IASMiRT, Berlin, Germany, 1971, pp. 443 – 462.
10. *Kon, C. G., Ang, K. K., Xu, R.* An eigen-force method for finite element analysis and reanalysis, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1997, 40(5), pp. 777 – 796.
11. *Patnaik, N., Yadagiri, S.* Frequency analysis of structures by integrated force method, *Journal of Sound and Vibration*, 1982, 83, pp. 93 – 109.
12. *Kaveh, A., Massoudi, M. S., Massoudi, M. J.* Efficient finite element analysis using graph-theoretical force method; rectangular plane stress and plane strain serendipity family elements, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2014, 58, pp. 3 – 22.
13. *Kaveh A., Aalizadeh Arvanaq R.* Free vibration of symmetric planar frames via the force method and canonical forms, *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 2011, 27(6), pp. 936 – 961.
14. *Meleshko, V. A., Rutman, Y. L.* Generalized Flexibility Method by the Example of Plane Elastoplastic Problem, *Procedia Structural Integrity*, 2017, 6, pp. 140 – 145.
15. *Lalin, V. V., Ngo, H. H.* The Loop Resultant Method for Static Structural Analysis, *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2022, 1(18), pp. 72 – 81.
16. *Zweig, A.* Force Method for Frame Buckling Analysis, *Journal of Structural Engineering*, 1984, 110(8), pp. 1893 – 1912.
17. *Du Pasquier, C., Shea, K.* Validation of a nonlinear force method for large deformations in shape-morphing structures, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2022, 65(87).
18. *Kaveh, A., Rahami, H.* Nonlinear analysis and optimal design of structures via force method and genetic algorithm, *Computers and Structures*, 2006, 84, pp. 770 – 778.
19. *Singh, A., Yang, F., Sedaghati, R.* Design optimization of stiffened panels using finite element integrated force method, *Engineering Structures*, 2018, 159, pp. 99 – 109.
20. *Dizaji, F. S., Dizaji, M. S.* Novel computational mathematical algorithms for structural optimization using graph-theoretical methods, *Engineering Computations*, 2022, 39(6), pp. 2391 – 2423.
21. *Joseph, K. T.* A new implementation of the force method and the optimum design of large trusses, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1989, 28(4), pp. 893 – 907.
22. *Koohestani, K.* An orthogonal self-stress matrix for efficient analysis of cyclically symmetric space truss structures via force method, *International Journal of Solids and Structures*, 2011, 48, pp. 227 – 233.

---

## СИЛОВОЙ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЙ К СВОБОДНОЙ ВИБРАЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

**В. В. Лалин**  
**Х. Х. Нго**  
**А. М. Вавилова**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

---

### **Аннотация**

В этом исследовании предлагается новая формулировка стержневых конструкций для динамического анализа методом конечных элементов с использованием элементных сил. Общее уравнение собственных колебаний, в котором неизвестными уравнения являются узловые силы. Модифицированная матрица гибкости разрабатывается путем сочетания согласованной и сосредоточенной матриц гибкости с определенным соотношением. Рассматривается скорость сходимости частот с использованием модифицированной матрицы гибкости. Численные примеры для конструктивных стержней и рам приведены для проверки эффективности и практической применимости настоящего исследования. Было обнаружено, что для стержневой системы при использовании модифицированной формулы гибкости обеспечивается хорошая скорость сходимости.

### **Ключевые слова**

*элементарные силы, силовой метод, силовой метод конечных элементов, матрицы гибкости, обратные матрицы масс*

### **Дата поступления в редакцию**

05.02.2024

### **Дата принятия к печати**

16.02.2024

---

### **Ссылка для цитирования:**

*V. V. Lalin, H. H. Ngo, A. M. Vavilova. A finite element force method applied to free vibration of rod systems. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 34–46.*



УДК 628.1

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_47-53

## ВОДОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

И. И. Павлинова \*

Е. В. Макиша \*\*

И. К. Дмитриев \*\*\*

\* АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

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

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

### Аннотация

В статье рассматривается комплекс вопросов, связанных с экономией воды в многоквартирных жилых домах с целью достижения необходимого уровня водосбережения в современных городах и населенных пунктах. Увеличение численности населения нашей планеты приводит к использованию огромных объемов воды на различные нужды. С целью водосбережения в многоквартирных жилых домах становится целесообразным замена устаревших моделей смесителей на новые, например, термостатические или бесконтактные. Положительным решением станет использование водосберегающих насадок. Также к водосбережению приводит принудительная установка приборов учета потребления холодной и горячей воды в новых домах. Следует в дальнейшем продолжать разрабатывать и применять в многоквартирных жилых зданиях новые водо- и ресурсосберегающие решения, которые будут приводить к экономии воды в системах внутреннего водопровода.

### Ключевые слова

*внутренний водопровод, смеситель, температура, давление, водосбережение, город, водопотребление*

### Дата поступления в редакцию

12.02.2024

### Дата принятия к печати

22.02.2024

Вода является ценным ресурсом, без которого жизнь на нашей планете была бы невозможна. Она используется в городах и населенных пунктах на различные цели (хозяйственно-питьевые, производственные, противопожарные и др.) [1 – 4]. Забор, очистка и подача воды конечному потребителю требует финансовых вложений [5 – 6], которые в некоторых случаях могут быть очень значительными, когда необходимо организовывать систему водоснабжения в сложных природных условиях.

По данным, которые были предоставлены международной финансовой организацией The World Bank на 2021 год, население земного шара приблизилось к отметке в 8 млрд. человек. С учетом этого утверждения можно смело сказать, что мировое водопотребление из года в год будет только возрастать.

тать. Что касается экологической ситуации в мире, то она будет ухудшаться. Это потребует строительства современных очистных сооружений для обеспечения каждого жителя водой требуемого качества. Нагрузка в основном ляжет на развивающиеся страны, где уровень рождаемости за последние 25–30 лет значительно вырос.

Также за последние годы продолжают развиваться города и населенные пункты, в которых численность населения увеличивается за счет миграции из сельской местности. Люди едут на заработки в те места, где можно найти работу. Увеличение численности населения города приводит к необходимости строительства многоквартирных жилых домов с высокой этажностью, т. к. стоимость земли под застройку ежегодно вырастает в цене. Например, в столице России средняя этажность новостроек уже давно перешагнула отметку в 16–17 этажей. Новые районы обрастают высотными домами, в которых уже можно встретить здания в 25–30 этажей. Строительство таких домов требует использование современных технологий возведения зданий и строительных материалов, а также инженерных систем, позволяющих комфортно существовать на урбанизированной территории [7–13].

Несомненно, что каждый построенный многоквартирный жилой дом является большим потребителем водных ресурсов [14]. В данном случае речь идет о системах хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения. Также предусматривается подача воды на поливочные нужды. Именно затраты на хозяйственно-питьевое водоснабжение приводят к необходимости разработки и применения мероприятий, способных обеспечить водосбережение в системе.

Мероприятия по экономии воды следует разделить на несколько видов: технические и психологические.

В первом случае речь идет о использовании в системах внутреннего водопровода специальных решений и приборов, которые способны значительно снизить потребление воды, одновременно не ущемляя жителя в комфортном пользовании водными ресурсами.

Психологические методы экономии позволяют человеку самостоятельно приходить к пониманию необходимости целенаправленного и рационального водопотребления внутри многоквартирного жилого дома. Также житель начинает получать собственную финансовую выгоду от соблюдения таких условий.

Предлагается рассмотреть все основные мероприятия по экономии воды, которые способны значительно снизить излишние потери такого ценного ресурса в пределах многоквартирного жилого дома.

Один из самых распространенных приборов в квартирах жилых домов, который связан с использованием воды на различные нужды — это смеситель. Данное устройство устанавливается и подключается к системам внутреннего холодного и горячего водоснабжения. Оно позволяет подавать через излив воду необходимой температуры с требуемым напором. Оптимальное решение по экономии воды — это использование смесителей однорычажного типа вместо двухвентильных. Преимуществом такого выбора является быстрая регулировка расхода и температуры воды пользователем за счет передвижения рычага в пространстве. Таким образом, получается, что житель не производит излишние сливы воды, а сразу же приступает к проведению водных процедур (по сравнению с двухвентильными моделями смесителей). Также этот прибор на изливе имеет аэратор. Это приводит к тому, что потребитель значительно быстрее вымоет, например, грязные руки и, соответственно, потратит на эту процедуру значительно меньше воды, чем если бы аэратор отсутствовал в системе, т. к. такой прибор делает струю более объемной, экономия составляет около 5–7% воды от общего расхода.



Некоторое время назад были разработаны и выпущены в продажу современные варианты аэраторов, которые способны значительно улучшить характеристики любого смесителя, снизив дополнительно потери воды в системе. Эти приборы получили название водосберегающих насадок. Они работают следующим образом. Водосберегающая насадка устанавливается на излив смесителя. За управление подачи воды отвечает небольшой шток (стержень), интегрированный в центральную часть прибора. Пользователь вначале органами управления на любом смесителе (рычаг или вентиль) примерно настраивает желаемую температуру и напор воды. Сама водосберегающая насадка держит давление, а подача воды осуществляется только после нажатия на шток. Далее заданный расход проходит через сеточку прибора. Там вода разбивается на большое количество мелких струек. Общий выходящий объем воды оmyвает большую площадь смачиваемой поверхности. Пользователь, таким образом, начинает экономить воду. Для того, чтобы выключить подачу воды следует повторно нажать на шток. Такой принцип работы исключает излишние потери воды, которые практически снижаются до нуля, т. к. пользователь сразу приступает к водным процедурам.

Сегодня начинает пользоваться популярностью еще один вид смесителей — термостатический (рис. 1). Прибор способен осуществлять подачу воды заданной заранее температуры. В большинстве случаев на таком смесителе за это отвечает отдельная кнопка или рычаг. Работа с таким видом водоразборного прибора позволяет избежать излишних сливов горячей воды. Как правило, при нажатии данной кнопки в смеситель поступает вода температурой не выше 38–40 °С. Этого вполне достаточно, чтобы помыть руки или умыться. Также при пользовании прибором маленькими детьми можно быть уверенным, что ребенок не получит ожог горячей водой при ошибке в настройке температуры. Выбор в пользу такого смесителя будет интересен для пользователя с точки зрения платы за воду, т. к. меньше сливов горячей воды высокой температуры приведет к уменьшению оплаты ежемесячных коммунальных услуг.



Рис. 1. Блок управления термостатическим смесителем в душевой кабине (автор фотографии доц. Орлов Е. В.)

Более удобным и рациональным решением в пользу экономии воды в многоквартирном жилом доме будет являться также установка смесителя бесконтактного типа над умывальником (рис. 2). Данный прибор уже хорошо себя зарекомендовал в общественных зданиях с большим количеством присутствующих людей. К тому же, цена бесконтактного смесителя сегодня начинает снижаться, его популярность возрастает из года в год.



Рис. 2. Один из вариантов бесконтактного смесителя (автор фотографии доц. Орлов Е. В.)

Прибор включается тогда, когда к нему подносят руки. Активация подачи воды происходит посредством реагирования фотоэлемента, расположенного на корпусе (или непосредственно над изливом). Настройка температуры и напора производится заранее через блок управления. Таким образом, через смеситель проходит только тот объем воды, который нужен пользователю. Исключаются излишние сливы. Это приводит к солидному водосбережению в каждой квартире многоэтажного жилого дома. Положительным решением является еще то, что данный высокотехнологичный водоразборный прибор можно связать в единую систему умного дома.

Бесконтактный смеситель, установленный, например, в общественном здании, приводит к тому, что снижается вероятность передачи инфекции, т. к. к корпусу прибора пользователю нет необходимости прикасаться. Некоторые модели выпускаются с системами автоматической бесконтактной сушки рук горячим воздухом. Также есть варианты, когда рядом интегрируется бесконтактный прибор подачи жидкого мыла.

Психологические методы экономии воды воздействуют на сознание человека, запуская мыслительные процессы, которые впоследствии заставляют индивида выполнять те или иные действия, которые начинают приводить к солидному водосбережению.

Один из самых действенных методов — это принятие (и обязательное выполнение) закона о водосбережении, в котором прописана необходимость в обязательной установке приборов учета потребления горячей и холодной воды (водосчетчиков). После установки водосчетчика пользователь платит только за тот объем воды, который он использовал в течение месяца. В противном случае, если прибор учета воды не установлен, житель платит по повышенному тарифу, что для него невыгодно (происходят большие переплаты за повышенные нормативы, установленные ресурсоснабжающей компанией).

В будущем планируется ужесточать борьбу с жителями, которые не устанавливают водосчетчики. Главная задача такого решения — объяснить пользователю, что прибор учета потребления воды будет приводить к значительной экономии финансов человека, одновременно приводя к экономии водных ресурсов. Многие управляющие компании своими силами проводят различные семинары и мероприятия, на которых специалисты в простой и доходчивой форме объясняют людям основные преимущества вышеперечисленных решений.

В качестве дальнейших предложений по экономии воды следует разрабатывать на каждого человека, зарегистрированного в квартире, ежемесячные минимальные нормативы водопотребления, за которые он будет платить обычную оплату в соответствии с утвержденными ценами (например, как сейчас, по состоянию на январь 2024 года в столице стоимость одного кубического метра холодной воды составляет 50,93 рубля, а горячей 243,16 рублей). При превышении данных нормативов пользователю придется оплачивать стоимость воды по повышенному тарифу (например, в 1,5–2 раза больше, чем обычно), что для него будет невыгодно. Таким образом, следует прививать жителям многоквартирных жилых домов привычку рационально пользоваться водой на свои собственные нужды. Это, несомненно, будет стимулировать рост экономии воды в системе внутреннего водоснабжения.

Разработка и совершенствование новых методов экономии воды для жителей многоквартирного дома будет являться основной задачей, которая должна осуществляться для достижения требуемого водосбережения для крупных городов и населенных пунктов. Немаловажной помощью в решении проблемных вопросов станет международное сотрудничество с широким обменом опытом. Это позволит сохранять и приумножать такой ценный для нашей планеты ресурс каким является вода.

### Библиографический список

1. Хургин Р. Е., Чухин В. А. Управление жизненным циклом систем внутреннего водоснабжения зданий // Системные технологии. 2021. № 4 (41). С. 110–117.
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. Хургин Р. Е., Тюрин И. Д. Исследование надежности системы внутреннего водоснабжения // Системные технологии. 2021. № 4 (41). С. 81–86.
5. Ефремов Р. В., Зубарева О. Н., Шипков О. И. К вопросу о снижении капитальных затрат при строительстве систем внутреннего водоснабжения и водоотведения // Системные технологии. 2022. № 1 (42). С. 22–26.

6. Шипков О. И., Комарова Е. А., Тайбарей В. В., Гурьева Д. В. Особенности объемно-планировочных решений санитарно-технических помещений и инженерного оборудования квартир студийного типа // Системные технологии. 2018. № 1 (26). С. 65 – 68.
7. Синянский И. А., Гурьева Д. В., Лаврова М. В., Комарова Е. А. К вопросу о перспективе строительства апартаментов в городе Москве // Системные технологии. 2018. № 1 (26). С. 31 – 34.
8. Синянский И. А., Шипков О. И., Орлов Е. В. Использование легкого керамзитобетона для изготовления ограждений наружных стен // Системные технологии. 2020. № 1 (34). С. 53 – 56.
9. Лободенко Е. А., Синянский И. А., Орлов Е. В. Исследование свойств ячеистобетонных перемычек, армированных композитной арматурой из армирующего волокна, для малоэтажных зданий // Системные технологии. 2019. № 1 (30). С. 52 – 56.
10. Груздев В. С., Груздева Л. П., Синянский И. А. Правовые вопросы сохранения биоразнообразия в Валдайском национальном парке // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2015. № 1 (139). С. 43 – 48.
11. Дмитриев И. К. Результаты исследования несущей способности стержне-вантовой гирлянды и формы оболочек на ее основе // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 9 – 11.
12. Дмитриев И. К., Петухова К. Г. К вопросу возведения экспериментального большепролетного стержне-вантового купола // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 26 – 27.
13. Дмитриев И. К. Исследование деформации стержне-вантовой арки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 5. С. 72 – 77.
14. Хургин Р. Е., Дмитриев И. К. Утечки и потери воды в трубопроводных системах и меры по их сокращению // Системные технологии. 2021. № 3 (40). С. 63 – 70.

---

## WATER CONSERVATION IN THE INTERNAL WATER SUPPLY SYSTEM OF AN APARTMENT BUILDING

I. I. Pavlinova\*  
E. V. Makisha\*\*  
I. K. Dmitriev\*\*\*

\* JSC “MosvodokanalNIIproekt”, Moscow

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

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

---

### Abstract

The article considers a set of issues related to water conservation in multi-apartment residential buildings in order to achieve the necessary level of water conservation in modern cities and towns. The increase in the population of our planet leads to the use of huge amounts of water for various needs. In order to

### The Keywords

*internal water supply, mixer, temperature, pressure, water conservation, city, water consumption*



save water in multi-family residential buildings, it becomes advisable to replace outdated models of faucets with new ones, for example, thermostatic or contactless. A positive solution will be the use of water-saving nozzles. Also, the forced installation of metering devices for the consumption of cold and hot water in new homes leads to water conservation. In the future, it is necessary to continue to develop and apply new water- and resource-saving solutions in multi-apartment residential buildings, which will lead to water savings in indoor plumbing systems.

**Date of receipt in edition**

12.02.2024

**Date of acceptance for printing**

22.02.2024

**Ссылка для цитирования:**

*И. И. Павлинова, Е. В. Макиша, И. К. Дмитриев. Водосбережение в системе внутреннего водоснабжения многоквартирного жилого дома. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 47–53.*





УДК 628.2

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_54-61

---

## АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

**А. П. Андрианов\***

**Р. Е. Хургин\*\***

\* ООО «ВТ Эксперт», г. Москва

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

---

### Аннотация

Системы водоотведения применяются для поддержания на высоком уровне санитарной обстановки в городах и населенных пунктах. Финансовые затраты на их строительство значительны. С целью снижения капитальных затрат следует проектировать совершенные системы, которые будут надежны на всех сроках своей эксплуатации.

В статье были проанализированы причины нарушений работы водоотводящей сети и возможные их последствия. Однако для практических целей этого недостаточно. Необходима качественная и количественная оценка нарушений, а также обеспечение требуемой надежности водоотводящей сети (ВС), т. е. введение еще одного ее важнейшего свойства. В статье представлена классификация отказов ВС и ее отдельных элементов, так как способствует полному анализу, выявлению причин в экономических последствиях отказов, что вызывает наибольший интерес при изучении проблемы.

### Ключевые слова

*водоотводящая сеть, ресурс, колодец, сточные воды, отказ, надежность, эксплуатация*

### Дата поступления в редакцию

22.02.2024

### Дата принятия к печати

28.02.2024

---

Для улучшения качества работы системы требуется ее дальнейшее развитие с учетом современных требований [1]. От надежности работы системы водоотведения зависит качество жизни населения, а также уровень благоустройства городов и населенных пунктов [2–4]. Таким образом, требуется организация бесперебойной работы всей системы в течении всего ее жизненного цикла.

В связи с участвовавшими авариями на системах водоотведения различных городов и населенных пунктов, которые приводят к огромным ущербам, следует обратить внимание на повышение их уровня надежности [5–6]. Это также необходимо для поддержания экологической обстановки на высоком уровне.

Проблемам надежности систем водоотведения посвящены ряд работ, указанных в соответствующих трудах [7–10].



Однако несмотря на актуальность проблемы надежности системы водоотведения не проведено значительных исследований в этой области. Отсутствие систем по регистрации и сбору фактических данных о надежности, достаточно глубоких научных исследований и подробных литературных данных приводит к тому, что проектирование, строительство и эксплуатация системы водоотведения как с количественной, так и с качественной стороны не всегда являются оптимальными.

Анализ работы водоотводящих сетей и коллекторов по данным эксплуатации города Москвы показывает следующее. Нарушения возможно поделить на два вида:

1. Разрушение сооружений на сетях, например, дюкеров, труб и др. Это бывает нечасто, но ремонтно-восстановительные работы идут долго и затратны по многим параметрам.
2. Аварии, которые происходят на сети без разрушения сооружений. Как правило, частота их появления значительна. Однако они устраняются достаточно быстро.

Неисправности систем водоснабжения, тепловых сетей и прочих подземных коммуникаций также могут быть причиной аварии на водоотводящих сетях. Случаются аварии сети и коллекторов вследствие коррозии и старения трубопроводов. Анализ работы московской системы водоотведения показывает, что трубопроводы, уложенные более 50 лет назад, разрушаются в несколько раз больше, чем уложенные в 1980–1990 годы. В ряде случаев (по данным районных управлений канализационных сетей (РКС) г. Москвы) аварии трубопроводов носят весьма серьезный характер. Для их устранения требуется разрушение дорожных покрытий, вскрытие траншей, водопонижение и т. д. Время устранения может достигать 5–6 месяцев.

Производство трубопроводов из дефектных материалов может привести к образованию свищей (течи). Нередко наблюдается разрушение стыков трубопроводов, а также входных и выходных соединений труб к колодцам. Течь со временем подмывает основание трубопроводов, которые затем начинают работать как балки и разрушаются. Такие аварии, хотя их бывает сравнительно мало (около 5%), требуют значительных финансовых затрат, исчисляемых миллионами рублей.

Нередко выходят из строя водобойные колодцы перепадных колодцев из-за недопустимых разрушающихся скоростей потока.

Исходя из вышеизложенного хорошо видно, что причинами возникновения нарушений нормальной работы ВС первого вида типа является следующее:

1. Недостаточность исходных данных (геологические, гидрогеологические и др.);
2. Применение дефектных или нестандартных материалов;
3. Дефекты строительства;
4. Ошибки проектирования (некомпетентность проектировщиков, случайные ошибки и др.);
5. Разрушение при строительстве других сооружений под водоотводящей сетью или вблизи нее;
6. Старение трубопроводов или элементов сооружений.

По своему физико-химическому составу сточная вода является полудисперсной системой с большим содержанием нерастворимых примесей.

Таким образом, ВС по транспортирующей способности можно разделить на три основные группы. В них возможны следующие процессы:

- 1) поддержание необходимых самоочищающихся скоростей движения сточной жидкости. При таком исходе прочистка трубопроводов не проводится;
- 2) выпадение песка по внутреннему сечению трубопровода осуществляется волнообразно. Осуществление прочистки следует проводить для трубопроводов маленьких диаметров (не более 500 мм);

3) необходимые уклоны недостижимы, соответственно происходит выпадение осадков и заиливание трубы. Следует осуществлять регулярную прочистку всех трубопроводов. Достаточно небольшого препятствия на дне коллектора, например, лежащего камня или гвоздя, попавших в стык труб и т. п., как нерастворенные примеси цепляются за встречающиеся препятствия и задерживаются, что приводит к засорению.

Иногда из-за перегрузки или залповых сбросов сточных вод происходит их излив из колодцев на поверхность, что приводит, таким образом, к антисанитарной обстановке.

Кроме того, не стоит забывать еще о том, что расход сточных вод (если не считать расходов на полив) более или менее равномерен зимой и летом; большие пиковые расходы объясняются главным образом незаконными спусками дождевых и грунтовых вод со дворов и других территорий.

Засорение коллекторов вызывается проникновением в трубопровод корней растений через стыковые соединения труб, отложениями песка, проникающего в коллектор через трещины, и другими причинами. Трубы диаметром более 300 мм засоряются реже, чем трубопроводы меньшего диаметра.

Битумные стыки коллекторов менее проницаемы для корней, чем цементные или стыки на известковом растворе. Стыки на пластмассовых трубопроводах малопроницаемы.

Уменьшение расстояния между смотровыми колодцами мало облегчает прочистку коллекторов.

Около 40% засоров сети происходит от низкой культуры ее эксплуатации в жилых домах, общественных зданиях, на производстве.

Вышеизложенный анализ показывает, что причиной нарушений нормальной работы второго вида является следующее:

1. Нарушение правил эксплуатации (сброс в канализацию стоков с недопустимыми загрязнениями, попадание в сеть случайных предметов и др.).
2. Несовершенство норм проектирования (минимальных диаметров труб и уклонов, нормативных наполнений и др.).

ВС относится к категории массового обслуживания, является подземной инженерной системой и зачастую бывает проложена ниже уровня грунтовых вод. Поэтому надежность ее функционирования является одним из условий повышения уровня жизни населения и благоустройства городов и населенных пунктов, а также возможным ущербом, который может быть нанесен при ее отказах.

Нарушение с разрушениями стыков и самих труб (колодцев, дюкеров) приводит к бактериальному и химическому загрязнению подземных вод. Частые нарушения с закупорками нередко приводят к изливу сточных вод на поверхность. Загрязняются обширные территории жилых районов, водоемы. Тем самым наносится огромный материальный и моральный ущерб людям, фауне и флоре. Иногда это приводит к необратимым последствиям.

Тип нарушений, связанных с проблемой охраны окружающей среды, можно разделить на:

- 1) аварии, приводящие к загрязнению грунтовых вод;
- 2) нарушения, связанные с загрязнениями поверхностных водоемов и жилых (промышленных) районов;
- 3) нарушения, приводящие к изменению экологического равновесия в природе данной местности.

Анализ нарушений нормальной работы ВС позволяет вскрыть наиболее вероятные причины этих нарушений.

Отсутствие единых руководящих указаний по учету факторов надежности, достаточно глубоких научных исследований и подробной методической литературы приводит, в ряде случаев, к ошибочным инженерным решениям уже на стадии проектирования ВС. Даже само понятие «надежность» сети не

приобрело четкой формулировки. В различных источниках вкладывается в это понятие различный смысл. Для решения этой задачи прежде всего необходимо акцентировать внимание на самом понятие «надежность», с которым тесно связано понятие «отказ».

Под надежностью понимают выполнение определенных функций во времени с обязательных сохранением требуемой работоспособности в заданных пределах.

Применительно к ВС надежность является способностью всей системы осуществлять удаление сточных вод в необходимых количествах, обеспечивая заданную экологическую ситуацию в регионе на высоком уровне. То есть такое ее состояние, когда она функционирует безотказно.

Как указывалось выше, нарушение нормальной работы ВС обусловлено различными обстоятельствами, иногда случайными. Поэтому оценка этих событий, закономерностей их возникновения и повторения могут быть установлены на основании сбора, анализа и обработки статистических данных эксплуатации ВС.

Надежность при такой формулировке измеряется вероятностью, какими-то количественными значениями, определяемыми методами математической статистики.

Часто для технических систем эту вероятность принимают равной 0,9–0,95, а иногда каким-нибудь другим числом в пределах от 0 до 1. Но это еще не характеризует надежность ВС полностью, но зато позволяет установить численно вероятность возникновения тех случайных событий, которые могут привести к нарушению нормальной работы ВС и ее отдельных элементов.

В период эксплуатации ВС нет необходимости в одновременном выполнении системой всех функций за какое-то фиксированное время. Но каждый элемент системы в отдельности обязан за это время выполнить свою конкретную задачу. Это значит, что время является обязательным атрибутом и оно должно указываться при определении надежности ВС.

Другой составной частью определения надежности ВС является соответствие санитарно-гигиеническим требованиям местности. Функционирование ВС должно быть таким, чтобы она даже при неблагоприятных условиях эксплуатации (повышение расчетной пропускной способности, катастрофические явления и т.д.) работала без ущерба для окружающей среды. Это было бы идеальным вариантом ВС, что практически невозможно. Поэтому ВС необходимо рассчитывать с учетом местных условий и надежности. Эти условия, кроме условия надежности, задаются существующими техническими условиями и документацией к ВС.

Любая система эффективна лишь тогда, когда она работоспособна. По термину «работоспособность» следует понимать такое ее состояние, при котором она в данный момент соответствует всем требованиям, установленным в отношении основных параметров, характеризующих нормальное выполнение заданных функций.

Следует отметить, что работоспособность ВС не может являться исправностью. Под термином «исправность» мы понимаем такое состояние системы, при котором все основные и второстепенные параметры работают без ошибок и сбоев, т.е. происходит нормальный режим работы и эксплуатации системы.

Если ВС исправна, то она обязательна и работоспособна, однако работоспособная система может быть и неисправной, например, отсутствие крышек колодцев, отказ резервного насоса, и т. д.).

Восстанавливаемость ВС и ее отдельных элементов или невозстанавливаемость — необходимое условие для правильного понимания основных показателей надежности.

Восстанавливаемые — это такие элементы системы, которые в случае отказа могут быть восстановлены в процессе эксплуатации.

ВС и многие ее элементы следует относить к восстанавливаемым элементам.

Невосстанавливаемыми называют элементы, которые не могут быть восстановлены и не подлежат восстановлению. Например, обмотка электродвигателя насоса, отдельно взятые трубы на участках сети и т. д.

Если надежность обусловлена вероятностными соображениями, то отказ (выход из строя ВС, элементов ВС) является случайным явлением. Основные причины отказа связаны с различными происходящими на сети процессами.

Во время отказа происходит нарушение бесперебойного отведения сточных вод от объектов. Причинами отказов, как было изложено выше, могут быть всевозможные явления.

Отказ (выход из строя ВС или ее отдельных элементов) — это частный случай проявления неисправности системы.

В ВС за какой-то малый промежуток времени функционирования может случиться множество неисправностей, но как отказ могут себя проявить из них только единицы.

Отказы классифицируют по ряду признаков. Любая такая классификация будет условна с учетом того, что процессы, вызывающие отказы, сложны. Также они носят случайный характер. Несмотря на это, классификация отказов ВС необходима.

Основные виды отказов ВС могут быть подразделены на конструктивные (ошибки при проектировании, дефекты строительства) и эксплуатационные (нарушения правил).

Отказы могут быть подразделены также на постепенные и внезапные. На ВС наиболее часто наблюдаются постепенные отказы.

Принципиальное различие этих отказов в том, что постепенные отказы могут исключиться, если учитывать возможные изменения параметров работы ВС за определенное время, а внезапные отказы нельзя ни точно предсказать, ни полностью исключить.

Исходя из удобства классификации, все эти виды отказов ВС сгруппируем в три большие группы:

- по характеру (вследствие разрушения, поломок составляющих элементов ВС и нарушения качества функционирования элементов ВС сети в целом);
- по причинам (отказы из-за влияния внешних факторов, отказы, обусловленные внутренними причинами);
- отказы из-за превышения экстремальных параметров ВС.

Первый вид этой группы связан с отказами элементов, а иногда всей сети со стихийными бедствиями (землетрясениями, наводнениями и т. п.), перебоями в системах материального снабжения и обслуживания (электроснабжении, поставке запасных частей и т. п.), разрушениями подземных сетей вследствие строительства и т. д.

Отказы второго вида, т.е. обусловленные внутренними причинами, в ВС являются наиболее частыми. К ним относятся отказы из-за закупорки труб, разрушения стыковых соединений вследствие дефектов и неправильной технологии строительства, несоблюдения сроков технического обслуживания элементов ВС и т. д. Отказы этого рода часто приводят к выходу из строя таких ответственных сооружений ВС как коллекторы, насосные станции, напорные водоводы и т. п.

Отказы третьего вида могут быть при превышении допустимых расходов, которые смогут отвести сеть в целом и в отдельности ее элементы. Например, залповые сбросы стоков промышленными предприятиями вследствие их реконструкции, превышение допустимых доз, содержащих в сточной воде радиоактивные и взрывоопасные примеси, приводящие нередко к отказу ВС.

Приведенная ниже классификация отказов ВС и ее отдельных элементов не является окончательной. Она может быть дополнена в зависимости от конкретных задач при анализе отказов и вопросов надежности ВС.

Классификация представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Классификация отказов водоотводящей сети по признакам**

Признаки	Вид отказа	Характеристика отказа
Характер изменения параметра до момента возникновения отказа	Внезапный	Изменения одного или нескольких заданных параметров системы происходит скачкообразно
	Постепенный	Изменение одного или нескольких заданных параметров системы происходит постепенно
Связь с отказами других элементов системы	Независимый	Отказ элемента не обусловлен повреждениями или отказами других элементов системы
	Сбой	Самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности
	Переживающийся	Множественно возникающий сбой одного и того же характера
	Устойчивый	Отказ, устраняемый только в результате проведения восстановительных работ
Причина возникновения отказа	Проектный	Нарушение установленных правил и норм проектирования
	Строительный	Нарушение или несовершенство технологии и производства строительства
	Эксплуатационный	Нарушение установленных правил и условий эксплуатации
Время возникновения отказа (период)	При приработке	Из-за скрытых производственных дефектов, невыявленных в процессе контроля
	Нормальная эксплуатация	Из-за несовершенства конструкций и эксплуатационных перегрузок
	Старение (износ)	Из-за процесса старения и износа материалов

## **Выводы**

1. Любое нарушение работы ВС влияет на качество функционирования ВС. При этом они поддаются экономическому подсчету. Аварии на ВС и их последствия для окружающей среды не поддаются какому-либо экономическому расчету.

2. Под показателем надежности надо понимать величину, количественно характеризующую степень, в системе которой присущи определенные свойства, составляющие надежность. При выборе и применении всякого показателя следует различать его наименование (например, вероятность безотказной работы), формулировку его сущности, его конкретное численное значение, размерность показателя.

3. Значение показателей надежности зависит не только от специфики сети, но и от условий ее работы и эксплуатации, средовых факторов, квалификации, опытности и количества персонала, наличия и качества вспомогательного оборудования, технической документации, запасных частей и др. Так как подавляющие элементы ВС относятся к ремонтируемым и восстанавливаемым изделиям, то она в целом может рассматриваться как система ремонтируемая и восстанавливаемая.

## **Библиографический список**

1. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.
2. Залётова Н. А., Морозова Н. В., Булычев И. О. Изменение во времени приоритетов в технологиях очистки городских сточных вод // Системные технологии. 2018. № 2 (27). С. 89 – 94.
3. Орлов В. А., Орлов Е. В., Зверев П. В. Технологии местного бестраншейного ремонта водоотводящих трубопроводов // Вестник МГСУ. 2013. № 7. С. 86 – 95.
4. Отставнов А. А., Хантаев И. С., Орлов Е. В. К выбору труб для бестраншейного устройства трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Пластические массы. 2007. № 3. С. 40 – 43.
5. Орлов В. А., Орлов Е. В. Остаточный ресурс напорных стальных трубопроводов систем водоотведения // Вестник МГСУ. 2008. № 4. С. 122 – 127.
6. Орлов В. А., Хантаев Е. С., Орлов Е. В. Влияние дестабилизирующих факторов на работоспособность водоотводящих сетей урбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий. 2007. № 3. С. 43 – 51.
7. Отставнов А. А., Орлов Е. В., Хантаев И. С. Определение приоритетных участков ремонта систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 3. С. 25 – 30.
8. Попков А. Г., Сергеева Е. А., Манешин С. Ю. Сохранение экологической безопасности застроенных территорий малых населенных пунктов при эксплуатации местных систем водоотведения // Системные технологии. 2020. № 4 (37). С. 34 – 38.
9. 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.
10. Орлов В. А., Нечитаева В. А., Богомолова И. О., Шайхетдинова Ю. А., Даминова Ю. Ф. Эффективные методы прочистки трубопроводов // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 133 – 138.



## ANALYSIS OF VIOLATIONS OF THE NORMAL OPERATION OF THE DRAINAGE NETWORK AND INDICATORS OF ITS RELIABILITY

A. P. Andrianov\*

R. E. Hurgin\*\*

\* VT “Expert LLC”, Moscow

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

### Abstract

Wastewater disposal systems are used to maintain a high level of sanitary conditions in cities and towns. The financial costs of their construction are significant. In order to reduce capital costs, perfect systems should be designed that will be reliable for all periods of their operation.

The article analyzes the causes of violations of the drainage network and their possible consequences. However, this is not enough for practical purposes. A qualitative and quantitative assessment of violations is necessary, as well as ensuring the required reliability of the drainage network (VS), i.e. the introduction of another of its most important properties. The article presents a classification of aircraft failures and its individual elements, as it contributes to a complete analysis, identification of the causes in the economic consequences of failures, which is of the greatest interest in studying the problem.

### The Keywords

*drainage network, resource, well, waste water, failure, reliability, operation*

### Date of receipt in edition

22.02.2024

### Date of acceptance for printing

28.02.2024

### Ссылка для цитирования:

А. П. Андрианов, Р. Е. Хургин. Анализ нарушений нормальной работы водоотводящей сети и показатели ее надежности. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 54–61.



УДК 539.3

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_62-74

---

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕСЯТИЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ (ПОЛНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕРВОГО ЭТАЖА) ПРИ ВНЕШНЕМ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПЛОСКОСТИ

В. К. Мусаев <sup>\*/ \*\*/ \*\*\*/ \*\*\*\*/ \*\*\*\*\*</sup>

\* Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва

\*\* Институт системных технологий, г. Махачкала

\*\*\* Российский университет транспорта, г. Москва

\*\*\*\* Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва

\*\*\*\*\* Российская академия естественных наук, г. Москва

---

### Аннотация

#### *Актуальность*

Приводится информация о цифровом (численном) моделировании нестационарных волн переходного процесса на десятиэтажное здание с учетом и без учета перекрытия первого этажа при внешнем вертикальном сосредоточенном ударном воздействии. Моделирование (компьютерное) нестационарного ударного воздействия является актуальной научной (фундаментальной и прикладной) задачей.

#### *Методика*

Исследования, определение и оценка переходных волновых (нестационарных) процессов производится с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ. Они позволяют получить перемещения, скорость перемещений, ускорения, напряжения и деформации в деформируемых телах сложной формы при нестационарных волновых процессах. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90. Исследуемая область аппроксимируется на конечные элементы первого порядка по пространственным и временным переменным. С помощью математического моделирования систему с бесконечным числом неизвестных привели к системе с конечным числом неизвестных.

#### *Результаты*

Решена задача о воздействии импульса в виде четырех трапеций и двух треугольников на упругую полуплоскость для оценки достоверности и точности разработанного комплекса программ. Решается си-

### Ключевые слова

*безопасность в чрезвычайных ситуациях, гражданская оборона в мирных целях, природная и техносферная безопасность, волновая теория ударной безопасности, импульс, воздействие в виде четырех трапеций и двух треугольников, ударное воздействие в виде трапеции, десятиэтажное здание, упругая полуплоскость, прогрессирующее разрушение, контурное напряжение, несущая способность, первое предельное состояние, механическое напряжение, прочность, комплекс программ Мусаева В.К.*

Дата поступления в редакцию

22.02.2024

Дата принятия к печати

28.02.2024

система уравнений из 8016008 неизвестных по явной двухслойной схеме. Достоверность имеет качественное и количественное совпадение. Решена задача о внешнем вертикальном сосредоточенном ударном воздействии на свободной поверхности полуплоскости около десятиэтажного здания. Рассматриваются два варианта: с учетом и без учета перекрытия первого этажа. Решается система уравнений из 16202276 неизвестных. Получены напряжения в характерных областях исследуемых задач.

### Введение

В работе приводится численное решение задачи о моделировании нестационарных ударных волн в виде трапеции на десятиэтажное здание с упругой полуплоскостью для двух вариантов, то есть с учетом и без учета перекрытия первого этажа.

Постановка нестационарных волновых задач, методы и результаты решенных задач приведены в следующих работах [1 – 30].

Математическое (цифровое) моделирование, как инструментальный фундаментальных и прикладных наук, имеет свой набор «кирпичиков-инструментариев» для исследования, анализа и описания полученных результатов. Это буквы и цифры, математические знаки и уравнения, элементы языков программирования, термины исследуемого научного направления и тому подобное. Главным в любой научной работе является научный результат, который может быть представлен в виде различных иллюстраций или математических терминов. Они позволяют наглядно показать новые знания и закономерности. Однако для описания научных результатов применяются в основном буквы разных языков. В данном случае это буквы русского, латинского и греческого алфавита. Описание научных результатов в виде слов, можно квалифицировать, как слова, словосочетания и предложения. Закрытой мыслью является предложение от точки до точки. Это очень важно, так как предложение можно взять за основу точки зрения автора, так же предложение можно обсуждать, как новый научный результат. Однако автор в своих публикациях опирается на разработанную методику для исследования и получения новых результатов. Поэтому буквы, слова и словосочетания не могут быть объектом плагиата, так как слова и словосочетания в закрытой мысли автора, могут нести разный смысл, то есть в предложении от точки к точке. Рассмотрение букв, слов и словосочетаний в качестве объекта плагиата (заимствования) является грубейшим нарушением положений действующего российского и международного законодательства. Преемственность в науке всегда имело место. Без преемственности в науке нет развития — цивилизаций. Однако, всегда нужно уважать научный труд других авторов. Предложения могут рассматриваться на плагиат, но без научных результатов, такой анализ можно считать некорректным, то есть не однозначным. Поэтому главным героем можно считать научный результат в виде иллюстраций (графиков или таблиц) и в виде математических символов в фундаментальных и прикладных исследованиях, а остальная информация в виде комментариев не может претендовать на главную роль. Отсюда можно сделать вывод: научный результат один, а комментариев очень много. Программированный и алгоритмический подход представления научных результатов в настоящее время является приоритетным в экономике информационных технологий. Каждый ученый имеет свои инструменты (кирпичики) для исследования и представления научных результатов. Плагиат может распространяться на научные результаты в виде иллюстраций или таблиц — это основа научных исследований. Также такая точка зрения юридических законов о защите авторских прав, как в российском, так и в международном законодательстве. Однако если мы выбросим иллюстрации или научные результаты в виде математических знаков автора, тогда будем находиться

в плену своих иллюзий. Например, рассмотрим некоторые задачи в области безопасности по несущей способности для строителей или механической прочности для машиностроителей. Задачи по нагрузке и геометрии могут быть разные, но для анализа нужно знать напряженное состояние. Поэтому термины в этой области исследований одинаковы и для их описания имеется фундаментальная наука. В данном случае — «Механика деформируемого твердого тела», которая является фундаментом для многих наук. В настоящее время имеется возможность создания наук под общим знаменателем «Фундаментальная инженерия». В науке очень часто авторы создают свои термины. Хотя уже имеются нормативные документы в области терминов для многих фундаментальных и прикладных наук. В законах о защите элементов интеллектуальной собственности на информацию из нормативно-правовых документов авторское право не распространяется, то есть плагиат, так как нормативно-правовая документация создается для общего рассмотрения без ограничений. Для аналогии можно сравнить: «Слова и музыка народные». Комментарий, научного результата, в котором отсутствует выход исследований в виде иллюстраций или математических терминов, можно квалифицировать, как информационный шум или макулатура.

В работе [25] приводится следующее утверждение «При этом «Антиплагиат» не устанавливает авторство того или иного фрагмента, поэтому фрагменты, являющиеся самоцитированием, могут распознаваться системой как заимствованные. Выводы о добросовестности и корректности самоцитирования в проверяемом документе должен делать эксперт путем анализа полного отчета, списка источников заимствования, исходя из жанра проверяемого документа и установленных к нему в принимающей организации требований. И именно эксперт должен принимать решение, является ли каждый заимствованный фрагмент текста правомерным заимствованием. Перекалывание ответственности при принятии решения с человека на систему «Антиплагиат», например, путем ссылки на тот или иной уровень заимствованного текста, выявленный системой, является неэтичной практикой».

Возникает вопрос: кто остановить неэтичную практику при экспертизе научных работ на плагиат?

В задачах безопасности уникальных объектов по несущей способности (прочности) применяются уравнения нестационарной волновой теории упругости. Такой подход принят для всех задач механики деформируемого твердого тела при нестационарных волновых воздействиях переходного периода.

Поэтому создание инструментария математического (вычислительного) эксперимента для исследования поставленной проблемы является актуальной фундаментальной и прикладной научной задачей [13–14, 28–30]. Применение рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ для решения нестационарных волновых задач в деформируемых телах сложной (различной) формы приведено в работах [13–14, 28–30]. Оценка точности и достоверности (верификация) рассматриваемого численного метода, алгоритма и комплекса программ приведена в следующих работах [6–10, 13–15, 17–24, 26–30].

Приводится численное решение задачи о моделировании нестационарных волн при сосредоточенном внешнем вертикальном ударном воздействии на десятиэтажное здание.

### **Модели и методы**

Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное механическое воздействие. Многие

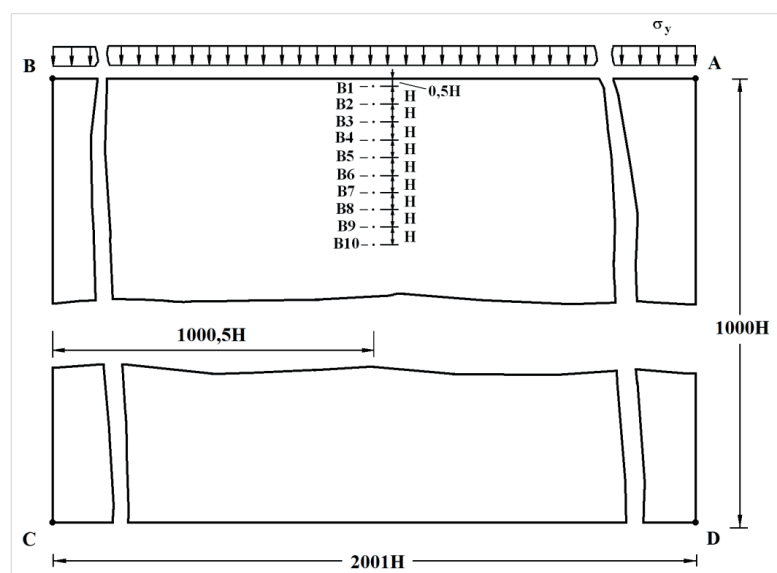
материалы имеют свойство упругости при волновых воздействиях. Если деформации нестационарных сил не превышают некоторого нормативного предела, то после снятия этих сил деформация исчезает. Поэтому будем предполагать, что деформируемые тела, являются упругими. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости [13 – 14, 28 – 30]. Систему уравнений в некоторой области деформируемого тела, следует интегрировать при начальных и граничных условиях [13 – 14, 28 – 30]. Для решения нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями (задача Коши) — используем метод конечных элементов (численное моделирование уравнений переходного процесса) [13 – 14, 28 – 30]. Задача решается с помощью метода математического моделирования (вычислительный эксперимент) для распространения нестационарных волн напряжений в сложных деформируемых объектах. Приближенное уравнение движения в волновой теории упругости, с учетом определения матриц и векторов для некоторого тела, приведено в следующих работах [13 – 14, 28 – 30]. С помощью метода Галеркина, получена двумерная явная двухслойная линейная схема для внутренних и граничных узловых точек исследуемых объектов [13 – 14, 28 – 30]. Шаг по временной переменной определяем из условия Куранта-Фридрихса-Леви [13 – 14, 28 – 30]. Систему с бесконечным числом неизвестных привели к системе с конечным числом неизвестных [13 – 14, 28 – 30]. На основе метода конечных элементов разработана методика, алгоритм и комплекс программ для моделирования волн в деформируемых телах [13 – 14, 28 – 30]. Исследуемая область разбивается на конечные элементы первого порядка (треугольные и прямоугольные), так как конечные элементы первого порядка позволяют хорошо моделировать фронты нестационарных волн в деформируемых телах, а также аппроксимировать разрывы на фронтах различных волн [13 – 14, 28 – 30]. Для исследуемой области, состоящей из материалов с разными физическими свойствами, выбирается минимальный шаг по временной координате.

На основе численного метода конечных элементов разработана методика, разработан алгоритм и составлен комплекс программ для решения двумерных волновых задач динамической теории упругости [13 – 14, 28 – 30].

#### Оценка достоверности моделирования волн напряжений

Рассматривается задача о распространении в упругой полуплоскости (**рис. 1**) плоской продольной волны в виде четырех трапеций и двух треугольников (**рис. 2**) для оценки физической достоверности и математической точности [13 – 14, 28 – 30]. Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [13 – 14, 28 – 30].

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения:  $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$ ;  $1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{см}^4 \approx 109 \text{ кг/м}^3$ .

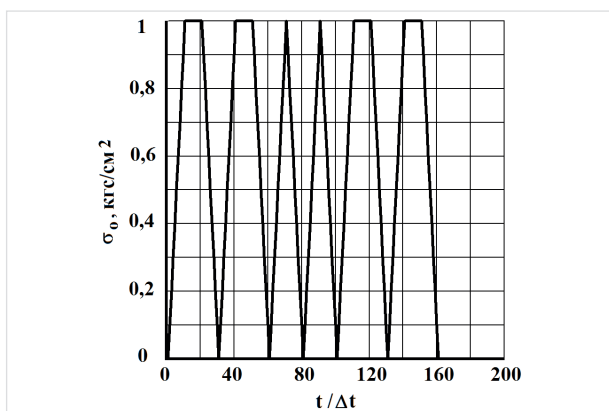


**Рис. 1.** Постановка задачи о распространении плоских продольных волн в виде четырех трапеций и двух треугольников в упругой полуплоскости. Схема Мусаева В. К.

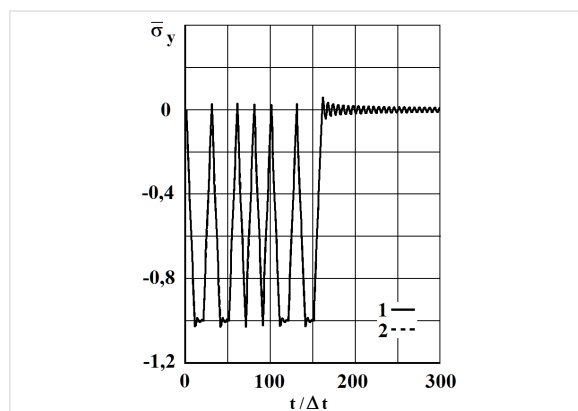
На границе полуплоскости АВ (**рис. 1**) приложено нормальное напряжение  $\sigma_y$ , которое изменяется от  $0 \leq n \leq 161$  ( $n = t/\Delta t$ ) и максимальное значение равно  $P$  ( $P = \sigma_0$ ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа ( $-1$  кгс/см<sup>2</sup>)). Граничные условия для контура ВСДА при  $t > 0$   $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$ . Отраженные волны от контура ВСДА не доходят до исследуемых точек при  $0 \leq n \leq 300$ .

Расчеты проведены при следующих исходных данных:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 1,862 \cdot 10^{-6}$  с;  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа ( $2,1 \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup>);  $\nu = 0,3$ ;  $\rho = 0,8 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup> ( $0,8 \cdot 10^{-5}$  кгс с<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>);  $C_p = 5371$  м/с;  $C_s = 3177$  м/с.

Исследуемая расчетная (аппроксимированная) область имеет 2004002 узловые точки. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных по явной двухслойной схеме. Результаты расчетов волновых напряжений получены в характерных точках В1-В10 исследуемой области (**рис. 1**).



**Рис. 2.** Импульсное воздействие в виде четырех трапеций и двух треугольников. График Мусаева В. К.



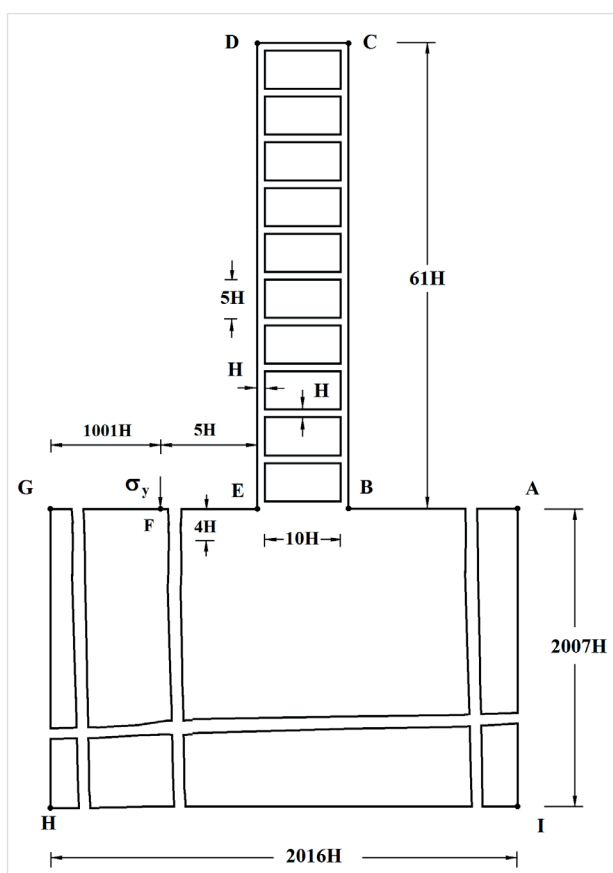
**Рис. 3.** Изменение упругого нормального напряжения  $\bar{\sigma}_y$  (задача о распространении плоских продольных волн в виде четырех трапеций и двух треугольников) во времени  $t/\Delta t$  в точке В1: 1 — численное (цифровое) решение; 2 — аналитическое (точное) решение. График Мусаева В. К.

В качестве примера на **рис. 3** приводится изменение нормального напряжения  $\bar{\sigma}_y$  ( $\bar{\sigma}_y = \sigma_y / |\sigma_0|$ ) (**рис. 1**) во времени  $t$  в точке В1 (1 — численное решение; 2 — аналитическое решение).

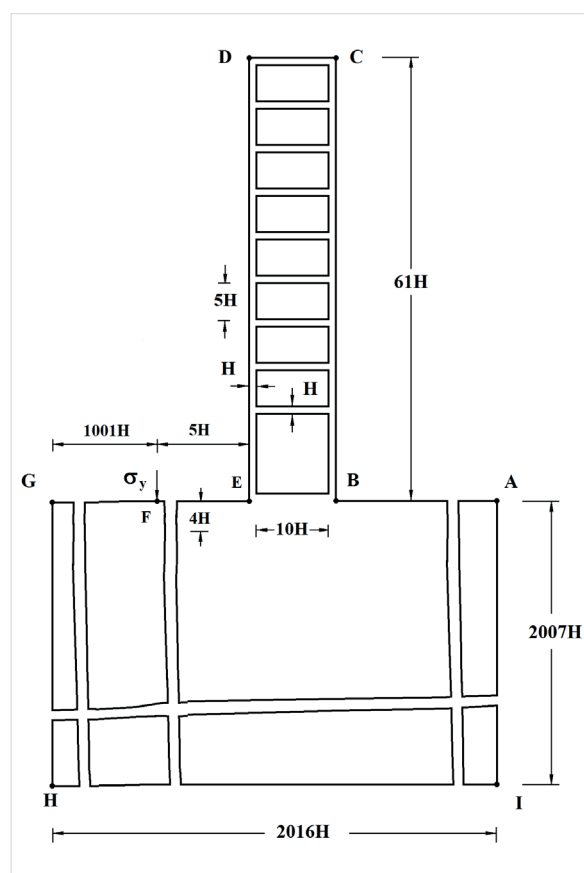
В данном случае можно использовать условия на фронте плоской волны, которые изложены в работе [3]. На фронте плоской продольной волны имеются следующие аналитические зависимости для плоского напряженного состояния  $\sigma_y = -|\sigma_0|$ . Отсюда видим, что точное решение задачи соответствует воздействию  $\sigma_0$  (**рис. 2**).

#### Моделирование волн напряжений в десятиэтажном здании при внешних ударных воздействиях

Рассматривается задача о моделировании напряженного состояния в десятиэтажном здании (**рис. 4–5**) при воздействии плоской продольной упругой волны в виде трапеции (**рис. 6**).



**Рис. 4.** Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием при внешнем сосредоточенном ударном воздействии. Схема Мусаева В. К.



**Рис. 5.** Постановка задачи для десятиэтажного здания с упругим основанием при внешнем сосредоточенном ударном воздействии (отсутствие перекрытия первого этажа). Схема Мусаева В. К.

Расчеты проводились при следующих единицах измерения: килограмм-сила (кгс); сантиметр (см); секунда (с). Для перехода в другие единицы измерения были приняты следующие допущения:  $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа}$ ;  $1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{см}^4 \approx 109 \text{ кг/м}^3$ . Исследуемая задача впервые решена Мусаевым В. К. с помощью разработанной методики, алгоритма и комплекса программ [13–14, 28–30]. Начальные



условия приняты нулевыми. От точки F перпендикулярно свободной поверхности AFG приложено нормальное напряжение  $\sigma_y$ , которое при  $0 \leq n \leq 11$  ( $n = t/\Delta t$ ) изменяется линейно от 0 до P, а при  $11 \leq n \leq 21$  от P до 0 ( $P = \sigma_0$ ,  $\sigma_0 = -0,1$  МПа ( $-1$  кгс/см<sup>2</sup>)). Граничные условия для контура ГНГА при  $t > 0$   $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$ . Отраженные волны от контура ГНГА не доходят до исследуемых точек при  $0 \leq n \leq 500$ . Решается система уравнений из 16202276 неизвестных.

Расчеты проведены при следующих исходных данных:  $H = \Delta x = \Delta y$ ;  $\Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6}$  с;  $E = 3,15 \cdot 10^4$  МПа ( $3,15 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>);  $\nu = 0,2$ ;  $\rho = 0,255 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup> ( $0,255 \cdot 10^{-5}$  кгс см<sup>2</sup>/см<sup>4</sup>);  $C_p = 3587$  м/с;  $C_s = 2269$  м/с.

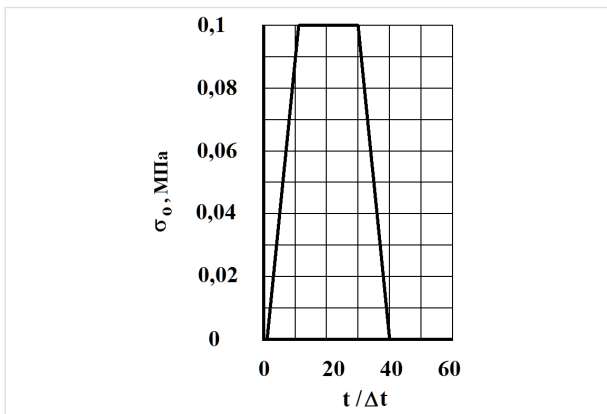


Рис. 6. Воздействие в виде трапеции (модель ударного воздействия). График Мусаева В. К.

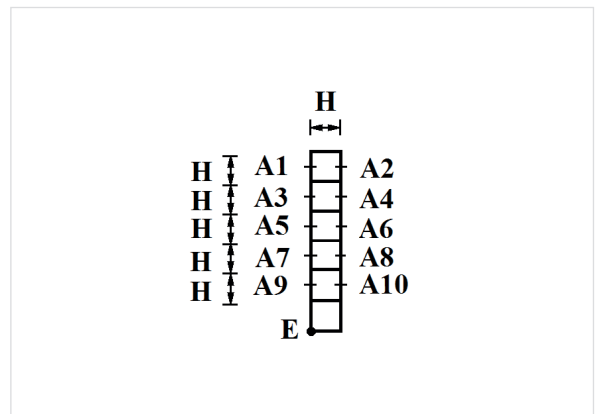


Рис. 7. Точки, в которых получены упругие напряжения во времени в левой колонне первого этажа (точки A1, A3, A5, A7 и A9 — внешняя сторона колонны; (точки A2, A4, A6, A8 и A10 — внутренняя сторона колонны). Схема Мусаева В. К.

Контурное напряжение  $\bar{\sigma}_k$  получено в точках A1-A10 (рис. 7). В точке A1 (рис. 8–9) показано изменение контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в десятиэтажном здании во времени  $t/\Delta t$ .

В качестве примера приводится изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в точке A1: 1 — с перекрытием первого этажа (рис. 8), 2 — без перекрытия первого этажа (рис. 9) на контуре колонны первого этажа десятиэтажного здания во времени  $t/\Delta t$  (рис. 7). Полученные результаты показывают тенденцию изменения контурных напряжений.

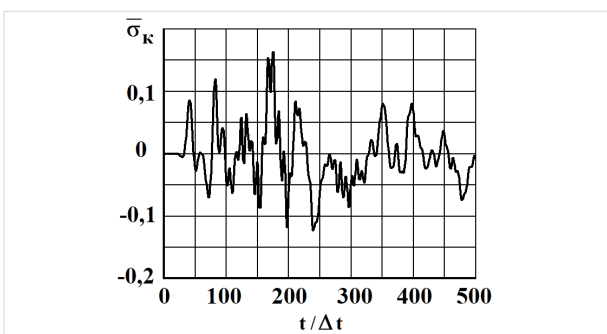


Рис. 8. Изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в точке A1 с перекрытием первого этажа на контуре десятиэтажного здания во времени  $t/\Delta t$ . График Мусаева В. К.

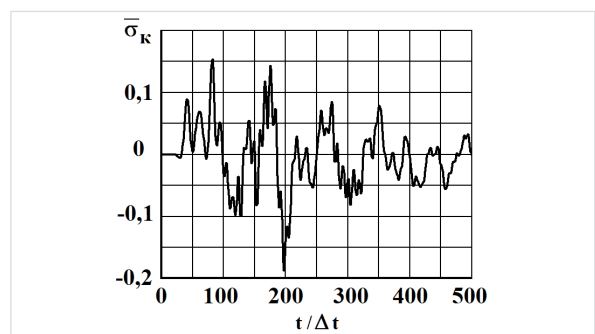
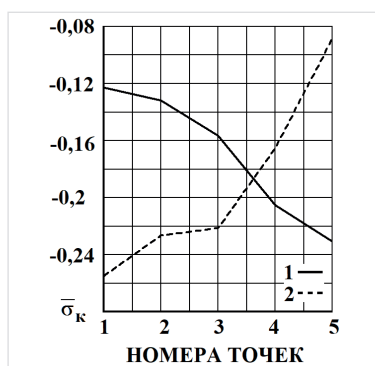


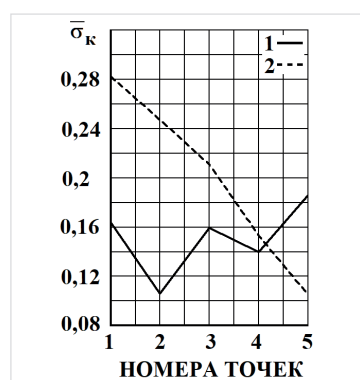
Рис. 9. Изменение упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  в точке A1 без перекрытия первого этажа на контуре десятиэтажного здания во времени  $t/\Delta t$ . График Мусаева В. К.



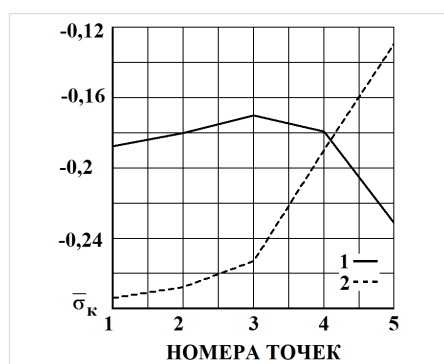
**Рис. 10.** Изменение максимальных сжимающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) с перекрытием первого этажа десятиэтажного здания. График Мусаева В. К.

На **рис. 10** показано изменение максимальных сжимающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) с перекрытием первого этажа десятиэтажного здания.

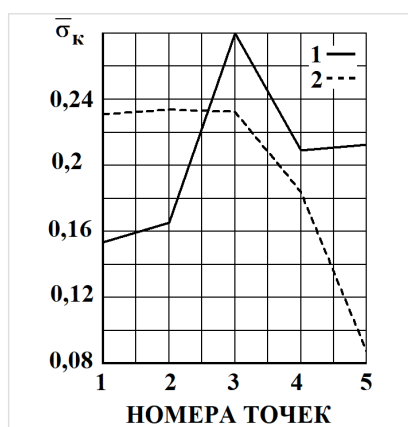
На **рис. 11** показано изменение максимальных растягивающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) с перекрытием первого этажа десятиэтажного здания.



**Рис. 11.** Изменение максимальных растягивающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) с перекрытием первого этажа десятиэтажного здания. График Мусаева В. К.



**Рис. 12.** Изменение максимальных сжимающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) без перекрытия первого этажа десятиэтажного здания. График Мусаева В. К.



**Рис. 13.** Изменение максимальных растягивающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) без перекрытия первого этажа десятиэтажного здания. График Мусаева В. К.

На **рис. 12** показано изменение максимальных сжимающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) без перекрытия первого этажа десятиэтажного здания.

На **рис. 13** показано изменение максимальных растягивающих величин упругого контурного напряжения  $\bar{\sigma}_k$  (в точках: 1 — А1, А3, А5, А7 и А9; 2 — А2, А4, А6, А8 и А10) без перекрытия первого этажа десятиэтажного здания с упругим основанием в виде полуплоскости.

### Выводы

1. Для решения поставленной задачи о внешнем вертикальном сосредоточенном ударном воздействии в виде трапеции на десятиэтажное здание (с учетом и без учета перекрытия первого этажа) применяются уравнения нестационарной динамической (волновой) теории упругости. На основе метода конечных элементов (численное моделирование) разработана методика и разработан алгоритм. Составлен вычислительный комплекс программ для решения нестационарных волновых задач переходного периода для областей разной (сложной) формы исследуемого объекта.

2. Для оценки достоверности (математической точности и физической достоверности) разработанного программного продукта была решена задача о распространении плоских продольных волн в упругой полуплоскости в виде четырех трапеций и двух треугольников. Решается система уравнений из 8016008 неизвестных по явной двухслойной схеме. Достоверность имеет качественное и количественное совпадение для напряжений на фронте плоской волны.

3. Десятиэтажное здание моделируется с упругим основанием в виде упругой полуплоскости. Ударное воздействие моделируется в виде трапеции. Решается система уравнений из 16202276 неизвестных. Для задачи с перекрытием: максимальное сжимающее контурное напряжение равно: 0,25478; максимальное растягивающее контурное напряжение равно: 0,28221. Для задачи без перекрытия первого этажа: максимальное сжимающее контурное напряжение равно: 0,27376; максимальное растягивающее контурное напряжение равно: 0,27993. Полученные результаты показывают тенденцию изменения контурных напряжений.

**Библиографический список**

1. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М.: Стройиздат. 1965. 448 с.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 543 с.
3. Тимошенко С. П., Гудьер Д. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.
4. Ионов В. И., Огibalов П. М. Напряжения в телах при импульсивном нагружении. М.: Высшая школа. 1975. 464 с.
5. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979. 744 с.
6. Мусаев В. К. Решение задачи дифракции и распространения упругих волн методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. 1990. № 4. С. 74 – 78.
7. 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.
8. Мусаев В. К. Моделирование волн напряжений в сложных областях с помощью метода вычислительной механики // Исследования по теории сооружений. 2010. № 2. С. 44 – 52.
9. Мусаев В. К. Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. 2010. № 2. С. 138 – 149.
10. Мусаев В. К. О моделировании отражения упругих волн напряжений от свободной поверхности деформируемой области // Двойные технологии. 2012. № 4. С. 61 – 64.
11. Nemchinov V. V. Diffraction of a plane longitudinal wave by spherical cavity in elastic space // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Volume 9. Issue 1. P. 85 – 89.
12. Nemchinov V. V. Numerical methods for solving flat dynamic elasticity problems // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. Volume 9. Issue 1. P. 90 – 97.
13. Musayev V. K. Estimation of accuracy of the results of numerical simulation of unsteady wave of the stress in deformable objects of complex shape // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 135 – 146.
14. Musayev V. K. On the mathematical modeling of nonstationary elastic waves stresses in corroborated by the round hole // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Volume 11, Issue 1. P. 147 – 156.
15. Спиридонов В. П. Определение некоторых закономерностей волнового напряженного состояния в геобъектах с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12–5. С. 832 – 835.
16. Акатьев С. В. Защита объекта с полостью от ударной волны лавины с использованием численного метода В. К. Мусаева // Материалы X Всероссийской научно-практической студенческой конференции «Российский студент — гражданин, личность, исследователь». Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексева. 2015. С. 247.
17. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Куранцов В. А., Мусаева С. В., Кулагина Н. В. Оценка точности и достоверности моделирования плоских нестационарных упругих волн напряжений (треугольный импульс) в полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIV Международной конференции. М.: РГГУ. 2016. С. 352 – 355.

18. 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.

19. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Крылов А. И. Моделирование достоверности и точности импульсного воздействия в упругой полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН. 2017. С. 339–341.

20. Стародубцев В. В., Акатьев С. В., Мусаев А. В., Шиянов С. М., Куранцов О. В. Моделирование упругих волн в виде импульсного воздействия (восходящая часть — четверть круга, нисходящая часть — четверть круга) в полуплоскости с помощью численного метода Мусаева В. К. // Проблемы безопасности российского общества. 2017. № 1. С. 36–40.

21. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Крылов А. И. Моделирование достоверности и точности импульсного воздействия в упругой полуплоскости с помощью численного метода, алгоритма и комплекса программ Мусаева В. К. // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. М.: РУДН, 2017. С. 339–341.

22. Стародубцев В. В., Мусаев А. В., Дикова Е. В., Кузнецов М. Е., Федоров А. Л. Применение численного метода Мусаева В. К. для моделирования воздействия в виде двух импульсов (первый — полукруг, второй — треугольник) в упругой полуплоскости // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии — 2017». М.: Московский политех, 2017. С. 94–100.

23. 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.

24. Musayev V. K. Mathematical modeling of non-stationary elastic waves stresses under a concentrated vertical exposure in the form of delta functions on the surface of the half-plane (Lamb problem) // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2019. Volume 15, Issue 2. P. 111–124.

25. Кулешова А. В., Чехович Ю. В., Беленькая О. С. По лезвию бритвы: как самоцитирование не превратить в самоплагиат. Научный редактор и издатель. 2019; 4 (1–2): 45–51.

26. Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных упругих волн напряжений (переходной процесс) при воздействии (вертикальное сосредоточенное в виде треугольного импульса) на поверхность полуплоскости (задача Лэмба) // Геология и геофизика Юга России. 2020. № 4. С. 164–174.

27. Мусаев В. К. Математическое моделирование волн напряжений при сосредоточенном вертикальном воздействии в виде треугольного импульса: задача Лэмба // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. № 2. С. 112–120.

28. Мусаев В. К. Математическое моделирование нестационарных волн напряжений в деформируемых телах при ударных, взрывных и сейсмических воздействиях. М.: Российский университет транспорта, 2021. 629 с. ISBN 978-5-7473-1067-4.

29. Musayev V. K. Mathematical Modeling of Stresses Under Unsteady Wave Action in Geo-Objects // Power Technology and Engineering. 2023. 57(3). P. 351 – 364.

30. 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.

## SIMULATION OF THE STRESS STATE OF A TEN-STOREY BUILDING (COMPLETE DESTRUCTION OF THE FIRST FLOOR FLOOR) IN CASE OF EXTERNAL IMPACT ON THE SURFACE OF THE HALF-PLANE

V. K. Musayev <sup>\*/\*\*/\*\*/\*\*\*\*/\*\*\*\*\*</sup>

\* RUDN University, Moscow

\*\* Institute of system technologies, Makhachkala

\*\*\* Russian University of Transport, Moscow

\*\*\*\* Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Moscow

\*\*\*\*\* Russian Academy of Natural Sciences, Moscow

### Abstract

#### Relevance

Information is provided on the digital (numerical) modeling of non-stationary waves of the transition process on a ten-storey building, taking into account and without taking into account the overlap of the first floor with an external vertical concentrated impact. Modeling (computer) of nonstationary impact is an urgent scientific (fundamental and applied) task.

#### Methodology

Research, determination and evaluation of transient wave (non-stationary) process is carried out using the developed methodology, algorithm and software package. They make it possible to obtain displacement, displacement velocity, acceleration, stresses and deformation in deformable bodies of complex shape during non-stationary wave processes. The Fortran-90 algorithmic language was used in the development of the software package. The area under study is approximated by finite elements of the first order in terms of spatial and temporal variables. Using mathematical modeling, a system with an infinite number of unknowns was brought to a system with a finite number of unknowns.

#### Results

The problem of the effect of a pulse in the form of four trapezoids and two triangles on an elastic half-plane has been solved to assess the

### The Keywords

*emergency safety, civil defense for peaceful purposes, natural and technosphere safety, wave theory of shock safety, impulse, impact in the form of four trapezoids and two triangles, impact in the form of a trapezoid, ten-story building, elastic half-plane, progressive destruction, contour stress, bearing capacity, first limit state, mechanical stress, durability, a set of programs*  
Musayev V. K.

### Date of receipt in edition

22.02.2024

### Date of acceptance for printing

28.02.2024



reliability and accuracy of the developed software package. A system of equations consisting of 8016008 unknowns is solved using an explicit two-layer scheme. Reliability has a qualitative and quantitative match. The problem of an external vertical concentrated impact on the free surface of a half-plane near a ten-story building has been solved. Two options are considered: taking into account and without taking into account the overlap of the first floor. A system of equations consisting of 16202276 unknowns is solved. Stresses in the characteristic areas of the studied problems are obtained.

---

**Ссылка для цитирования:**

*В. К. Мусаев. 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.*







УДК 69.05

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_75-83

## ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОНОЛИТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

М. А. Фахратов

А. А. Осадчий

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

### Аннотация

Целью настоящей публикации является выявление, рассмотрение и актуализация особенностей возведения жилых сооружений из монолитного железобетона в условиях стесненного пространства. Задачи исследования состоят в рассмотрении наиболее рациональных методов строительства монолитных жилых зданий в условиях стесненности крупных городов. Статья рассматривает понятие стесненности и специфичность влияния нового строительства на окружающую застройку, разработки котлована, возведения фундамента, надземной части здания, организации строительной площадки, снабжения строительного объекта и защиты окружающей среды. Гипотеза заключается в актуализации темы из-за необходимости строительства жилья в плотной городской застройке в нынешних реалиях. Методы исследования состоят в анализе действующих методов решения вопросов, связанных с данными условиями.

### Ключевые слова

*строительство, стесненные условия, жилое здание, бетонные работы, факторы, безопасность, котлован, фундамент, кран, строительная площадка, окружающая среда*

### Дата поступления в редакцию

22.02.2024

### Дата принятия к печати

01.03.2024

### Введение

Последние десятилетия особенно отмечаются тенденцией к росту объемов и темпов возведения жилых сооружений в крупных городах с уже сложившейся застройкой в следствии увеличения их населения и инвестиционной привлекательностью строительства. Данная тенденция отмечается не только в городах России, но и за рубежом. Актуальность строительства жилых зданий в стесненных условиях обуславливается необходимостью ввода жилья в действующих чертах города. На то есть веские причины, а именно: развитая торговая и транспортная инфраструктура, наличие в пешей доступности детских садов, школ, поликлиник и мест общественного досуга. Строительство жилья в сложившейся городской агломерации позволяет добавлять новые архитектурные доминанты в облик города, развивая старые районы и делая их визуально современнее

и привлекательнее, а застройщикам позволяет подключаться к существующим городским коммуникациям, тем самым сокращая бюджет и сроки строительства.

Однако, несмотря на все вышеописанные положительные стороны, строительное производство в данных условиях усложняется множественными факторами. Необходимость учета влияния нового строительства на существующие вблизи здания посредством устройства шпунтового ограждения, применения отличной от обычной механизации, расположения административно-бытовых сооружений и сборочных цехов за пределами строительной площадки, потребность в специальных организационно-технологических мероприятиях и решениях экологических вопросов — это основные особенности строительно-монтажных работ по возведению монолитного жилого здания в стесненных условиях. Ко всему прочему, вышеуказанные проблемы усложняются отсутствием учитывающей в комплексе процесс строительства нормативной базы [1].

### **Понятие стесненных условий строительства**

Понятие стесненных условий строительства и определение их факторов регламентируется в МДС 81-36.2004 — методике определения сметной стоимости строительных работ на территории Российской Федерации. Однако для столицы, Москвы, субъекта Российской Федерации, как города федерального значения, была принята отдельная территориальная сметно-нормативная база ТСН-2001.3. В данных действующих нормативных источниках приводятся определения условий стесненности, но описываемые методы имеют некоторые различия.

Так, согласно МДС 81-36.2004 (прил. 3, п. 2), стесненные условия характеризуются наличием на месте нового строительства трех из шести факторов:

1. Интенсивное движение пешеходов и автомобильного транспорта рядом со строительной площадкой, вследствие чего работа должна производиться короткими захватками с окончанием всех работ;
2. Наличие большого количества подземных коммуникаций, требующих перекладку или подвеску;
3. Близкое к месту работ наличие жилых или производственных сооружений и сохраняемых зеленых насаждений;
4. Ограниченные условия или невозможность складирования материалов на строительной площадке;
5. Превышение нормативной плотности застройки на 20 и более процентов;
6. Ограничение поворота стрелы башенного крана, исходя из требований техники безопасности, согласно ПОС.

Согласно же ТСН-2001.3 (прил. 2, п. 2) стесненные условия характеризуются наличием трех и более из четырех факторов:

1. Интенсивное движение пешеходов и автомобильного транспорта рядом со строительной площадкой, вследствие чего работа должна производиться короткими захватками с окончанием всех работ;
2. Наличие большого количества подземных коммуникаций, требующих перекладку или подвеску;
3. Близкое к месту работ наличие жилых или производственных сооружений и сохраняемых зеленых насаждений;

4. Ограниченные условия или невозможность складирования материалов на строительной площадке.

Как видно из приведенных данных, для Москвы, в отличие от общих федеральных норм, определение стесненных условий лишено случаев превышения нормативной плотности застройки на 20 и более процентов, а также потребностей на ограничение работы башенного крана, исходя из требований техники безопасности. Первый случай актуализирует проблему точечной застройки, представляющейся нередким явлением в столице. Второй случай еще больше поднимает вопрос отсутствия данного фактора в нормативной базе, по причине присутствия в Москве плотной городской застройки с наличием немалого количества многоэтажных строений и развитой транспортной инфраструктурой. Тем самым федеральные нормы являются более актуальными, позволяющие грамотнее и внимательнее подходить к организации строительства с данными особенностями. Столичные нормы являются более гибкими, но не освобождают от решения проблем, связанных со стесненностью строительства [2].

Касаясь вопроса самой стесненности, ее можно разделить на внешнюю и внутреннюю. Внешняя стесненность характеризуется наличием эксплуатируемых жилых или производственных зданий и инженерных коммуникаций, попадающих в зону влияния нового строительства и действия строительных механизмов, а также ограниченных размеров транспортных путей, необходимых для доставки материалов и механизации на возводящийся объект.

Внутренняя же стесненность характеризуется ограниченностью площади непосредственно на строительной площадке, исключающая свободные пространства для размещения административно-бытовых помещений, мест складирования и сборочных цехов близ возводящегося объекта [3].

#### **Устройство ограждения котлована**

При строительстве в сложившемся городском массиве нового жилого здания в условиях стесненности необходимо проводить оценку влияния нового строительства на окружающую застройку. Геотехнические расчеты требуется производить исходя из геологического строения участка и конструктивных решений существующих зданий для обеспечения целостности ближайших сооружений и инженерных коммуникаций. Их повреждение и осадка могут произойти в следствии изменения напряженно-деформированного состояния основания за счет разуплотнения грунта под фундаментами действующих строений по причине выемки грунта котлована, различия конструкции фундаментов возведенных и возводимого зданий, и последующего его строительства [4].

Во избежание последствий, еще до выемки котлована, требуются мероприятия по укреплению оснований и фундаментов существующих зданий и подземных коммуникаций, которые, в свою очередь, подразделяются на временные и постоянные. Постоянными являются те решения, которые, по итогу, станут неотделимой частью строящегося сооружения.

Для обеспечения статического равновесия строений до завершения строительства подземной части нового здания перед началом земляных работ организуют устройство «стены в грунте» или шпунтового ограждения котлована по всему его периметру.

«Стена в грунте» представляет из себя монолитную железобетонную заглубленную конструкцию, выполняющейся посредством устройства траншеи или форшахты с дальнейшим погружением арматурного каркаса и бетонированием под защитой суспензии. «Стена в грунте» имеет несколько разновидностей: траншейная и свайная из буросекущихся или бурокасательных свай,

реже — сборная и сборно-монолитная. Данный метод является крайне дорогостоящим, в связи с чем его стоит применять только в случае целесообразности его сооружения.

Шпунты представляют из себя погружаемые и впоследствии извлекаемые металлические трубы, сортаментные прокатные балки (двутавры или швеллеры) или металлические профили (шпунт Ларсена), устраиваемые вплотную друг к другу или с устройством деревянной забирки. Металлические шпунты в стесненных условиях строительства следует погружать методом безрезонансного вибропогружения или вдавливания, избегая сильного динамического воздействия на окружающую застройку.

### **Возведение фундамента**

Проектирование и дальнейшее строительство фундамента здания вблизи существующих сооружений обладают большим количеством технологических решений, в зависимости от местных геологических условий основания, имеющие различные показатели эффективности. Однако, если с возведением плитного фундамента жилого здания в условиях стесненности проблема решается устройством ограждения котлована, то при необходимости устройства свайного фундамента есть некоторые условия.

Недопустимо устройство свай методом забивки, не позволяющий производить работы по причине ударного воздействия по оголовку сваи свайного молота, что распространяет в массиве грунта динамические воздействия и вызывает его выпор, повлекший за собой появление деформаций в существующих сооружениях. То же относится и к устройству буронабивных свай по технологии непрерывного проходного шнека, ввиду вероятного превышения объема выемки грунта, вызывающего деформации и просадки конструкций.

Устройство свай методом вдавливания, набивных свай методом вытеснения и методом ввинчивания буровых труб с теряемым башмаком также могут вызывать выпор грунта. Метод вибропогружения допустим только при условии применения нового поколения безрезонансных вибропогружателей, как уже упоминалось ранее, однако все равно может создавать вибрации в массивах грунта. Нивелировать негативные воздействия данных методов возможно лидерным рыхлением и ограничением производительности машин.

При устройстве буронабивных свай в обсадных трубах необходимо строгое следование технологии работ, несоблюдение которых повлечет за собой выпор грунта в обсадную трубу. Устройство свай под защитой глинистого раствора разрешается выполнять при условии ограничения производительности машин [5].

### **Возведение надземной части здания**

Строительство железобетонного каркаса здания (в частности, высотного) подразумевает использование грузоподъемных кранов. В условиях плотной городской застройки их размещение также располагает своими особенностями и трудностями. Башенные краны могут как передвигаться по подкрановым путям, так и быть стационарными. Учитывая, что, согласно СП 314.1325800.2017, минимальная длина подкрановых путей должна быть не менее 12,5 метров и при том кратна 6,25 метрам, использование таких кранов может представляться невозможным ввиду ограниченности строительной площадки.

Большую роль при выборе крана играет механизм поворота его стрелы: нижнеповоротные и верхнеповоротные. Кран с поворотной башней имеет высокую устойчивость, без труда монти-

руется и демонтируется. Однако, его отрицательные черты заключаются в невозможности крепления башни к строящемуся зданию, небольших грузоподъемности и вылете стрелы. Кран с неповоротной башней имеет большую грузоподъемность, чем описываемый ранее, а также позволяет крепить его к зданию и наращивать высоту по мере строительства каркаса. Одним из наиболее рациональных решений при возведении многоэтажного строения является использование самоподъемного крана, устанавливаемого внутри строящегося сооружения в лифтовой шахте и поднимающегося соответственно возведению здания. В настоящее время такие краны существуют с размерами от 1,6 до 1,9 метров.

В стесненных условиях в зону действия башенного крана могут попасть здания окружающей застройки или другие краны возводимого сооружения. Чтобы избежать опасные ситуации пересечения стрел, краны необходимо оборудовать датчиками ограничения поворота стрелы, что в значительной степени затрудняет их эксплуатацию, вследствие чего рекомендуется рассмотрение иных вариантов расположения кранов. Условия стесненности также диктуют требования по уменьшению опасной зоны работы крана, которая может быть уменьшена посредством установки ограничителя поворота стрелы и координатной защиты, ограничения скорости поворота стрелы в сторону границы рабочей зоны, применения предохранительных механизмов для избежания падения грузов, а также установки защитного экрана по периметру здания, имеющего высоту сверх высоты подъема крюка.

Стоит упомянуть и про возможность использования в особых условиях новых «CITY» кранов, представляющие из себя мобильные башенные и автокраны [6, 7].

Говоря про инновационные организационные методы строительства в стесненных условиях следует упомянуть технологию «Top-Down». Данная технология позволяет одновременно возводить подземную и надземную части здания благодаря изначальному методу сооружения «стены в грунте», являющейся, в то же время, ограждением самой подземной части и устройству перекрытия, поддерживаемого буровыми колоннами. Процесс производства строительно-монтажных работ начинается со строительства ядра жесткости с последующим возведением надземных и подземных этажей с фундаментом. Данный метод обеспечивает безопасность окружающей застройки и позволяет сократить сроки строительства на 30%, однако является довольно затратным по сравнению с обычными способами строительства [8].

### **Устройство вспомогательных сооружений и дорог**

Крайне важным остается вопрос размещения административно-бытовых помещений, складов, производственных цехов и мастерских. Как правило, на строительных площадках, в случаях невозможности размещения вспомогательных сооружений на территории застройки в связи с недостаточной по нормативам площадью для их размещения, временные строения переносят за границы строительства. В данном случае необходимо сравнить размещение вышеуказанных помещений на предмет организационно-технологической и экономической целесообразности.

Вспомогательные сооружения, размещенные за пределами строительной площадки, возможно устраивать как стандартным образом, так уже и в существующих строениях. В ситуации, если бытовой городок все же необходимо расположить за пределами строительной площадки, производят поиск нужного участка или сооружения. Критерии поиска сводятся к выбору наиболее приближенного к месту строительства участка или строения с наличием необходимых инженерных коммуникаций, а также приемлемой стоимостью аренды. Поиск ближайшего целесообразного места



влияет на способ прибывания рабочих на объект: пешком или при помощи автотранспорта. После выбора необходимого участка или сооружения бытовые помещения требуется максимально возможно приблизить к требованиям санитарных норм.

В условиях недостаточной площади строительной площадки может возникать и проблема устройства временных дорог. Для решения вопроса используют постоянные действующие дороги, прокладывают временные по месту будущих постоянных путей и, по мере возможности, делают кольцевую дорогу или устраивают разворотные тупики.

### **Поставка материалов, изделий и оборудования**

Как уже говорилось ранее, при стесненных условиях не всегда возможно расположение производственных цехов в границах строительства. В следствии данной проблемы изделия изготавливают на вынесенных за пределы строительства участках или заказывают готовые на производстве с последующей доставкой. При этом важно соблюдать точный график поставки материалов и изделий. Из-за отсутствия места на строительной площадке появляется необходимость разгрузки с подачей непосредственно к месту производства работ, в результате чего данный метод снабжения требует пристальный контроль за всем процессом поставки ввиду опасности срыва сроков строительства. Дополнительные сложности отсутствия местных складских помещений может создать хранение специального оборудования. Данный вопрос возможно решить при помощи создания промежуточных складов или все той же разгрузки к месту производства работ, что, однако, вновь потребует соблюдения четкой координации и точных сроков поставки.

### **Защита экологической среды**

Как и строительство в обычных условиях, возведение жилых зданий в стесненных условиях должно производиться с соблюдением всех требований охраны окружающей среды. Так, неблагоприятное воздействие оказывает шумовой эффект строительного производства. Уровень шума зависит от вида производимых работ и затухает на 4 дБ при увеличении расстояния в 2 раза. Динамическое воздействие влияет на окружающую среду посредством работы машин, механизации и выполнения технологических процессов. При строительстве в условиях городской стесненности допустимые значения вибрационного воздействия могут превышать в 5-10 раз. Уменьшить вибрационное влияние осуществимо при помощи выбора определенных технологических решений выполнения работ и подбора машин. Также, возведение здания оказывает негативное влияние на почвенные и грунтовые слои, грунтовые воды.

Строительство сооружений из монолитного железобетона подвергает окружающую застройку пылевому загрязнению, так как пылевые выбросы по причине строительства составляют около 50 – 70% общего объема выбросов в атмосферу. Минимизацию данного фактора возможно реализовать за счет изготовления бетона и смесей на заводах, а также смачивания временных дорог водой. Колеса автотранспорта необходимо очищать от грязи при выезде со строительной площадки.

Запрещается использовать токсичные строительные материалы без положительного санитарно-эпидемиологического заключения. В случае его получения разрешается хранить такие материалы исключительно в требуемых объемах в герметично закрытых местах.

Строительный процесс сопровождается формированием большого количества мусора, отчего необходимо грамотно подходить к сбору и утилизации бытовых и строительных отходов путем



вывоза мусора оборудованными брезентом самосвалами, сдачи металлических отходов в пункты приема металлолома и сбору сточных вод в непроницаемые емкости [9].

### Заключение

Актуальность строительства жилых зданий в стесненных условиях обуславливается ростом населения и инвестиционной привлекательностью строительства. В настоящее время растет спрос на подобные объекты, несмотря на увеличение их стоимости и сложности строительного процесса. Данные условия имеют свои особенности и трудности при производстве строительного-монтажных и организационно-технологических работ, требуют большей подготовки всех участников строительства. Возведение таких зданий должно не только обеспечивать долговечность, безопасность и качество самого строящегося сооружения, но и окружающую его застройку. Необходимо не только решать насущные проблемы, но и разрабатывать новые методы строительства в стесненных условиях.

### Библиографический список

1. Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лapidус А. А. Технология возведения зданий и сооружений: учебник для строит. вузов / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус. М.: Высш. шк., 2006.
2. Киселев, А. А. Понятие стесненности в нормативных базах строительного производства / А. А. Киселев, Е. А. Гусакова, А. В. Беляев // Вестник МГСУ. — 2011. — № 8. — С. 427 – 429.
3. Бельчевский, Р. О. Классификация стесненных условий, влияющих на выбор организационно-технологических систем по возведению зданий и сооружений / Р. О. Бельчевский // Экономика строительства. — 2023. — № 4. — С. 126 – 130.
4. Филь, О. А. Организация строительства в стесненных условиях жилого дома / О. А. Филь, С. И. Шаповалов, А. О. Касимов // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 1(52). — С. 150.
5. Гайдо, А. Н. Особенности разработки проектов производства работ по устройству свайных фундаментов в стесненных условиях городской застройки / А. Н. Гайдо // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2017. — Т. 8, № 4. — С. 74 – 85. — DOI 10.15593/2224-9826/2017.4.08.
6. Гаджинов, А. Т. Особенности возведения жилых зданий в стеснённых условиях исторически сложившейся застройки города / А. Т. Гаджинов // Технические и математические науки. Студенческий научный форум : Электронный сборник статей по материалам III студенческой международной научно-практической конференции. Том 3 (3): Общество с ограниченной ответственностью «Международный центр науки и образования», 2018. — С. 12 – 16.
7. Маилян, Л. Р. Анализ организационных особенностей работы монтажных кранов в стесненных условиях строительства / Л. Р. Маилян, М. А. Зорина // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии : Сборник статей 78-ой всероссийской научно-технической конференции, Самара, 19 – 23 апреля 2021 года / Под редакцией М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, А. К. Стрелкова. — Самара: Самарский государственный технический университет, 2021. — С. 325 – 338.

8. Жабасова, Р. В. Проблема строительства в стесненных условиях. Применение инновационных технологий / Р. В. Жабасова, А. О. Эрзяйкина, Е. В. Кузнецова // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогасоснабжения и энергообеспечения : Материалы IX Национальной конференции с международным участием, Саратов, 11–12 апреля 2019 года / Под ред. Ф. К. Абдразаков. — Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2019. — С. 101–106.
9. Куприенко, Е. С. Вопросы экологии при строительстве в стесненных условиях плотной городской застройки / Е. С. Куприенко // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции, Курск, 14–15 октября 2021 года. Том 3. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. — С. 74–77.
10. Моделирование пластического разрушения цилиндрических сосудов с патрубком под действием внутреннего давления / Н. А. Берков, А. И. Архангельский, Т. А. Горшунцова [и др.] // Системные технологии. — 2023. — № 4(49). — С. 45–53. — DOI 10.55287/22275398\_2023\_4\_45. — EDN XBTPLJ.
11. Comparison of steel frame elements design using SP16.1330.2017 and AISC / G. E. Okolnikova, T. H. Gebre, A. N. Al Amin [et al.] // Системные технологии. — 2023. — No. 3(48). — P. 87–106. — DOI 10.55287/22275398\_2023\_3\_87. — EDN HGMEER.
12. Расчет остаточных напряжений в полом цилиндре под действием внутреннего давления / М. Ш. Гатиев, Л. И. Лесняк, Б. М. Языев [и др.] // Системные технологии. — 2023. — № 2(47). — С. 74–83. — DOI 10.55287/22275398\_2023\_2\_74. — EDN EMLLWK.
13. Алипур, М. Перспективы применения высокопрочного бетона с использованием сельскохозяйственных отходов / М. Алипур, Г. Э. Окольникова // Системные технологии. — 2023. — № 2(47). — С. 146–154. — DOI 10.55287/22275398\_2023\_2\_146. — EDN DVPGNO.
14. Гордеева, Г. В. Контроль прочности бетонных конструкций при проведении оценки остаточного ресурса зданий и сооружений опасного производственного объекта в сфере теплоэнергетики / Г. В. Гордеева, А. К. Курбанмагомедов, Д. В. Спицов // Системные технологии. — 2022. — № 4(45). — С. 73–86. — DOI 10.55287/22275398\_2022\_4\_73. — EDN TRFQDC.

---

## FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF MONOLITHIC RESIDENTIAL BUILDINGS IN CRAMPED CONDITIONS

**M. A. Fakhratov**  
**A. A. Osadchiy**

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

---

### Abstract

The purpose of this publication is to identify, review and update the features of the construction of residential structures made of monolithic reinforced concrete in a confined space. The objectives of the study are to consider the most rational methods of constructing monolithic residential buildings in conditions of overcrowding in large cities. The article examines the concept of

### The Keywords

*construction, cramped conditions, residential building, concrete construction, factors, safety, excavation, foundation, crane, construction site, environment*

constraint and the specificity of the impact of new construction on the surrounding area, excavation, foundation construction, aboveground part of the building, organization of the construction site, supply of the construction site and environmental protection. The hypothesis is to update the topic due to the need for housing construction in dense urban areas in the current realities. The research methods consist in analyzing the current methods of solving issues related to these conditions.

**Date of receipt in edition**

22.02.2024

**Date of acceptance for printing**

01.03.2024

**Ссылка для цитирования:**

*М. А. Фахратов, А. А. Осадчий.* Особенности строительства монолитных жилых зданий в стесненных условиях. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 75–83.





УДК 69

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_84-93

---

## БРЕНДИНГ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИРМЫ

Д. А. Шевченко

Российский государственный социальный университет, г. Москва

---

### Аннотация

Создание сильного бренда является решающим фактором успеха фирмы, особенно в таких высококонкурентных секторах, как строительство. Это, в свою очередь, предполагает проведение научного анализа формирования и усиления бренда, разработку практических рекомендаций, которые позволят строительной фирме занять уникальное место в отрасли, вывести свой строительный бренд на более высокий уровень. Сильный бренд дает возможность строительной фирме выделиться среди конкурентов и привлечь клиентов к заключению контрактов. Брендинг укрепляет доверие и авторитет фирмы на строительном рынке, где проекты связаны со значительными инвестициями и рисками, клиентам необходимо быть уверенными в выборе партнеров и подрядчиков. По факту клиенты готовы платить больше, чтобы работать с брендом, которому они могут доверять. Хорошо зарекомендовавший себя бренд символизирует надежность, качество и опыт, гарантируя клиентам способность фирмы выполнять взятые на себя обещания. Строительные фирмы могут получить значительную финансовую отдачу от инвестиций, инвестируя (ROI) в наличие сильного и последовательного бренда. Строительный брендинг является важной инвестицией для фирм, которые хотят добиться успеха в отрасли. Инвестируя в брендинг, строительные фирмы могут выделиться среди конкурентов, привлечь новых клиентов и увеличить свою прибыль.

### Ключевые слова

*Бренд, брендинг, строительная фирма, позиционирование, логотип, нейминг*

### Дата поступления в редакцию

22.02.2024

### Дата принятия к печати

01.03.2024

---

Брендинг строительной фирмы эффективно включает в себя несколько важных шагов.

Во-первых, необходимо для начала определить идентичность своего бренда, что представляет собой фирма, включая ее ценности, уникальное торговое предложение (УТП). [19]

Во-вторых, более точно, как это возможно, определить свою целевую аудиторию (целевых клиентов), понимая ее потребности и предпочтения.

В-третьих, усилия по брендингу должны включать в себя установление реалистичного бюджета, определение позиционирования бренда на рынке и разработку уникального логотипа, который выражает суть вашего бренда. [21]

В-четвертых, ключом к поддержанию целостности бренда является создание последовательного голоса бренда, отражающего ценности фирмы, а также, создание фирменных изображений для маркетинговых и рекламных материалов. [11]

В-пятых, наконец, создание и распространение комплексных руководств по управлению фирменным стилем бренда (брендбук) и стратегического плана продвижения бренда, обеспечивающих согласованность всех маркетинговых каналов и точек соприкосновения с клиентами, укрепляя надежное присутствие бренда в строительной отрасли. [13]

При брендировании строительной фирмы первым и наиболее важным шагом является определение индивидуальности бренда и уникального торгового предложения (УТП). Это предполагает глубокое понимание того, что представляет собой фирма по своей сути. [12]

Для определения индивидуальности бренда, следует начать с выяснения и постановки фундаментальных вопросов:

- Определить основные ценности и миссию бренда фирмы.
- Определить целевую аудиторию.
- Разработать свой уникальный подход или услуги предлагаются фирмой, которые отличают ее от конкурентов.
- Определить цель бренда фирмы.

Определяя ценности собственного бренда, речь идет не только о логотипе или его цветовой гамме, что несомненно, ценно само по себе и необходимо, речь идет о чувствах и ассоциациях, которые он вызывает, когда фактические и потенциальные клиенты (целевая аудитория — ЦА) думают о фирме. Это то, что делает фирму узнаваемой и запоминающейся на плотном конкурентном потребительском рынке.

Идентичность бренда — это суть индивидуальность бизнеса фирмы и того, как он воспринимается ЦА. Он должен отражать надежность и профессионализм, присущие строительной отрасли, а также демонстрировать уникальные качества фирмы, такие как ориентация на экологически чистые методы строительства, инновационный дизайн или экономическую эффективность.

Эта идентичность будет определять все усилия по брендингу: от маркетинговых материалов и дизайна веб-сайта до того, как сотрудники взаимодействуют с клиентами. Четко определенная идентичность бренда помогает улучшить согласованность действий по всем каналам, что имеет решающее значение для укрепления доверия и признания на рынке. [4]

Второе, над чем необходимо сосредоточиться — это определить свою целевую аудиторию (ЦА). Целевая аудитория — это не просто группа потенциальных клиентов, это особый сегмент рынка, который, скорее всего, будет нуждаться в ваших услугах и ценить их. Выявление и понимание этой группы формирует стратегии брендинга и гарантирует целенаправленность и эффективность последующих маркетинговых усилий. [18]

Правильно и смело начать с постановки ключевых вопросов:

- кто наши идеальные клиенты?
- это застройщики коммерческой недвижимости?
- или это государственные структуры, занимающиеся проектами общественной инфраструктуры?

У каждой группы разные потребности и приоритеты. Например, клиенты государственных организаций могут уделять приоритетное внимание соблюдению правил и стандартов безопасности, в то время как коммерческие клиенты могут уделять больше внимания функциональности и долговечности.

Кроме того, следует учитывать местоположение аудитории. Одно дело, вы обслуживаете местное сообщество, другое дело, когда вы обслуживаете более широкий региональный рынок или работаете на национальном уровне. [15]



Местные клиенты могут ценить подход, ориентированный на местные традиции, тогда как национальная аудитория может быть больше заинтересована в разнообразных крупномасштабных проектах.

Понимание своей аудитории также предполагает знание процесса ее принятия решений. Какие факторы для них наиболее важны? Это цена, сроки, качество работы или практика устойчивого развития? Эти знания позволяют адаптировать свои сообщения и усилия по брендингу для решения конкретных проблем и потребностей.

Четкое определение своей целевой аудитории позволит создать бренд, который найдет отклик у тех, кто с наибольшей вероятностью воспользуется фирменными услугами. Такой целенаправленный подход не только помогает привлечь нужных клиентов, но и помогает выстроить долгосрочные отношения с ними, поскольку такой брендинг будет отражать понимание и стремление удовлетворения их конкретных потребностей. [5]

Оценка конкурентов поможет понять рыночную ситуацию, определить, что у аналогичных фирм получается хорошо или плохо, и найти возможности дифференцировать свой бренд. [8]

Фактически, 90% компаний практикуют конкурентную разведку. Это указывает на то, что большинство крупных компаний осознают ценность понимания своих конкурентов и отраслевой ситуации.

Но начинать придется с определения своих основных конкурентов. Это могут быть местные фирмы, предлагающие аналогичные строительные услуги, или более крупные фирмы, чья бизнес-модель или клиентская база совпадают. Правильно, когда менеджеры маркетинга составят список из пятерки или десятки лучших.

После определения необходимо проанализировать конкурентные стратегии их брендинга. Проанализировать их логотипы, дизайн веб-сайтов, маркетинговые материалы рекламные обращения, PR акции, их активность присутствия в социальных сетях. Уточнить такие позиции как: какие сообщения они передают; как они позиционируют себя по цене, качеству и сервису. [11]

Необходимо провести SWOT — анализ. Обратит внимание на их сильные и слабые стороны. Возможно, у конкурента хорошая репутация в плане своевременного завершения проектов, но ему не хватает хорошего обслуживания клиентов. Может быть, у них отличный брендинг, но их портфолио на сайте и общении не отражает этого. Эта информация может помочь более точно позиционировать свой бренд, чтобы заполнить пробелы на этом рынке. [16]

Конкурентный анализ предполагает изучение отзывов о фирме в СМИ и отзывы о них клиентов. Это может стать ценной информацией о том, что ценят клиенты в вашей отрасли, какие факторы влияют на них негативно.

Кроме того, конкурентный анализ предполагает определения трендов и тенденций на рынке. Поиск общих тем или стратегий, которые хорошо работают в строительной отрасли. Области, которые конкуренты постоянно упускают из виду, где фирма потенциально могла бы преуспеть.

Понимание конкурентной среды позволит создать уникальное пространство для бренда, которое будет отражать сильные стороны фирмы и затрагивать области, в которых отсутствуют конкуренты. Это поможет выделиться на переполненном рынке и более четко обратиться к своей целевой аудитории.

Выбор правильного названия бренда является решающим элементом в процессе брендинга строительной фирмы. Название бренда фирмы часто является первой точкой контакта с потенциальными клиентами и играет важную роль в создании первого и самого запоминающегося впечатления. Оно должно быть легко произносимым и отражать индивидуальность и ценности бренда. Выбор название бренда (нейминг) должен иметь отношение к строительной отрасли и отражать уникальность ваших



услугах. Он может отражать силу, долговечность, инновации или надежность — качества, которые наиболее ценятся в строительстве.

Запоминаемость бренда зависит от найденного имени, которое легко воспроизвести и произнести. Следует избегать слишком сложных или длинных имен, которые клиентам могут усложнить запоминаемость или усложнить поиск имени в Интернете.

Более того, выбор имени должно выдержать испытание временем и не станет ограничивать рост бизнеса фирмы. Например, следует избегать названий, которые слишком специфичны для конкретной услуги или географического местоположения, если не уверены, что хотите специализироваться в этой нише.

Следует подумать также о имени, которое вызывает положительные эмоции и находит отклик у целевой аудитории, у которой найденные варианты следует протестировать. Правильный эмоциональный тон может сделать бренд более доступным и узнаваемым, выстроить связь с клиентом. Фактически, клиенты, которые чувствуют сильную эмоциональную связь с брендом, меньше беспокоятся о цене.

Эти эмоционально заинтересованные клиенты готовы платить более высокую цену за привилегию использования ваших фирменных продуктов и услуг. Данные показывают, что, если фирма будет восприниматься как оказывающая положительное влияние на окружающий мир, то некоторые клиенты будут готовы платить дополнительно гораздо выше за предлагаемые фирмой продукты и услуги.

Брендинг не может быть реализован без своего бюджета.

Брендинг включает в себя целый ряд мероприятий — от дизайна логотипа и разработки веб-сайтов до маркетинговых материалов и рекламных и пиар кампаний в социальных сетях и мессенджерах. Знание бюджета помогает расставить приоритеты в этих элементах и обеспечивает эффективное выделение ресурсов без перерасхода средств.

Остановимся на некоторых затратах, которые следует учитывать:

Первоначальные затраты на брендинг: определение затрат, связанных с процессом первоначального брендинга или ребрендинга. Это включает в себя дизайн логотипа, создание веб-сайта, разработку маркетинговых материалов, таких как: визитные карточки, брошюры, листовки, где, возможен, найм консультанта или агентства по брендингу.

Необходимо определить бюджет на маркетинг и рекламу. Сюда может быть отнесена интернет-реклама (например, реклама Яндекс или кампании в социальных сетях), печатная реклама, вывески на строительных площадках, оклейка автомобилей и любые другие рекламные и пиар акции. [14]

Брендинг — это не единовременное мероприятие. Для его поддержания необходимо выделить ту часть своего бюджета, которая пойдет на постоянное поддержание бренда. Это включает в себя обновления веб-сайта, управление социальными сетями, создание новых маркетинговых материалов и другие действия, позволяющие поддерживать осведомленность и актуальность вашего бренда.

Резервный фонд: разумно расходовать на непредвиденные мероприятия, связи с СМИ, работу с журналистами или, таких как, спонсирование местного специального события (ивента), обновление брендинга, дополнительные маркетинговые усилия в ответ на активность конкурентов.

Необходимо обратить внимание на так называемые KPI и ROI возврат инвестиций, необходимых для определения потенциальной рентабельности усилий по брендингу. Хороший брендинг может привести к повышению узнаваемости, увеличению ставок и, в конечном итоге, к увеличению доходов. При планировании бюджета важно найти баланс между рентабельностью и достаточными инвестициями для создания сильного присутствия бренда. Конечно, необходимо принимать в расчет реалистичность

в отношении того, что фирма и ее менеджеры (их компетентность) может себе позволить, принимая во внимание, что эффективный брендинг — это инвестиция в долгосрочный успех бизнеса фирмы.

Для решения тактических задачи и оперативного продвижения бренда фирмы следует учитывать позиционирование бренда на выбранном конкретном рынке. [20]

Определение позиционирования бренда включает в себя определение того, как вы задумали, чтобы ваш бренд воспринимался на рынке и как воспринималось его отличие от конкурентов. Эффективное позиционирование бренда проясняет уникальное ценностное предложение фирмы и помогает ориентироваться на нужную аудиторию. [17]

Известны факторы, которые помогают определить позиционирование бренда: понимание целевой аудитории / рынка, оценка конкурентов и УТП, а также построение эмоциональной связи. Однако есть и другие факторы, на которые следует обратить внимание при определении позиционирования бренда, такие как цена и качество. Целесообразно составить собственную карту позиционирования бренда фирмы.

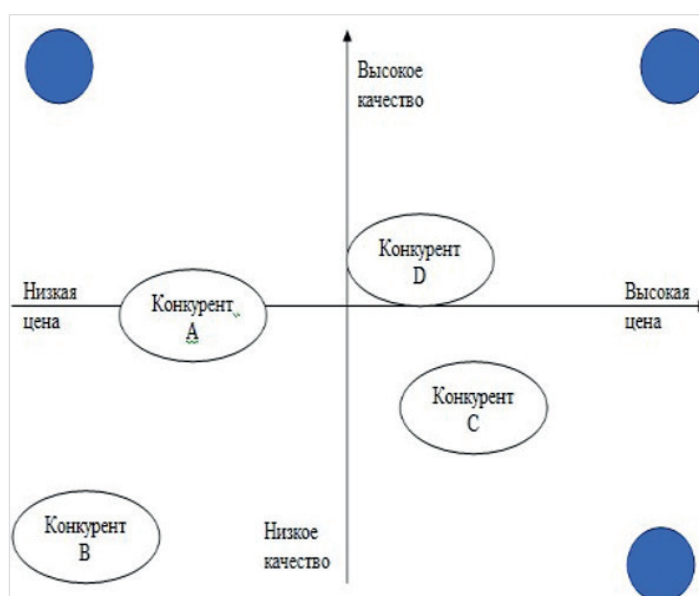


Рис. 1. Карта позиционирования бренда

Для создания и развития бренда строительной компании ключевым моментом является поддержание единообразия бренда в цифровых маркетинговых материалах.

Вот некоторые области, на которых следует сосредоточиться:

#### *Веб-сайт*

Ваш строительный веб-сайт должен стать цифровым краеугольным камнем бренда, демонстрируя портфолио, услуги и ценности компании. Он должен отражать индивидуальность бренда посредством последовательного использования цветов, шрифтов и сообщений. [6]

#### *Социальные сети*

Используйте платформы социальных сетей, чтобы укрепить индивидуальность бренда. Согласованность визуальных элементов, тона и сообщений на разных платформах, таких как ВКонтакте или Телеграм, имеет решающее значение.

### *Блог*

Блог может помочь компании стать лидером отрасли. Делитесь идеями, обновлениями проектов и новостями отрасли, гарантируя, что контент соответствует голосу и ценностям бренда. [1]

### *Предложения*

Предложения по строительству являются ключевыми точками соприкосновения с потенциальными клиентами. Они должны быть профессионально разработаны и отражать визуальный и коммуникативный стиль бренда.

### *Реклама*

Ваши рекламные кампании, онлайн или офлайн, должны мгновенно узнаваться как принадлежащие бренду.

### *SEO*

Внедряйте стратегии SEO, которые не только улучшат видимость в Интернете, но и отражают послание и ценности бренда.

### *Расскажите о членах вашей команды*

Выделите членов своей команды, чтобы продемонстрировать человеческий фактор, стоящий за строительной компанией. Поделитесь их историями, достижениями и опытом на своих цифровых платформах, включая социальные сети, свой веб-сайт и резюме.

Такой подход не только персонализирует бренд, но также демонстрирует опыт и преданность делу вашего персонала. Внимание сотрудников, взгляды за кулисы проектов и контент, созданный сотрудниками, могут значительно повысить узнаваемость и аутентичность бренда.

### *Участвуйте в местном маркетинге*

Активно участвуйте в местных маркетинговых мероприятиях, чтобы усилить присутствие бренда в сообществах. Это может включать в себя спонсирование местных мероприятий, участие в общественных проектах или оптимизацию присутствия в Интернете для местного SEO. [2]

### *Обеспечьте доверительный клиентский опыт*

Предоставление исключительного качества обслуживания клиентов имеет жизненно важное значение для создания сильного бренда. Очень важно, чтобы каждое взаимодействие — от первоначального запроса до завершения проекта — отражало приверженность бренда качеству, надежности и удовлетворенности клиентов.

Оперативные ответы, прозрачность общения и превышение ожиданий клиентов могут превратить клиентов в защитников бренда, повысив вашу репутацию и надежность в отрасли.

### *Убедитесь, что вас легко найти*

Оптимизируйте свое присутствие в Интернете, чтобы вашу строительную компанию было легко найти. Это включает в себя поддержание актуальных списков в онлайн-каталогах, таких как Яндекс Бизнес и Яндекс Карты, внедрение эффективных стратегий SEO на веб-сайте и активное присутствие на платформах социальных сетей.

Легкость поиска и доступность в Интернете имеет решающее значение в современную цифровую эпоху, поскольку это напрямую влияет на способность потенциальных клиентов.

### *В качестве резюме*

Брендинг обладает инстинктивной привлекательностью, которой жаждут все владельцы бизнеса. Когда у бизнеса вашей фирмы сильный бренд, его название — это первое, о чем думают люди, когда им нужно найти кого-то для удовлетворения своих потребностей.

Обратим внимание на важные особенности брендинга.

Когда дело доходит до брендинга, жилищное строительство и коммерческое строительство — это две совершенно разные вещи. Жилое строительство обычно связано с небольшими проектами, такими как дома и квартиры, тогда как коммерческое строительство включает в себя более крупные и сложные проекты, такие как офисные здания и магазины розничной торговли.

*В жилищном строительстве* основное внимание следует уделить созданию теплого и привлекательного бренда. Логотип должен иметь привлекательные цвета и графику, веб-сайт должен быть простым в навигации и включать визуальные эффекты готовых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги улучшают жизнь владельцев домов. [3]

*В коммерческом строительстве* основное внимание следует уделять созданию профессионального и надежного бренда. Логотип должен содержать более классические цвета и графику, веб-сайт должен содержать подробное описание услуг и прошлых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

Промышленное строительство и институциональное строительство — это тоже два совершенно разных типа строительных проектов. Промышленные проекты обычно включают в себя более крупные и сложные структуры, такие как ангары и склады, тогда как институциональные проекты, как правило, представляют собой более мелкие и простые структуры, такие как школы и церкви. [9]

*В промышленном строительстве* основное внимание следует уделить созданию сильного и надежного бренда. Логотип должен иметь яркие цвета и графику, веб-сайт должен содержать подробное описание услуг и прошлых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

*При институциональном строительстве* основное внимание следует уделять созданию теплого и привлекательного бренда. Логотип должен иметь привлекательные цвета и графику, веб-сайт должен содержать изображения готовых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги улучшают жизнь членов сообщества.

Независимо от того, на каком типе строительства вы специализируетесь, брендинг является ключевым фактором успеха. [10]

Брендинг строительства инфраструктуры и брендинг специализированного строительства также требуют своих подходов.

Строительство инфраструктуры и специализированное строительство — это два совершенно разных типа строительных проектов. Инфраструктурные проекты обычно включают в себя крупномасштабные сооружения, такие как дороги и мосты, тогда как специализированные проекты, как правило, представляют собой более специализированные сооружения, такие как туннели и плотины.

При строительстве инфраструктуры основное внимание следует уделять созданию профессионального и надежного бренда. Логотип должен иметь яркие цвета и графику, веб-сайт должен содержать подробное описание услуг и прошлых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

В специализированном строительстве основное внимание следует уделить созданию творческого и инновационного бренда. Логотип должен иметь уникальные цвета и графику, веб-сайт должен содержать изображения специализированных проектов и техническую информацию, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут решать сложные проблемы экономически эффективным способом.

Брендинг генерального подрядчика. Генеральный подрядчик обычно не вкладывает много средств в свой бренд или в строительный веб-сайт. Довольствуется википедией или полностраничным сайтом, использует Яндекс Бизнес. Однако, подрядчик должен инвестировать в брендинг себя как надежного источника информации на каждом этапе строительного процесса. Разработка логотипов, дизайн сайтов, маркетинговые материалы; все должно быть изготовлено по индивидуальному заказу, чтобы обеспечить уникальную индивидуальность бренда. Логотип должен иметь классические цвета и графику, сайт должен содержать подробное описание услуг и реализованных проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

Независимо от того, на каком типе строительства вы специализируетесь, брендинг является ключевым фактором успеха. Создание сильного бренда поможет оставаться конкурентоспособными и успешными в отрасли.

Различные типы строительства требуют разных стратегий брендинга. Специализированное строительство часто предполагает создание элитных конструкций со сложным дизайном, поэтому важно создать фирменный стиль, отражающий уровень внимания к деталям и креативности. Логотип должен иметь уникальные цвета и графику, веб-сайт должен содержать изображения специализированных проектов и техническую информацию, а рекламные материалы должны подчеркивать то, как услуги смогут решить сложные проблемы экономически эффективным способом. Сильная индивидуальность бренда поможет вам выделиться среди конкурентов и привлечь высококлассных клиентов, которые ценят качество и мастерство.

Используя мощный бренд, вы можете завоевать доверие клиентов и зарекомендовать себя как лидер в строительной отрасли. Инвестиции в брендинг являются неотъемлемой частью успеха, позволяя бизнесу выделиться среди конкурентов и оставаться успешным в долгосрочной перспективе.

При правильной стратегии брендинга ваш строительный бизнес может выделиться среди остальных и быть успешным.

Независимо от того, на каком типе строительства вы специализируетесь, брендинг является ключевым фактором успеха.

Уточним еще один момент: если вашей фирме больше четырех или пяти лет, она пользуется известностью среди тех, кто пользовался услугами. В этом случае бренд — это действительно ваша репутация. Обычно репутация молодой фирмы во многом соответствует уровню предоставляемых ею услуг. Если репутация вашего бренда не такая, как вы хотите, придется столкнуться с рядом проблем, если вы попытаетесь ее изменить.

Возможно, придется полностью сменить имя. Это распространенный подход в большом бизнесе. Изменяя имя, изменяя логотип и цвета, потребители начинают думать, что на рынок вышел новый игрок.

Под новым названием может быть построен новый бренд. Это крайний случай, но он чаще всего работает, если предположить, что бизнес исправил ошибки, которые в первое время создали негативный имидж бренда.



### **Библиографический список**

1. Бовтеев С. В., Евстифеева Е. С. Методика формирования моделей визуализации строительных процессов // Системные технологии № 2 (47) 2023. С. 66 – 73.
2. Галанина Т. В., Третьякова И. Н. Стратегия интернет-маркетинга строительной компании // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 12-1. С. 39 – 45.
3. Галка Р. В., Капустина Л. М. Теоретические и прикладные аспекты создания бренда жилой недвижимости // Известия Уральского государственного экономического университета. 2011. № 2 (34). С. 99-103.
4. Гладких Т. В., Коробова Л. А., Толстова И. С. Разработка информационного web-сайта реализации заказов на строительство малоэтажных домов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2022. № 4 (30). С. 40 – 45.
5. Зацепина О. Зеленое строительство и сертификация как инструменты продвижения бренда // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. № 5-6 (232-233). С. 35 – 37.
6. Ким А.О. Цифровизация в строительстве: технологии будущего для современных проектов // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 100-5. С. 35 – 37.
7. Гайрбеков С. М. С. Э., Мажиев М. Х., Шахабов Ш. И., Радуев И. А., Чагаев И. В., Мажиева А. Х., Межидов Л. Ю., Мажиев К. Х., Татарханов Х. А., Мажиев А. Х. Цифровизация городского строительства и хозяйства // Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2023. № 4 (15). С. 105 – 110.
8. Медвинский А. О. Сущность конкурентного позиционирования компании сферы строительства // Молодой ученый. 2021. № 48 (390). С. 108 – 111.
9. Патрушева Н. А. Комплекс маркетинговых коммуникаций в строительстве энергообъектов // Наука и образование. 2021. № 2 (2). С. 19 – 21.
10. Рябова А. Д. Анализ строительного рынка России и выделение ключевых игроков // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 6. С. 79 – 83.
11. Симонян Т. В., Воротынцева Е. Е. Специфика интегрированных маркетинговых коммуникаций в строительстве // Экономика и управление: проблемы, решения. 2018. Т. 2. № 6. С. 128 – 132.
12. Синявская Е. Е., Синявская В. В. Межкультурная коммуникация в строительстве // Наука: общество, экономика, право. 2020. № 1. С. 86-92.
13. Терентьев Ю. В. Систематизация видов брендинга // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 3: Экономические, гуманитарные и общественные науки. 2022. № 3. С. 30 – 37.
14. Третьякова С. А., Уразова Н. Г. Применение современных моделей рекламы в строительстве // Молодежный вестник ИрГТУ. 2022. Т. 12. № 1. С. 160 – 165.
15. Фабричный С. Ю., Рузакова О. А. Региональные бренды России: основные направления развития // Патенты и лицензии. Интеллектуальные права. 2017. № 5. С. 46 – 52.
16. Хан Р. С., Сурков В. В. Региональные особенности позиционирования строительной продукции в маркетинговых коммуникациях // ЦИТИСЭ. 2021. № 2 (28). С. 500 – 509.
17. Шабалова Т. С., Романович В. К. Комплекс маркетинговых коммуникаций в строительстве // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 2-2 (72). С. 156 – 159.



18. Шевченко Д. А. Маркетинг и реклама: 1000 терминов: словарь для студентов: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 080111 — Маркетинг и 032401 — Реклама / Д. А. Шевченко; РГГУ — Москва: 2007.

19. Ефремов Р. В., Зубарева О. Н., Шипков О. И. К вопросу о снижении капитальных затрат при строительстве систем внутреннего водоснабжения и водоотведения // Системные технологии. 2022. № 1 (42). С. 22 – 26.

20. Шевченко Д. А. Продвижение товаров и услуг: практическое руководство / Д. А. Шевченко, Е. В. Пономарева. — Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2021. — 372 с.

21. Шевченко Д. А. Реклама. Маркетинг. PR: учебно-справочное пособие / Д. А. Шевченко. — Москва, 2009. — 474 с. — ISBN 978-5-7017-1421-0.

22. Фахратов, М. А. Повышение эффективности организации строительного производства / М. А. Фахратов, М. Ф. Кужин // Системные технологии. — 2023. — № 2(47). — С. 108 – 112. — DOI 10.55287/22275398\_2023\_2\_108. — EDN ABYVPW.

---

## BRANDING OF A CONSTRUCTION COMPANY

D. A. Shevchenko

Russian State Social University, Moscow

---

### Abstract

Building a strong brand is crucial to a firm's success, especially in highly competitive sectors such as construction. This, in turn, involves conducting a scientific analysis of the formation and strengthening of the brand, developing practical recommendations that will allow the construction company to take a unique place in the industry, bring its construction brand to a higher level. A strong brand makes it possible for a construction company to stand out from competitors and attract customers to sign contracts. Branding strengthens the firm's trust and credibility in the construction market, where projects involve significant investments and risks, customers need to be confident in choosing partners and contractors. In fact, customers are willing to pay more to work with a brand they can trust. A well-established brand symbolizes reliability, quality and experience, guaranteeing customers the ability of the company to fulfill its promises. Construction firms can get a significant financial return on investment by investing (ROI) in having a strong and consistent brand. Building branding is an important investment for firms that want to succeed in the industry. By investing in branding, construction firms can stand out from competitors, attract new customers and increase their profits.

### The Keywords

*Brand, branding, construction company, positioning, logo, naming*

### Date of receipt in edition

22.02.2024

### Date of acceptance for printing

01.03.2024

---

### Ссылка для цитирования:

Д. А. Шевченко. Брендинг строительной фирмы. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 84–93.



УДК 624.131.3

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_94-102

---

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗОНДИРОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИСЯЧИХ СВАЙ

**М. О. Аллаев**

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала

---

### **Аннотация**

В настоящее время в строительстве применяются различные виды свай и методы определения их несущей способности. В данной статье решена задача оптимизации объемов зондировочных испытаний с целью определения несущей способности висячей сваи. Количество статических зондирований, при прочих равных условиях, определено с учетом изменчивости параметров оснований, их строения и суммарных произведенных затрат на подземную часть сооружения, т. е. рассмотрена компромиссную задачу, позволяющую установить оптимальное соотношение между затратами на исследование основания и на конструкцию свайного фундамента. При этом учтена существующая методика определения несущей способности свай по данным статистического зондирования и требования, предъявляемые к качеству получаемой информации.

### **Ключевые слова**

*несущая способность свай, статическое зондирование, сопротивление грунта, изменчивость характеристик грунтов, оптимизация, надежность, дисперсия, коэффициент безопасности по грунту*

### **Дата поступления в редакцию**

23.02.2024

### **Дата принятия к печати**

01.03.2024

---

Для определения несущей способности свай часто применяются относительно простые методы. Одним из эффективных косвенных методов здесь является статическое зондирование. Если проблеме совершенствования методики этого метода посвящено большое количество работ, то вопрос обоснования необходимого количества зондирования исходя из учета изменчивости характеристик грунтов, надежности и эффективности свайных фундаментов, нельзя еще считать достаточно разработанным, хотя такое требование принято в действующих нормах.

Расчет свай по несущей способности сводится к проверке условия [1]

$$N \leq F_d / \gamma_q \leq P, \quad (1)$$

где  $N$  — расчетная нагрузка, передаваемая на сваю;  $F_d$  — несущая способность сваи;  $\gamma_q$  — коэффициент надежности по грунту;  $P$  — расчетное сопротивление сваи.

Несущая способность сваи по данным статического зондирования определяется как

$$F_d = \gamma_c F_n / \gamma_{q1}, \quad (2)$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы;  $F_n$  — нормативное значение предельного сопротивления сваи, равное

$$F_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m F_{zi} \quad (3)$$

где  $n$  — число точек зондирования;  $F_{zi}$  — частное значение предельного сопротивления сваи по данным зондирования;  $\gamma_{q1}$  — коэффициент надежности по грунту, устанавливаемый в зависимости от изменчивости и количества определений согласно [2].

Частное значение предельного сопротивления сваи в точке зондирования рассчитывается по выражению

$$F_z = R_3 A + u \sum_{i=1}^m \beta_i f_{zi} l_i \quad (4)$$

где  $R_3$  — сопротивление грунта под нижним концом сваи, равное  $R_3 = \beta_1 q_3$ ; — коэффициент, принимаемой согласно указаниям [1], или определяемый для конкретных видов грунтов по данным исследований;  $q_3$  — сопротивление грунта под наконечником зонда, определяемое по данным зондирования;  $u$  — периметр поперечного ствола сваи;  $\beta_i$  — табличные коэффициенты;  $f_{zi}$  — среднее удельное сопротивление  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности зонда;  $l_i$  — толщина  $i$ -го слоя грунта.

Из выражения (4) видно, что предельное сопротивление сваи является интегральной характеристикой. Следовательно, при постоянных размерах сваи его значения будут отличаться, если в пределах строительной площадки изменяются мощности слоев или встречаются различные виды грунтов. Поэтому требование строительных норм учитывать изменчивость характеристик грунтов при определении несущей способности свай представляется естественным [3]. Для определения количества зондирований, пользуясь формулой расчета минимально необходимого числа определений, требуется знание точности и надежности. В рамках этого метода их установить невозможно.

Количество статических зондирований и свай при прочих равных условиях необходимо определить с учетом изменчивости параметров оснований, их строения и суммарных произведенных затрат на подземную часть сооружения, т. е. необходимо рассмотреть компромиссную задачу, позволяющую установить оптимальное соотношение между затратами на исследование основания и на конструкцию свайного фундамента [4]. При этом должна быть учтена существующая методика определения несущей способности свай по данным статистического зондирования и требования, предъявляемые к качеству получаемой информации.

Рассмотрим задачу определения оптимального количества зондирований с учетом этих факторов. Здесь возможны случаи, когда строительная площадка представлена: а) однотипными грунтами или выдержанными слоями разнотипных грунтов; б) различными грунтами с переменными мощностями слоев по всей площадке; в) несколькими участками разнотипных грунтов с различным строением. Очевидно, что последний случай является наиболее сложным как для исследования, так и для выбора типоразмеров свай.

Допустим, что имеет место третий случай. Как видно из выражения (4), для такого случая предельные сопротивления свай и их дисперсии в пределах отдельных участков будут отличаться.

Пусть предельные сопротивления свай на отдельных участках различаются существенно и представляется целесообразным при проектировании пользоваться их значениями в конкретных участках. Дисперсия нормативного значения  $F_{nj}$ , определяемого из (3) для  $j$ -го участка будет равна

$$\bar{\sigma}_j^2 = \frac{\sigma_j^2}{n_j} \quad (5)$$

где  $\sigma_j^2$  — дисперсия  $F_{zj}$ .

Стоимость зондирования  $j$ -го участка будет равна

$$Z_j = n_j Z_{zj} = \frac{\sigma_j^2}{\bar{\sigma}_j^2} Z_{zj}, \quad (6)$$

где  $Z_{zj}$  — стоимость одного зондирования в пределах  $j$ -го участка.

Из (6) находим  $n_j$  и подставим в (5), получим

$$\bar{\sigma}_j^2 = \frac{R_j^2}{Z_j}, \quad (7)$$

где  $R_j = \sigma_j \sqrt{Z_{zj}}$ .

После простых преобразований можно показать, что коэффициент надежности по грунту, определяемый согласно [2, 3] в пределах  $j$ -го участка равен

$$\gamma_{q1j} = \frac{F_{nj}}{F_{nj} - t_\alpha \bar{\sigma}_j}, \quad (8)$$

где  $t_\alpha$  — табличный коэффициент;  $\bar{\sigma}_j$  — стандарт нормативного значения предельного сопротивления сваи в  $j$ -ом участке.

Как показано в работе [5]

$$t_\alpha = -A \ln(\alpha / \alpha_0), \quad (9)$$

где  $\alpha$  — доверительная вероятность;  $A$  — коэффициент, значение которого при изменении  $\alpha$  от 0,85 до 0,98 в среднем равен  $A = -7,30$ ;  $\alpha_0 = 0,70$ .

Подставляя в (8) вместо  $\bar{\sigma}_j$  и  $t_\alpha$  их выражения соответственно из (6) и (9), находим стоимость зондирования

$$Z_j = \frac{\gamma_{q1j}^2 A_j^2 \ln^2(\alpha_j / \alpha_{oj}) R_j^2}{F_{nj}^2 (1 - \gamma_{q1j})^2}, \quad (10)$$

Из выражения (10) видно, что затраты на изыскания должны быть тем выше, чем меньше предельное сопротивление сваи, т. е. чем слабее грунты.

Суммарная стоимость зондирования на всех участках при этом определится как

$$Z = \sum_{j=1}^k \frac{\gamma_{q1j}^2 A_j^2 \ln^2(\alpha_j / \alpha_{oj}) R_j^2}{F_{nj}^2 (1 - \gamma_{q1j})^2}, \quad (11)$$

В качестве характеристики состояния свайного фундамента примем его надежность на уровне проектного решения, которую будем считать постоянной для каждого участка. Учитывая, что в предельном состоянии перераспределение нагрузок отсутствует [6], отдельные участки можно рассматривать как работающие независимо. При этом надежность определяется по выражению

$$\alpha = \prod_{j=1}^k \alpha_j, \quad (12)$$

где  $\alpha_j$  — надежность свайного фундамента в  $j$ -ом участке.

Допустим, что надежность фундамента фиксирована. Найдем надежности  $\alpha_j$  в пределах отдельных участков, обеспечивающих заданную надежность  $\alpha$  при минимальных затратах (11). Эта задача решается методом неопределенных множителей Лагранжа. Значения надежностей  $\alpha_j$  определяются из выражения

$$\alpha_j = \alpha_{oj} e^{\left[ \frac{F_{nj}^2 (1 - \gamma_{q1j})^2 \ln \alpha / \prod_{j=1}^k \alpha_{oj}}{A_j^2 R_j^2} \right] \Phi}, \quad (13)$$

где

$$\Phi = \sum_{j=1}^k \frac{F_{nj}^2 (1 - \gamma_{q1j})^2}{A_j^2 \cdot R_j^2}. \quad (14)$$

Зная величину надежности  $\alpha_j$ , при известной  $\gamma_{q1j}$  из выражения (10) можно определить затраты на зондирование  $j$ -го участка. Подставляя в (11) вместо  $\alpha_j$  выражение из (13) получим соотношение, устанавливающее зависимость между надежностью и стоимостью исследования основания

$$\alpha = e^{\sqrt{\Phi^3} \prod_{j=1}^k \alpha_{oj}}, \quad (15)$$

Выражение (15) позволяет определить минимум затрат на зондирование, при которых обеспечивается заданная надежность свайного фундамента на уровне проектного решения или максимум надежности при фиксированных затратах.

Определив из (15) стоимость  $Z$  и подставив ее в (13), получим выражение для определения надежности  $\alpha_j$  при фиксированных затратах на зондирование.

Если исследуемая толща сложена однотипными грунтами, то зависимость между надежностью и стоимостью выражается соотношением (10).

Могут встречаться ситуации, когда абсолютные значения предельного сопротивления сваи близки между собой, но их дисперсии по отдельным участкам различаются существенно. В таких случаях предельное сопротивление принимается в среднем постоянным. Как указано [7] в этом случае среднее значение и его дисперсия должны определяться с учетом неравноточности результатов определений. Однако численные примеры показывают, что в данном случае учет неравноточности несущественно сказывается на прогнозных значениях параметров.

Поэтому среднее значение предельного сопротивления сваи по всей площадке можно определить, как

$$F_n = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} F_{zji}, \quad (16)$$

где  $n_j$  — количество зондирований в пределах  $j$ -го участка;  $F_{zji}$  — предельное сопротивление сваи по данным  $i$ -го зондирования на  $j$ -ом участке;  $k$  — количество участков, где дисперсии различаются существенно.

Учитывая, что в рамках отдельных участков имеют место одинаковые условия, дисперсия среднего значения предельного сопротивления сваи определится как

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{\sigma_j^2}{n_j}, \quad (17)$$

где  $\sigma_j^2$  — дисперсия  $F_{zji}$ .

Суммарная стоимость зондирования на всех участках будет равна

$$Z = \sum_{j=1}^k n_j Z_j, \quad (18)$$

где  $Z_j$  — стоимость одного зондирования в пределах  $j$ -го участка.

Задача оптимизации исследования здесь сводится к нахождению количеств зондирований на отдельных участках, обеспечивающих минимум дисперсии (17) при фиксированной стоимости (18) или минимума затрат при фиксированной дисперсии среднего значения предельного сопротивления сваи. Используя метод неопределенных множителей Лагранжа, можно показать, что при фиксированной стоимости оптимальные количества зондирований определяются из выражения

$$n_j^* = \frac{\sigma_{jz} Z}{R \sqrt{Z_j}}, \quad (19)$$

где

$$R = \sum_{j=1}^k \sigma_j \cdot \sqrt{Z_j}. \quad (20)$$

При фиксированной дисперсии оптимальное количество зондирований равно

$$n_j^* = \frac{\sigma_j R_j}{\sigma_n^2 k \sqrt{Z_j}}. \quad (21)$$

Подставляя в (5) вместо  $n_j$  их выражения (19) получаем зависимость между дисперсией среднего значения предельного сопротивления сваи и стоимостью зондирований.

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{R^2}{kZ}. \quad (22)$$

Стоимость зондирования, входящая в выражения (19) и (22), в данном случае определяется из соотношения (10), подставив в него вместо  $R_j$  его выражение (19)

Если свайные фундаменты проектируются под здания и сооружения, аварии которых связаны с чисто экономическими потерями, то аналогично [8] можно получить выражения для определения стоимости зондирований с учетом возможных потерь в случае аварии сооружения.

Пользоваться соотношениями (10), (13) и (15) возможно, если предварительно установлена величина коэффициента безопасности по грунту. Как видно из (1), от этого коэффициента зависит несущая способность сваи и, следовательно, эффективность свайного фундамента в целом. Поэтому важно обосновать величину коэффициента безопасности по грунту в конкретных условиях с учетом затрат на фундаменты [9].

Допустим, что в  $j$ -м участке от проектируемого сооружения передается на фундаменты расчетная нагрузка  $N_j$ . Тогда количество свай в  $j$ -м участке будет равно  $m_j = F_j / P_j$  или с учетом (4.16) и (1) имеем:

$$m_j = \frac{N_j \gamma_{qj} \gamma_{q1j}}{\gamma_{cj} F_{nj}}. \quad (23)$$



Будем считать, что приведенные затраты на фундаменты пропорциональны количеству свай. При этом затраты на свайный фундамент с учетом (23) будут равны

$$Z_{\phi} = \sum_{j=1}^n \frac{N_j \gamma_q \gamma_{q1j}}{\gamma_{cj} F_{пj}} Z_{cj}, \quad (24)$$

где  $Z_{cj}$  — приведенные затраты, приходящиеся на одну свая, и определяемые по существующей методике. Общие затраты  $Z_o$  на фундаменты и зондирование находятся как сумма  $Z_{\phi}$  и затрат на зондирование  $Z_j$ , определяемые с учетом конкретной ситуации из выражений (10) или (15).

Для нахождения оптимальных коэффициентов безопасности по грунту необходимо совместно решить два уравнения (10) и (23) (при этом в (24)  $K=1$ ) или (15) и (24) в зависимости от конкретного случая. Здесь удобно использовать графический способ решения в координатах  $(\gamma_{q1}, Z_o)$ . Оптимальный коэффициент  $\gamma_{q1opt}$  соответствует минимуму суммарных затрат на зондирование и на фундаменты при заданной надежности.

При известных коэффициентах надежности по грунту и фиксированной надежности из соответствующих выражений определяются затраты на зондирование и фундаменты.

### Пример

На площадке, представленной мелкозернистым песком, ГПИ Фундаментпроект выполнено 41 статическое зондирование на глубину в среднем 12 м. Были приняты железобетонные сваи размерами  $10 \times 0,3 \times 0,3$  м. В результате получено, что среднее значение предельного сопротивления сваи равно  $F_n = 555$  кН, стандарт  $\sigma = 183$  кН [6].

Допустим, что проектируется 9-ти этажное здание с продольными несущими стенами, размеры здания в плане  $60 \times 12$  м.

Погонная нагрузка на фундамент средней стены составляет 500 кН/м, а крайних стен — 300 кН/м. При этом общая нагрузка на фундаменты равна  $F = 66000$  кН.

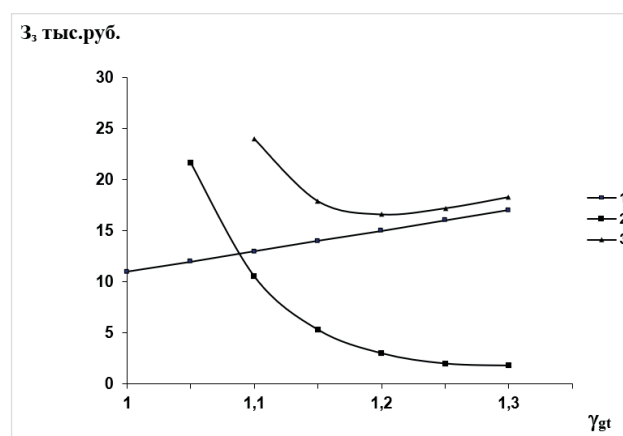
Определим требуемые количества свай и зондирований. Приведенные затраты на одну свая и приходящуюся на нее часть ростверка составляет  $Z_1 = 300$  тыс. руб., а на одно зондирование  $Z_3 = 250$  тыс. руб. Затраты на зондирование в данном случае определяется из выражения (10). Согласно [10] величину надежности примем  $\alpha = 0,95$ . Подставляя значения параметров, входящих в (10), получаем

$$Z = 54 \frac{\gamma_{q1}^2}{(1 - \gamma_{q1})^2}. \quad (25)$$

При  $\gamma_c = 1$ ,  $\gamma_q = 1,4$ ,  $F = 66000$  кН,  $F_n = 555$  кН,  $Z_c = 120$  тыс. руб. затраты на фундамент определяются из соотношения

$$Z_{\phi} = 19978 \gamma_{q1}. \quad (26)$$

Результаты совместного графического решения уравнений (23) и (26) показали, что оптимальное значение коэффициента безопасности по грунту в данном случае равно  $\gamma_{q1opt} = 1,18$  (рис. 1). Зная величину  $\gamma_{q1opt}$  из (25) находим оптимальные затраты на зондирование  $C = 2320$  тыс. руб., а из (26) на свайный фундамент  $C_{\phi} = 23514$  тыс. руб. При этом оптимальное количество зондирований равно 23, а потребное количество свай — 197.



**Рис. 1.** Пример определения оптимального коэффициента надежности по грунту графическим способом: 1 — затраты на устройство фундамента; 2 — затраты на зондирование; 3 — суммарные затраты

### Заключение

Одним из достоверных и эффективных методов определения несущей способности висячей сваи, можно считать метод, основанный на использовании данных статического зондирования грунтов.

В данной статье решена задача оптимизации количества проводимых испытаний грунтов статическим зондированием с целью определения несущей способности висячей сваи.

Количества статических зондирований, достаточное для определения несущей способности свай при прочих равных условиях определена с учетом изменчивости параметров оснований, их строения и суммарных произведенных затрат на подземную часть сооружения.

Рассмотрена компромиссная задача, позволяющая установить оптимальное соотношение между затратами на исследование основания и на конструкцию свайного фундамента.

Задача оптимизации исследования здесь сведена к нахождению количества зондирований на отдельных участках, обеспечивающих минимум дисперсии среднего значения предельного сопротивления сваи при фиксированной стоимости зондирования или минимума затрат на зондирование при фиксированной дисперсии среднего значения предельного сопротивления сваи. Задача решена, используя метод неопределенных множителей Лагранжа.

Приведен пример, как реально на практике можно использовать разработанную в данной статье методику оптимизации зондировочных испытаний при оценке несущей способности висячих свай.

### Библиографический список

1. Трофименков Ю. Г., Воробков Л. Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. 3-е изд. М., 1981, с. 215.
2. ГОСТ 20522-75. Грунты. Метод статистической обработки результатов определений характеристик; М., 1975, стр. 13.
3. СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85\* Свайные фундаменты»
4. Загиров Ш. Ш., Аллаев М. О. О точности определения несущей способности свай различными методами. Сборник трудов института геологии ДагФАН СССР, 1989, Вып. 35, стр. 24–26.

5. Загиров Ш. Ш. К оптимизации объемов разведки и опробования оснований инженерных сооружений // Инженерная геология, 1981, №2, стр. 16–27.
6. Загиров Ш. Ш. Оптимизация инженерно-геологических изысканий, М., Издательство ВЗПИ, 1990, стр. 346.
7. Аллаев М. О., Загиров Ш. Ш., и др. Теоретические и методологические аспекты оптимального комплексирования методов исследований оснований сооружений (монография). Махачкала: ДГТУ, 2002. — 108с.
8. Стрелецкий Н. С. К вопросу усиления экономического подхода в расчете конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 1965, №2, стр. 1–3.
9. Дривинг А. Я. К определению числовых характеристик надежности конструкций и сооружений с чисто экономической ответственностью / Проблемы надежности в строительной механике. Материалы 2-ой Всесоюзной конференции по проблемам надежности в строительной механике. Вильнюс, 1968, стр. 43–50.
10. Дивинский М. Л. О статистической модели распределения величин показателей статистического зондирования. Совершенствование инженерных изысканий в мелиоративном проектировании, М., 1983, стр. 74–80.
11. Аллаев М. О. Методика расчленения грунтовой толщи с непрерывно изменяющимися свойствами при расчете несущей способности забивных висячих свай. — Системные технологии. — 2018. — № 4 (29). — С. 123–130.
12. Аллаев М. О. Определение расстояния между разведочными точками с учетом изменчивости мощностей слоев. Научные исследования: итоги и перспективы. — 2020. — Т. 1. — № 3. — С. 45–52.
13. Аллаев М. О. Методика оптимизации объемов разведки и опробования при определении моментов в фундаментной балке. — Системные технологии. — 2022. — № 1 (42). — С. 5–13.

## OPTIMIZATION OF PROBING TESTS WHEN ASSESSING THE BEARING CAPACITY OF HANGING PILES

M. O. Allaev

Dagestan State Technical University, Makhachkala

### Abstract

Currently, various types of piles and methods for determining their bearing capacity are used in construction. This article solves the problem of optimizing the volumes of probing tests in order to determine the non-existent ability of a hanging pile. The number of static soundings, other things being equal, is determined taking into account the variability of the parameters of the foundations, their structure and the total costs incurred for the underground part of the structure, i. e. a compromise task is considered, which allows to es-

### The Keywords

*bearing capacity of piles, static sounding, soil resistance, variability of soil characteristics, optimization, reliability, dispersion, safety coefficient for soil*

establish an optimal ratio between the costs of the study of the foundation and the construction of the pile foundation. At the same time, the existing methodology for determining the bearing capacity of piles according to statistical sounding data and the requirements for the quality of the information received are taken into account.

**Date of receipt in edition**

23.02.2024

**Date of acceptance for printing**

01.03.2024

**Ссылка для цитирования:**

*М. О. Аллаев. Оптимизация зондировочных испытаний при оценке несущей способности висячих свай. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 94–102.*





УДК 691, 625.85

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_103-109

## ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИТНОГО АРМИРОВАНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ АЭРОДРОМНЫХ И ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Э. Р. Абдуллаев \*

Г. Э. Окольникова \*/\*\*

\* Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы (РУДН), г. Москва

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

### Аннотация

Это исследование проводилось для поиска литературы и обзора информации о применении композитных (геосинтетических) материалов для строительства нежестких аэродромных и дорожных покрытий. Исследование показывает, что улучшение характеристик за счет геосинтетического армирования связано с различными факторами и переменными, такими как: жесткость и геометрия георешетки, расположение, глубина заложения материала, мощности слоя заполнителя, а также жесткость грунтового основания. Предполагается, что правильное использование геосинтетических материалов может привести к значительной экономии затрат на каждый проект. Полученная из этого исследования информация, если она окажется достаточной, затем будет использована для подготовки нормативной базы по разработке спецификаций материалов, критериев производительности и методов расчета покрытий.

### Ключевые слова

*геосинтетика, нежесткие аэродромные покрытия, композит, аэродром, материалы, жесткость*

### Дата поступления в редакцию

04.03.2024

### Дата принятия к печати

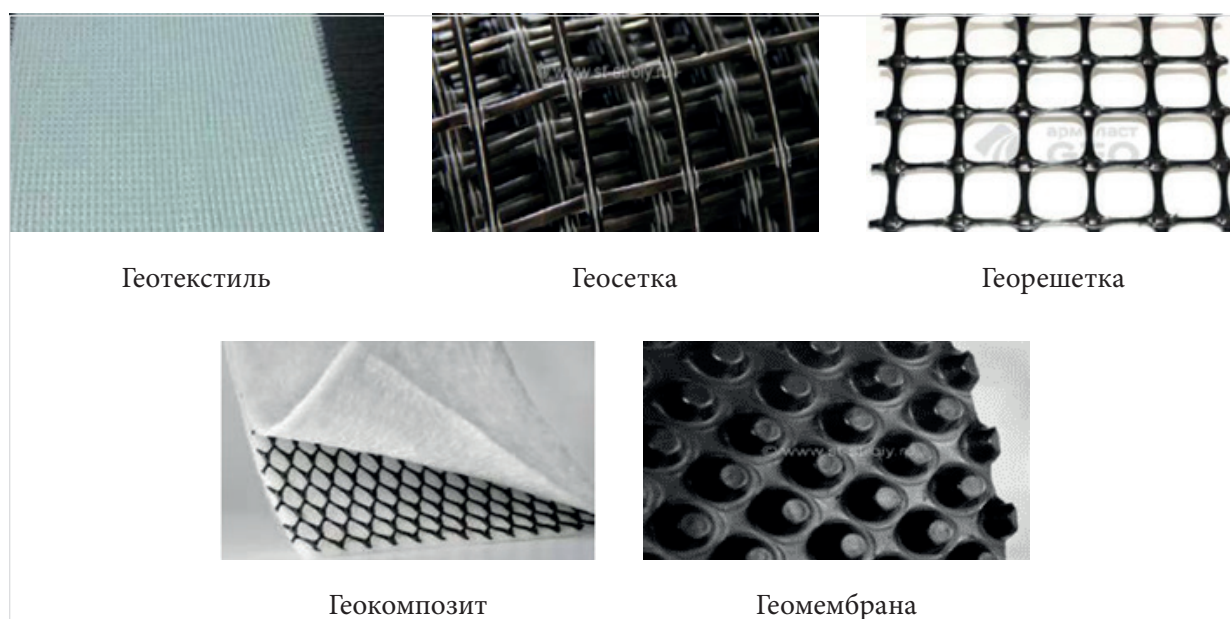
06.03.2024

### Введение

Геосинтетические материалы в последние годы стали широко применяться в строительстве транспортной инфраструктуры по всему миру, поскольку они предлагают довольно простые и экономичные решения для проектировщиков. В этой обзорной статье кратко излагаются цели и преимущества использования геосинтетических материалов при новом строительстве и ремонте аэродромных и дорожных покрытий с использованием многих публикаций. Само определение геосинтетических материалов — это материал из синтетических или природных полимеров, неорганических веществ, контактирующий с грунтом или другими средами. В зависимости от типа, эти материалы



включают в себя: геотекстиль, георешетки, геомембраны, геосетки, геокомпозиты и некоторые другие, которые используются в купе с обычными материалами. На **рисунке 1** показаны типы геосинтетических материалов.



**Рис. 1.** Виды геосинтетических материалов

Армирование покрытий геосетками, плоскими георешетками и геокомпозитами на их основе выполняется с целью усиления покрытий при их несоответствии по прочности действующим нагрузкам, устройства более совершенных типов покрытий с использованием существующих конструкций в качестве основания, увеличения срока службы. Эксплуатационные характеристики усиленной дорожной конструкции в значительной степени зависят от состояния окружающего материала и транспортной нагрузки, и поэтому каждая конструкция требует специального анализа и расчетов. Использование армированного геосинтетика и георешетки оказало важное влияние на конструкцию дорожного покрытия при реальной экономии средств. Эффект усиления зависит от многочисленных и сложных факторов, таких как структура дорожного покрытия, характеристики используемого материала геосинтетики и ее расположение в структуре дорожного покрытия.

### Обзор литературы

С. Балари в своей статье [1] рассматривает историю совершенствования и применения геосинтетических материалов в дорожном строительстве. Им были оценены несколько основных параметров конструкции нежесткого дорожного покрытия и обнаружено, что при одинаковой прочности земляного полотна и толщине основания соотношение затрат и эффективности растёт. Однако процентное увеличение экономической эффективности падает с увеличением толщины слоя горячего асфальтобетонного покрытия. Автор рекомендует увеличивать толщину асфальтового покрытия только в том случае, если CBR (калифорнийское число несущей способности грунта) земляного полотна составляет менее 2% при толщине базового слоя менее 250 мм и толщине асфальта менее 100 мм. Увеличение толщины искусственного основания же привело к повышению экономической эффективности при методах



проектирования. Однако большее увеличение толщины основания привело к меньшему процентному увеличению экономической эффективности.

К. Калво-Джирато в своем исследовании [2] описал анизотропные линейные модули упругости грунтов, армированных геосинтетическими материалами. Моделируя геосинтетический материал с помощью сплюснутых сфероидов со сфероидальным распределением внутри асфальтобетонной матрицы, полученные выражения в зависимости от геометрии слоя материала и основных принципов упругости дают границы применения. Разработанная схема может быть распространена также и на многофазные композиты.

М. Дип и С. Джоши в своем исследовании [3] поставили цель в определении характеристик нежесткого дорожного покрытия, таких как образование колеи и усталость при использовании армирующего материала и без него, подверженного нагрузке от колес транспортного средства.

М. Канг в своей статье [4] рассказывает о недавно разработанном встраиваемом приборе для дорожного покрытия, который измеряет скорость сдвиговой волны для оценки модулей построенного слоя несвязанных оснований и подосновных элементов (Датчик поля изгибающего элемента (BE)). Автор представляет результаты, мониторинга характеристик жесткости рулежных дорожек покрытия аэродрома, оснащенных датчиками и протестированных в ходе полномасштабных ускоренных испытаний покрытия во время 9-го цикла строительства (СС9) Национального испытательного центра покрытия аэропорта (NAPTF) Федеральным управлением гражданской авиации США (FAA). Покрытия для эксперимента представляли их себя двухосные георешетки, установленной в нижней части 8-дюймового (203 мм) основания на северном испытательном участке, в то время как контрольное покрытие на южном испытательном участке было построено без георешетки. Два датчики были установлены в северной и южной испытательных секциях примерно на 1 дюйм (25 мм) выше основания. К испытательным участкам были применены несколько ступеней нагрузки на шасси самолета, включая статическую двойную передачу, динамический медленный крен (движущееся колесо) и динамический пробный крен. Данные полевых датчиков, собранные на нескольких этапах нагрузки, были использованы для исследования характеристики жесткости основания покрытия. Эти предварительные испытания, проведенные в рамках эксперимента, выявили влияние статических и динамических нагрузок от шасси самолета на жесткость слоя основания из заполнителя, стабилизированного георешеткой. Кроме того, ранее наблюдавшиеся эффекты противодействия тряске, вызванные отклонением груза транспортного средства, можно было количественно оценить с помощью изменения модуля базового курса и деформационного поведения на основе анализа данных датчиков.

Р. Кумар в исследовании [5] говорит об основных инженерно-геотехнических свойствах некачественного естественного основания, которые могут быть улучшены с помощью геосинтетических материалов, таких как тканый/нетканый геотекстиль, для повышения его прочности. Толщина дорожного покрытия и стоимость строительства дорожного покрытия уменьшается при размещении геотекстиля на разной глубине грунта с минимальной плотностью при размещении геотекстиля ближе к верхней части конструкции. Нежесткое покрытие было рассчитано как на усталостную деформацию, так и на устойчивость к образованию колеи, при этом геотекстиль был помещен в трёх различных уровнях естественного основания. Позже были с помощью специального программного обеспечения были рассчитаны критические значения деформации и устойчивости к усталости.

А. Зофка в своей статье [6] представил исследование, оценивающее влияние армирования георешеткой на образцы асфальтобетонной смеси. Были проведены два типа лабораторных экспериментов, а именно испытания с постоянными нагрузками (на прочность и разрушение) и цикличе-

скими (на усталость и модуль упругости). Результаты продемонстрировали значительное влияние георешеток в упрочнение, которое наблюдалось в отношении результатов разрушающих нагрузок и предельных прогибов при испытаниях на усталость. Также представлен краткий пример, связывающий прогибы дорожного покрытия с допустимой осью нагрузки (также известная как усталостный ресурс) для демонстрации практических последствий усиления георешетками. Проведенный анализ показывает уменьшение прогибов дорожного покрытия благодаря применению георешеток, что потенциально приводит к значительному увеличению усталостного ресурса дорожного покрытия.

К. Петит и соавторы в своем докладе на 13-й Международной Конференции Асфальтобетонных покрытий [7] разобрали роль легкого геотекстиля, проанализировали технико-экономические показатели материалов для его изготовления, а также постарались подготовить руководство для проектировщиков по его использованию, ввиду отсутствия общепринятых рекомендаций и нормативов.

У. Робинсон в своей книге [8] анализирует последствия включения геосинтетических материалов в покрытия аэродромов. Обзор существующей методологии проектирования показал, что любое улучшение от включения геосинтетических материалов в более толстые покрытия было скрыто в изменчивости данных, используемых для формулировки существующей методологии проектирования. Первоначальная оценка затрат показала, что продление срока службы конструкции (если таковое имеется) может быть предпочтительным средством количественной оценки улучшения геосинтетических материалов и что уменьшение общей толщины, связанное с включением геосинтетических материалов, по-видимому, не обеспечивает первоначальной экономии средств для военных аэродромов. Геосинтетическое включение в ремонт повреждений аэродрома или в качестве метода уменьшения трещин может быть более полезным, чем армирование заполнителя в новом строительстве.

У. Робинсон и И. Говард в своей статье [9] рассуждают о включении геосинтетических материалов в нежесткие основания дорожного покрытия, подверженные нагрузкам на шоссе и улучшению эксплуатационных характеристик за счет уменьшения колебательности или вертикального давления на слабые слои земляного полотна. Случаи, когда геосинтетические материалы были менее успешно применены в дорожных покрытиях, это прочные грунты и/или толстые слои дорожного покрытия. Таким образом, понимание улучшений, которые можно ожидать от использования геосинтетических материалов в аэродромных покрытиях, что зачастую более мощные, чем дорожные покрытия шоссе, требует оценки существующих аэродромных покрытий и методологии проектирования. Для достижения этой цели был выполнен ряд задач: (1) анализ толщины дорожного покрытия в процессе эксплуатации и прочности земляного полотна для количественной оценки характеристик дорожного покрытия военных аэродромов, (2) обзор существующих методик проектирования Министерства обороны (МО), чтобы определить, может ли включение геосинтетических материалов быть адекватно охарактеризовано в существующих процедурах проектирования для новых аэродромов, (3) оценка для определения того, является ли (и в каких условиях) ожидаемое улучшение эксплуатационных характеристик финансово целесообразным, и (4) внедрение на военных аэродромах при последующих капремонтах. Результаты показали, что аэродромные покрытия, как правило, толще и прочнее дорожных покрытий шоссе, и что эксплуатируемые аэродромные покрытия превосходят характеристики дорожного покрытия, для которого были определены геосинтетические материалы, обеспечивающие значительное улучшение эксплуатационных характеристик.

С. Сарид в своей статье [10] оценивает функции геосинтетических промежуточных слоев в замедлении отражательного растрескивания и улучшении усталостных характеристик верхних слоев горячей асфальтобетонной смеси в нежестких покрытиях. Была проведена серия экспериментов

с полиэфирной сеткой, покрытой полимерным вяжущим, тканно-джутовым матом и двухслойной полипропиленовой пленкой. Результаты показывают, что включение прослоек замедляет распространение отраженного растрескивания, однако приводит к расслаиванию слоев покрытия. Эффект отслаивания заметен в промежуточных слоях двухслойной полипропиленовой пленки из-за их высокой начальной жесткости. В целом промежуточные слои с высоким межфазным сдвигом и свойствами сцепления при отрыве и растяжении оказались эффективными в борьбе с отраженным растрескиванием и увеличении усталостной прочности верхних слоев.

Х. Сан в своей статье [11] говорит о широком применении геосинтетических материалов в нежестких покрытиях на протяжении многих лет. Однако механико-эмпирический аналитический подход для геосинтетически стабилизированных нежестких покрытий, основанный на решении уравнения упругости, полученном из теории упругости, так и не был установлен. В этом исследовании решение для типичного трехслойного нежесткого покрытия, армированного геосинтетикой, было получено в соответствии с теорией упругости. При выводе боковое ограничение и эффект растяжения мембраны геосинтетических материалов, количественно выраженные в терминах остаточных деформаций слоя, рассматривались на границе раздела как условие непрерывности. Затем полученное решение было включено в механистически-эмпирический подход для расчета колеяности дорожного покрытия и усталостного растрескивания. Результат показывает, что решение, полученное в этом исследовании, способно анализировать трехслойное нежесткое дорожное покрытие, проармированные геосинтетиками. Реакции упругости дорожного покрытия, рассчитанные с использованием данного решения, соответствуют ранее установленным в литературе решениям. Глубина колеи, оцененная с помощью предложенного решения, разумно соответствует глубине колеи, измеренной в исследовании. Путем расчета было получено, что для уменьшения колеяности геосинтетика должна быть уложена под базовым слоем. Геосинтетический материал, укладываемый непосредственно под асфальтовый слой покрытия, дает больше преимуществ для снятия растягивающих напряжений в нижней части асфальтового слоя.

### Заключение

В этой статье были рассмотрены различные варианты применения геосинтетических материалов в аэродромном и дорожном строительстве, а именно с целью: поглощение деформаций, армирование, удешевление и облегчения процедуры строительства. Результаты всесторонних испытаний, проведенных исследователями, показывают, что георешетки обладают большим потенциалом, чем геотекстиль, для армирования нежестких дорожных покрытий. Инновационные методы применения геосинтетических материалов в геотехнической практике, вероятно, будет расширяться по мере того, как производители будут разрабатывать новые и улучшенные материалы, а инженеры процедуры анализа для новых методов применения. Наконец, стоит отметить, что была задокументирована возможность вторичной переработки слоев, содержащих геосинтетику. Поэтому армирующие геосинтетические материалы на основе георешеток в сочетании с легким нетканым геотекстилем это проверенное решение для увеличения срока службы дорожного или аэродромного нежесткого покрытия при обоснованных затратах, сохраняющее при этом конструкцию пригодной для вторичной переработки. Единственным ограничением для применения технологии в аэродромном строительстве в данный момент является отсутствие нормативной базы для обоснования проектных решений в Государственной экспертизе.

### Библиографический список

1. Ballari S. APPLICATION OF GEOSYNTHETICS FOR STRENGTHENING OF FLEXIBLE PAVEMENT // *International Journal of Research*. 2019. (7). С. 2150–2159.
2. Calvo-Jurado C., Roldán-Oliden P. Numerical computation of effective anisotropic elastic properties of geosynthetics-reinforced pavements // *Applied Mathematical Modelling*. 2021. (96). С. 719–732.
3. Dhepe M. Rutting and Fatigue Analysis of Flexible Pavement with or without Geosynthetic // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2021. № 1 (9). С. 786–796.
4. Kang M. [и др.]. Airport Pavement Stiffness Monitoring and Assessment of Mechanical Stabilization using Bender Element Field Sensor // *Transportation Research Record*. 2022. № 8 (2676). С. 542–553.
5. Kumar R. [и др.]. A Study Review on Geosynthetics use on Flexible Pavement Design // *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2020. № 6 (9).
6. Maliszewski M. Geogrid Reinforcement of Asphalt Pavements // *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2017.
7. Petit C. [и др.]. Smart Geosynthetics For Strain Measurements In Asphalt Pavements. 13th International Conference on Asphalt Pavements (ISAP) at Fortaleza, 19–21 June 2018.
8. Robinson W. J. Characterization of geosynthetic reinforced airfield pavements at varying scales. М.: ProQuest LLC, 2020. P 50.
9. Robinson W. J., Howard I. L. Implications of incorporating geosynthetics in airfield pavements // *Transportation Geotechnics*. 2021. (28). С. 100533.
10. Saride S., Kumar V. V. Influence of geosynthetic-interlayers on the performance of asphalt overlays on pre-cracked pavements // *Geotextiles and Geomembranes*. 2017. № 3 (45). С. 184–196.
11. Sun X. [и др.]. Geosynthetic-stabilized flexible pavements: Solution derivation and mechanistic-empirical analysis // *Geotextiles and Geomembranes*. 2020. № 4 (48). С. 468–478.
12. Gupta A., Deulkar S. V. A Review Article of Comparative Analysis of Geo-textile and Geojute Compressive Strength // *International Journal of Scientific Research*. 2022. № 2 (8).
13. Fang H. [и др.]. Analytical solutions of the dynamic response of a dual-beam model for a geosynthetic reinforced pile-supported embankment under moving load // *Computers and Geotechnics*. 2022. (142). С. 104563.
14. Imjai T., Pilakoutas K., Guadagnini M. Performance of geosynthetic-reinforced flexible pavements in full-scale field trials // *Geotextiles and Geomembranes*. 2019. № 2 (47). С. 217–229.
15. Mersin D. Geosynthetic Materials in Transportation Engineering. 4th International Conference on Advanced Engineering Technologies, 28 February 2023.
16. Norambuena-Contreras J. [и др.]. Mechanical damage evaluation of geosynthetic fibres used as anti-reflective cracking systems in asphalt pavements // *Construction and Building Materials*. 2016. (109). С. 47–54.
17. Sarici T. [и др.]. Evaluation of geogrid reinforced unpaved roads using large scale tests / 6th European Geosynthetics Congress (EuroGeo6), 25–28 September 2016.
18. Sarker P., Tutumluer E. Airfield Pavement Damage Evaluation Due to New-Generation Aircraft Wheel Loading and Wander Patterns // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2018. (2672). С. 036119811879970.

19. Zadehmohamad M. [и др.]. Evaluating long-term benefits of geosynthetics in flexible pavements built over weak subgrades by finite element and Mechanistic-Empirical analyses // *Geotextiles and Geomembranes*. 2022. № 3 (50). С. 455–469.

20. Zornberg J. G. Functions and Applications of Geosynthetics In Roadways // *Procedia Engineering*. 2017. (189). С. 298–306.

---

## COMPOSITE REINFORCEMENT INFLUENCE ON PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE AIRFIELD PAVEMENTS AND ROADWAYS

E. R. Abdullaev\*

G. E. Okolnikova\*/\*\*

\* RUDN University, Moscow

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

---

### Abstract

This study was conducted to search for literature and review information of usage of composite (geosynthetic) materials for the construction of flexible airfield pavements and roadways. The study shows that the improvement in performance due to geosynthetic reinforcement is associated with various factors and variables, such as: stiffness and geogrid geometry, geogrid location, depth, aggregate thickness, and soil stiffness. It is expected that the correct use of geosynthetic materials can result in significant cost savings per project. The information obtained from this study, if it's sufficient, will be used to prepare regulatory documents for the development of material specifications, performance criteria, and coating calculation methods.

### The Keywords

*geosynthetics, flexible airfield pavements, composite, materials, stiffness*

### Date of receipt in edition

04.03.2024

### Date of acceptance for printing

06.03.2024

---

### Ссылка для цитирования:

Э. Р. Абдуллаев, Г. Э. Окольникова. Влияние композитного армирования на повышение эксплуатационных характеристик асфальтобетонных аэродромных и дорожных покрытий. — *Системные технологии*. — 2024. — № 1 (50). — С. 103–109.





УДК 628.21

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_110-117

---

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ РЕНОВАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

**Н. А. Залётова**

**С. В. Залётов**

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

---

### **Аннотация**

В статье рассмотрены особенности проведения предпроектных работ при реконструкции очистных сооружений водоотведения с целью повышения степени очистки сточных вод в соответствии с современным законодательством. В отличие от типового проектирования, характерного для предыдущих лет, подготовка к современному проектированию требует анализ работы сооружений, подлежащих реконструкции, выполнение оценки расхода сточных вод, установление характерного уровня загрязнения сточных вод, анализ научно-технических источников, представляющих новые технологические решения и особенности их реализации. Полученная информация должна быть положена в основу разработки новой технологической схемы проектируемого объекта. Все усилия необходимы, чтобы технологическая схема очистки сточных вод, в которой процессы изъятия отдельных элементов из сточных вод фактического состава наиболее эффективно вписывались бы в общую технологическую схему очистки сточных вод конкретного объекта.

### **Ключевые слова**

*сточные воды, современные требования, качество очистки, предпроектные работы, новые технологии, соединения азота, фосфаты*

### **Дата поступления в редакцию**

04.03.2024

### **Дата принятия к печати**

06.03.2024

---

Выполнение современных требований к качеству сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, предполагает применение новых технологий, позволяющих достигнуть по ряду загрязняющих веществ более глубокую очистку сточных вод, чем обеспечивает полная биологическая очистка [1–3]. Сегодня стоит сложная конкретная задача — помимо глубокого удаления органических и взвешенных веществ обеспечить изъятие конкретных биогенных веществ — соединений азота и фосфора — из сложных по составу сточных вод. Известно, что предельная величина концентраций загрязняющих веществ, допустимых к сбросу, обусловлена характером использования водного объекта. Нормативы (ПДК) для соединений азота — аммония солевого, нитритов и нитратов — установлены для водных объектов всех категорий: и рыбохозяйственного, и культурно-бытового водопользования. Фосфаты лимитируются показателем ПДК только при сбросе сточных вод в водоемы



рыбохозяйственного водопользования. Их величина обусловлена трофностью водных объектов — олиготрофных, мезотрофных, эвтрофных [4–6]. Следует подчеркнуть, что абсолютная величина установленных показателей ПДК одинакова для всех видов сточных вод. При этом известно, что состав исходной воды практически всегда разнообразен и индивидуален. Кроме того, практически всегда имеются различия в гидрологическом режиме водных объектов, используемых в качестве водоприёмных. Поэтому, при проектировании реновации очистных сооружений водоотведения, прежде всего, необходимо разработать и обосновать технологическую схему, которая обеспечивала бы действующие требования по сбросу реальной сточной воды в конкретный водный объект.

Прежде чем начать собственно разработку проекта реконструкции очистного сооружения, необходимо решить целый ряд предварительных задач: установить договорные отношения, выяснить объем предстоящих работ, собрать и оценить исходные данные по объекту на момент проектирования, проанализировать научно-техническую литературу и накопленный опыт исследований новых технологий, разработать технологическую схему очистки.

На этапе установления договорных отношений выполняется ряд формальных действий, как то: получение письменного запроса заказчика с указанием типа объекта и задач, которые следует решить; отправка в адрес заказчика письменного подтверждения о своей заинтересованности (или отказе) в выполнении задач, упомянутых в запросе; обсуждение с заказчиком перспектив развития систем водоснабжения и водоотведения объекта канализования, а также перспектив развития поселения; заключение договоров на выполнение работ по разработке исходных данных для проектирования объекта, составление договора и календарного плана выполнения работ.

Сбор исходных данных начинается с выезда на объект, где происходит непосредственное ознакомление с очистными сооружениями и выявление особенностей их эксплуатации. На очистных сооружениях необходимо изучить проект действующих сооружений, материалы исполнительной документации, регламент работы сооружений, отчеты наладочных организаций. На площадке очистных сооружений следует ознакомиться с основными сооружениями и конструкциями объекта. Одновременно визуально оценить физическое состояние сооружений [7–9].

Заключение о пригодности эксплуатирующихся сооружений к дальнейшему использованию дают привлеченные лицензированные эксперты специализированных организаций по строительству после проведения ими соответствующих визуального и инструментального изучения состояния объектов.

В результате выполненных работ по обследованию сооружений становится ясно, насколько целесообразно использовать в дальнейшем существующие сооружения. Наличие тех или иных работоспособных технологических емкостей и зданий на КОС, подлежащих реконструкции, может оказать влияние на выбор технологической схемы очистки. В том случае, когда конструкции сооружений обладают достаточными прочностными характеристиками, сооружения могут быть включены в новую технологическую схему. Если же сооружения продолжают эксплуатироваться на момент реконструкции, но железобетонные конструкции потеряли прочностные характеристики, в дальнейшем такие сооружения могут быть использованы лишь в качестве подсобных объектов, например, опалубки для новых технологических емкостей (при соответствующем технико-экономическом обосновании), либо должны быть заменены новыми.

В ходе технологической оценки очистных сооружений целесообразно ознакомиться с текущей работой и потенциалом химической лаборатории сооружений. Особого внимания требует изучение перечня загрязняющих веществ сточных вод, подлежащих химическому контролю, ознакомление с методиками проведения химических анализов, а также получение информации об объеме гидробиологических и микробиологических анализов активного ила и сточной воды. Как показал

опыт обследования сооружений химические лаборатории далеко не всегда определяют показатели общего азота и фосфора, что затрудняет установление реальной эффективности изъятия соединений азота и фосфора.

На объектах, где установлены приборы для измерения расходов сточных вод, интерес представляет обработка фактических данных для оценки динамики поступления сточных вод на сооружения и расчет реальных коэффициентов неравномерности для определения расчетных расходов сточных вод проектируемых сооружений. При отсутствии измерительных устройств на очистных сооружениях могут быть проведены натурные замеры, представляющие собой ориентировочные показатели расходов сточных вод. Приблизительный расход сточных вод может быть также оценен по подаче питьевой воды на объект.

Существующие сооружения часто оказываются перегруженными по гидравлике, т. е. на момент проектирования на сооружениях обрабатывается количество сточной воды, превышающее расчетное, принятое ранее. Увеличение поступающего расхода сточных вод на сооружения может произойти при подключении к системе водоотведения нового жилого фонда, либо ранее не канализованных территорий. В отдельных случаях, наоборот, количество воды, поступающей на очистку, оказывается сокращенным из-за экономии воды, используемой жителями в квартирах, после установки измерительных приборов холодной и горячей воды, а также в результате вывода части предприятий из города. Перегруз сооружений по воде нередко не позволяет обеспечить выполнение ранее установленных требований к очистке на действующих сооружениях, заложенных в проектах.

За время эксплуатации очистных сооружений также может резко измениться состав сточных вод и сильно отличаться от расчетных параметров предшествующего проектирования. Анализ состава сточных вод и технологических параметров работы сооружений при проведении обследования выполняется не менее, чем за последние 3–5 лет.

В задачу технологического обследования входит оценка параметров работы сооружений, обеспечивающих достигаемое качество при действующем режиме очистки.

Поскольку широкое строительство очистных сооружений велось с начала 70-х годов, т. е. полвека назад, многие сооружения, в особенности небольшой производительности, пришли в полную непригодность. В большей части это относится к биофильтрам, которые с трудом могут быть превращены в современные сооружения, предназначенные для решения новых задач.

Для разработки новой технологической схемы реновации сооружений необходимо провести оценку эффективности работы каждого отдельного сооружения, входящего в состав технологической схемы городских очистных сооружений, для того, чтобы дать прогноз потенциальной возможности эффективно выполнять predetermined функции работы сооружений предъявляемым современным требованиям.

При оценке работы сооружений рассматриваются такие параметры как производительность очистных сооружений, год ввода в эксплуатацию, расчетные расходы, принятые в проекте и расходы в текущий период, габариты, материалы отдельных конструкций, год проведения последнего капитального ремонта. Определяется процент износа основных конструктивных элементов. Проводится рассмотрение показателей эксплуатационной службы станции очистки сточных вод, желательно установить причины отклонения их работы (при наличии).

Эффективность работы городских очистных сооружений определяется путем сопоставления проектных показателей степени очистки сточных вод с фактическими.

Технологическая эффективность работы решеток уже к настоящему времени часто корректируется. При проектировании реконструкции очистных сооружений устанавливаются последовательно две решетки с различными прозорами для повышения эффективности задержания отбросов.

Считается, что песколовка работает эффективно, если процент задержания песка фракции 0,25 мм и более составляет не менее 70%, зольность песка — не менее 70%, содержание песка в осадке первичных отстойников не должно превышать 8%.

Технологическую эффективность работы первичных отстойников следует оценивать по отношению концентраций взвешенных веществ в поступающей и осветленной воде, по абсолютной концентрации взвешенных веществ в осветленной воде, а также по количеству задерживаемого осадка.

В настоящее время в связи с заинтересованным изучением технологии повышения эффективности удаления фосфатов биологическим методом и желанием использовать отстойники для реализации преферментации, роль и эффективность работы первичных отстойников подвергается дополнительному изучению.

Аэротенки и биофильтры действующих очистных сооружений должны обеспечивать биологическую очистку сточных вод от загрязняющих веществ, в основном, органического происхождения, которые находятся во взвешенном, коллоидном и растворенном состояниях. Технологическую эффективность работы аэротенков и биофильтров следует определять по качеству очищенной воды, выраженному обобщённым показателем БПК.

Технологическую эффективность работы вторичных отстойников следует оценивать по концентрации оставшейся части активного ила или биопленки в очищенной воде. Качество работы вторичных отстойников, являющихся завершающим этапом очистки сточных вод на станциях аэрации, в значительной степени определяет эффективность работы станции в целом.

Эффективно работающими очистными сооружениями являются сооружения, численные значения показателей качества очистки которых не превышают проектных или нормативных показателей. При проведении обследований наибольший интерес вызывает объем емкостных сооружений и конструктивное решение аэротенков и биофильтров.

Имеющихся данных о состоянии объекта может оказаться недостаточно для решения вопросов внедрения новых технологий. Для принятия решений по реновации, возможно, потребуются проведение дополнительных исследований с целью выявления и / или уточнения отдельных технологических параметров. Масштаб проведения исследований зависит от конкретной задачи и фактических возможностей на месте. Это могут быть опыты в лабораторных условиях, исследования на лабораторных моделях, на опытно-технологических, либо опытно-промышленных установках.

Наиболее доступным является выполнение работ в лабораторных условиях. Безусловно, желательно наличие специального оборудования и компьютерной техники, которые позволят отслеживать изменения параметров в ходе экспериментов и выбирать наилучшие. Однако и при наличии в лабораториях более скромного оснащения возможности проведения экспериментальных работ достаточно широки. В лабораторных условиях можно провести пробное коагулирование, пробное хлорирование, оценить динамику осветления воды, фильтрование, озонирование воды, оценить перспективность применения сорбционной очистки.

Наиболее распространенной представляется потребность в определении дозы реагента для удаления соединений фосфора из сточной воды.

Проведением пробного коагулирования можно определить дозу реагента, позволяющую обеспечить необходимое остаточное содержание фосфатов, а также выявить влияние введения реагента на показатели рН, щелочность, выявить и подобрать наиболее подходящий реагент для конкретной воды, поскольку промышленностью предлагается большой ряд реагентов; оценить наилучшее место введения реагента в технологическую цепь очистки сточных вод.

Лабораторные модели могут представлять собой небольшие емкости (или лабораторное оборудование — цилиндры, колбы и др.), снабженные соответствующей системой дозирования посту-

пающих сточных вод, аэраторами и перемешивающими устройствами (при рассмотрении соответствующих задач), пробоотборниками, отводом очищенных сточных вод [10 – 12].

Более достоверные и информативные параметры новых технологий очистки могут быть получены на опытно-промышленных моделях, на которых испытуемый технологический метод может быть реализован в более крупном масштабе в проточных условиях.

Наиболее информативным вариантом является отработка технологических параметров на автономном блоке сооружений. Здесь желательно проводить проверку новых сложных многоступенчатых технологических процессов, для которых велика цена ошибки. Например, уточнение технологических параметров работы ступенчатой анаэробно-аэробной биологической очистки от азота и фосфора, реализация которой требует организации нескольких рециркулирующих потоков активного ила.

Анализ научно-технической литературы позволяет выявить доступные современные разработки новых технологических процессов, представить возможность применения их в конкретных условиях очистных сооружений и оценить ожидаемые результаты очистки.

К настоящему времени изучен целый ряд методов удаления биогенных веществ из сточных вод, позволяющих обеспечивать в технологической схеме как глубокое удаление одного из нормируемых биогенных соединений, так и обоих нормируемых элементов (и азота, и фосфора). Технологии глубокой очистки одновременно от азота и фосфора также начинают внедряться на работающих станциях аэрации.

Практически все новые технологии очистки не являются универсальными, поэтому при разработке технологической схемы для конкретного объекта требуется учитывать не только абсолютные величины исходных параметров загрязнения сточных вод, а также ряд других параметров сточных вод. Важными параметрами являются, например, уровни соотношений концентраций биогенных и органических веществ в исходной воде. Кроме того, необходимо учитывать, что в технологии биологической очистки азот и фосфор представляют собой конкурирующие элементы. Например, при определенных концентрациях образованных нитратов приостанавливается биологическое изъятие фосфатов. Обеспечение повышенных показателей удаления обоих элементов биологическим методом требует выполнения определенных исходных условий, что не всегда может быть реализовано на конкретном объекте из-за состава исходной воды. Поэтому технологическую цепочку процессов, которые наиболее компактно вписывались бы в общую технологическую схему очистки сточных вод, необходимо подбирать с учетом исходных данных сточных вод. Выбранные технологические процессы удаления отдельных загрязняющих веществ должны сочетаться в технологической схеме и не вступать в противоречие.

Успешное выполнение проекта реконструкции очистных сооружений зависит от достоверности исходных данных, качество которых обусловлено полноценным проведением подготовительных работ, т. е. от предпроектных изысканий. Ошибки, допущенные на стадии сбора и обработки данных, ведут к неверному проектированию, что впоследствии может оказаться причиной значительного удорожания строительства.

В основу проектирования реновации очистных сооружений или отдельных технологических узлов очистных сооружений, являющихся объектами капитального строительства, должны быть положены документы [13 – 15].

Вся процедура выполнения собственно разработки проекта КОС и последующие ступени работы с проектными решениями, т. е. экспертиза, разработка рабочих чертежей, выполнение строительных работ, пуско-наладочные работы, мониторинг объектов реконструкции аналогична проектированию объектов нового строительства.

В планах проведения работ по реновации сооружений необходимо предусматривать раздел, касающийся обучения эксплуатационного персонала работе с новыми технологиями и сооружениями.

### Заключение

1. Потребность в реновации большого числа очистных сооружений водоотведения в настоящее время связана с повышенными требованиями к сбросу очищенных сточных вод в водные объекты и с обновлением парка технических средств, применяемых на очистных сооружениях.

2. Характерной особенностью проектирования объекта реновации является необходимость проведения большого объема подготовительных работ по изучению фактического расхода и состава сточной воды, подлежащей очистке, по разработке технологической схемы очистки сточных вод, уточнению технологических параметров.

3. При разработке технологической схемы усовершенствованных очистных сооружений оказывается необходимым учитывать одновременно как возросшие требования к качеству очищенной воды, так и изменившийся приток сточных вод, наличие работоспособных емкостных сооружений, ограниченность территории станций аэрации и, в отдельных случаях, размещение поселений близ площадки очистных сооружений.

4. К настоящему времени изучено достаточное количество технологических процессов, сочетание которых может позволить обеспечить современные требования к качеству очищенных сточных вод, при сбросе сточных вод в водные объекты.

5. Проектирование объекта реновации проводится в соответствии с установленным положением Градостроительного Кодекса и постановлением Правительства РФ № 87, и постановлением Правительства РФ № 693.

6. Для обеспечения повышения степени очистки сточных вод поселения перед сбросом в водные объекты от проектировщиков, строителей, наладчиков, эксплуатационного персонала требуется высокий уровень квалификации и согласованности всех звеньев процесса выбора, проектирования и строительства очистных сооружений.

### Библиографический список

1. Ружицкая О. А., Жолобова А. В., Липатов В. С. Анализ современных технологий глубокой очистки сточных вод с целью внедрения на городские очистные сооружения // Системные технологии. 2023. № 1 (46). С. 112 – 119.

2. Ружицкая О. А., Липатов В. С., Жолобова А. В. Анализ физико-химических методов удаления фосфора из сточных вод с целью получения струвита // Системные технологии. 2023. № 2 (47). С. 84 – 92.

3. Ружицкая О. А., Пономарева Н. С. Современные биологические и биолого-химические методы удаления фосфатов из сточных вод // Системные технологии. 2019. № 3 (32). С. 18 – 22.

4. Постановление Правительства РФ от 23.07.2007 № 469 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 18.08.2017.

5. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 №552.



6. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения СанПиН2.1.5.980-00 Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 11.03.2021, № 9.
7. Иванов И. Н., Синянский И. А., Манешина Н.И. Типология зданий и сооружений. М., ГУЗ, 2005, 186 с.
8. Синянский И. А., Шипков О. И., Орлов Е. В. Использование легкого керамзитобетона для изготовления ограждений наружных стен // Системные технологии. 2020. № 1 (34). С. 53 – 56.
9. Лободенко Е. А., Синянский И. А., Орлов Е. В. Исследование свойств ячеистобетонных перемычек, армированных композитной арматурой из армирующего волокна, для малоэтажных зданий // Системные технологии. 2019. № 1 (30). С. 52 – 56.
10. Кевбрина М. В., Агарев А. М. и др. Анализ технологических аспектов реконструкции малых и средних очистных сооружений ТиНАО г.Москвы, НДТ, №5\*, 2023, С. 4 – 14.
11. Методика оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации/ Минжилкомхоз РСФСР, Минводхоз СССР — М., Стройиздат, 1987, 30 с.
12. Методики проведения технологических изысканий и моделирования процессов очистки воды на водопроводных станциях /ОАО НИИКВОВ, ООО «Водкоммунтех». М., 2001, 60 с.
13. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.02.2024).
14. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 года N 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
15. Постановление Правительства РФ от 27 мая 2022 г. № 963. «О внесении изменений в Положении о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

---

## TECHNOLOGICAL PREPARATION FOR THE DESIGN OF RENOVATION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS

**N. A. Zaljotova**  
**S. V. Zaljotov**

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

---

### Abstract

The article discusses the features of pre-design work during the reconstruction of wastewater treatment facilities in order to increase the degree of wastewater treatment in accordance with modern legislation. In contrast to the standard design typical of previous years, preparation for modern design requires an analysis of the operation of structures subject to reconstruction, an assessment of wastewater discharge, the establishment of a characteristic level of wastewater pollution, the analysis of scientific and technical sources representing new technological solutions and the features of their implementation. The information

### The Keywords

*wastewater, modern requirements, treatment quality, pre-design work, new technologies, nitrogen compounds, phosphates*



obtained should be used as a basis for the development of a new technological scheme of the designed facility. Every effort is needed to ensure that the technological scheme of wastewater treatment, in which the processes of removal of individual elements from wastewater of the actual composition would most effectively fit into the general technological scheme of wastewater treatment of a particular facility.

**Date of receipt in edition**

04.03.2024

**Date of acceptance for printing**

06.03.2024

**Ссылка для цитирования:**

*Н. А. Залётова, С. В. Залётов. Технологическая подготовка к проектированию реновации очистных сооружений канализации. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 110 – 117.*





УДК 624.01

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_118-128

---

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЙ МОДЕЛЕЙ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ

М. В. Мозголов \*

Г. Э. Окольникова \*\*/\*\*\*

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

\*\* Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы (РУДН), г. Москва

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

---

### Аннотация

В учебном пособии к вычислительному комплексу SCAD++ приводятся сведения о сходимости результатов вертикальных перемещений расчета консольной балки, модели которой состоят из разных типов объемных конечных элементов и различном конечно-элементном разбиении. Отклонения компьютерного расчета от аналитического метода составляют:  $\approx 9\%$ ,  $\approx 3\%$ ,  $\approx 0,5\%$ ,  $\approx 12\%$ . Балочные конструкции в строительстве используются довольно часто, поэтому представленные сведения при создании компьютерных моделей являются важными. Следует отметить, что оценка качества конечно-элементных моделей исключительно на основании определения перемещений является не полной. Национальный стандарт Российской Федерации по численному моделированию требует оценивать качество моделей на основании ряда критериев, основанных на изучении напряжений.

В работе рассматриваются четыре твердотельные модели консольной балки, созданные на основании схем, представленных в пособии комплекса SCAD++, и одна стержневая модель. Балка выполнена из бетона класса B15 с размерами  $2,5 \times 0,5 \times 0,5$  м. Для изучения сходимости решения по изгибающему моменту определяются усредненные фибровые нормальные напряжения по нижней и верхней граням конструкции на расстоянии 0,5 м от опоры. Это обусловлено размером конечного элемента одной из моделей.

Отклонения по изгибающим моментам составляют:  $-1,44\%$ ,  $-0,25\%$ ,  $-0,44\%$ ,  $+1,06\%$ . Полученные данные сходимости по прогибам существенно отличаются от представленных на схемах в учебном пособии SCAD++ и составляют:  $-4,34\%$ ,  $-1,37\%$ ,  $-1,14\%$ ,  $-1,37\%$ . При моделировании конструкций конечными элементами второго порядка КЭ № 37 из библиотеки вычислительного комплекса SCAD++, даже с крупной сеткой конечно-элементного разбиения при изучении изгибающих моментов и прогибов получается результат с ошибкой, соответствующей нормативным требованиям — до 5%.

### Ключевые слова

*вычислительный комплекс SCAD, консольная балка, изгибающие моменты, напряжения, прогибы, сходимость результата*

### Дата поступления в редакцию

04.03.2024

### Дата принятия к печати

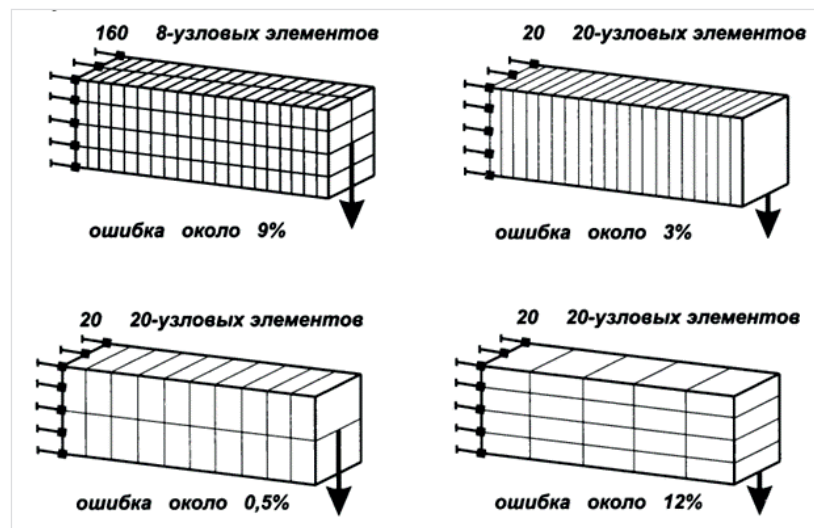
07.03.2024

## Введение

На современном этапе проектной деятельности расчеты строительных конструкций выполняются в программных комплексах, основанных на методе конечных элементов (МКЭ). С математической точки зрения МКЭ не является точным методом расчета [1 – 10]. Для обоснования правильности полученных данных необходимо предпринимать действия, оценивающие качество конечно-элементной модели (КЭМ) и доказывающие сходимость результата. Эти действия регламентированы национальным стандартом Российской Федерации [11]. В соответствии с п.п. 5.4.1 – 5.4.3 стандарта условием высокого качества КЭМ являются совпадения или близкие значения результатов по следующим критериям: основанным на геометрическом совершенстве элементов, основанным на исследовании изменения напряжений в узле в смежных элементах, основанным на исследовании зависимости напряжений от количества элементов. Перечисленные критерии являются минимально необходимыми, но недостаточными, разработчиками программного обеспечения могут вводиться дополнительные критерии оценки [11]. Как правило, при статических расчетах в литературе для оценки конечно-элементных моделей, применяются результаты сходимости на основании сравнения прогибов, изгибающих моментов и поперечных сил [1 – 10]. Получаемый по МКЭ результат зависит от многих причин, главными из которых являются: тип конечного элемента; форма конечного элемента; размер сетки конечно-элементного разбиения; правильное сопряжение конечных элементов разной размерности. Возможные источники ошибок: настройки решателя, применяемое оборудование и операционные системы, ошибки программного обеспечения и др. [7, с. 169]. В соответствии с письмом Главгосэкспертизы России [12] для повышения качества проектирования расчеты строительных конструкций рекомендуется осуществлять не менее чем в двух программных комплексах. Нельзя не упомянуть и о том, что расчетная конечно-элементная модель с точки зрения строительной механики — это идеализированная модель, с определенными упрощениями, поэтому полученные данные могут отличаться от аналитического расчета или эксперимента. Ошибки могут быть заложены и в программах: «В программных комплексах могут встречаться конечные элементы, не имеющие сходимости. Поэтому при использовании какого-либо программного комплекса пользователь должен убедиться, что для всех КЭ этого комплекса проведены исследования и получены оценки порядка сходимости по перемещениям и напряжениям» [3, с. 130].

## Методы и материалы

В учебном пособии к вычислительному комплексу SCAD++ приводятся сведения о сходимости результатов вертикальных перемещений расчета консольной балки, модели которой состоят из разных типов конечных элементов и различном конечно-элементном разбиении [10, с. 52]. Из пособия неясно, какие параметры расчета анализируются, прогибы или напряжения. Данный пример заимствован из работы [4, с. 29, 84], в которой указывается, что сравнение моделей выполняется по вертикальным перемещениям. Сравнение производится с данными, полученными известным аналитическим методом расчета теории упругости и пластичности. Отклонения компьютерного расчета от аналитического метода составляют:  $\approx 9\%$  (1 модель),  $\approx 3\%$  (2 модель),  $\approx 0,5\%$  (3 модель),  $\approx 12\%$  (4 модель) (Рис. 1).



**Рис. 1.** Точность вычисления вертикальных перемещений консольной балки в зависимости от типа конечного элемента и сетки конечно-элементного разбиения [4, 10]

В строительстве балочные конструкции являются одними из самых распространенных, поэтому приведенные данные являются важными для принятия решения при создании конечно-элементной модели. Однако, как было отмечено выше, для оценки качества КЭМ необходимо рассматривать несколько критериев, одним из которых является сходимости по напряжениям, следовательно одних данных прогибов балок недостаточно. Тем более, что ошибка в перемещениях приводит к более грубой ошибке в моментах и еще более грубой в поперечных силах [6, с. 89]. В работах [13, 14] описывается метод изучения сходимости напряжений в твердотельных моделях балок при помощи сравнения изгибающего момента. Этот метод применяется при анализе конструкций в первом (номинальном) уровне детализации напряженно-деформированного состояния (НДС). При втором (конструктивном) и третьем (локальном) уровнях детализации для критических зон [15], качество КЭМ дополнительно следует оценивать в соответствии с критерием п.п. 5.4.2 [11]. Заключается он в том, что отношение разницы между максимальным и минимальным величинами напряжений к среднему в узле между смежными элементами не должно превышать 10 %. По причине отсутствия критических зон в изучаемой конструкции в данном численном эксперименте мы будем применять способ, предложенный в работах [13, 14].

Как в пособии к ВК SCAD++, так и в первоисточнике, конкретные данные о геометрии консольных балок и их материале отсутствуют. Поэтому в вычислительном комплексе SCAD++ версии 21 создаем модели, ориентируясь на масштаб чертежей. Изучается балка длиной 2,5 м с поперечным сечением 0,5 x 0,5 м, выполненная из бетона класса В15. С целью более точной оценки деформативности конструкции снижаем ее жесткость. Для этого, начальный модуль упругости бетона всех конечных элементов умножаем на коэффициент редуцирования 0,2 [8, 9]. Во всех моделях вертикальная нагрузка  $F=8\text{ Т}$  прикладывается в торце балок к 8-ми узлам по 1 Т на узел. В каждом узле заделки установлено по 6 связей: X, Y, Z,  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ . Первая модель состоит из конечных элементов типа 36 библиотеки ВК SCAD++ (пространственный изопараметрический 8-узловой конечный элемент первого порядка) с размерами вдоль осей X, Y, Z в мм:  $125 \times 250 \times 125$ . Коэффициент формы элементов 1,25. Вторая модель состоит из конечных элементов типа 37 (пространственный изопараметрический 20-узловой конечный элемент второго порядка) с размерами вдоль осей X, Y, Z в мм:  $125 \times 500 \times 500$ . Коэффициент формы элементов 2,13. Третья модель состоит из конечных элементов типа 37 с размерами:  $250 \times 500 \times 250$ . Коэффициент формы элементов 1,25. Четвертая модель состоит из конечных элементов типа 37 с раз-



мерами:  $500 \times 500 \times 125$ . Коэффициент формы элементов 2,13. Коэффициенты формы конечных элементов вычислены в комплексе SCAD++, их значения удовлетворяют требованиям оптимальных форм [6, с.92]. С математической точки зрения МКЭ, наиболее точной моделью является стержневая [1–6]. Поэтому был выполнен расчет и стержневой КЭМ. Стержневая модель состоит из конечного элемента типа 6 — пространственный стержень со сдвиговой жесткостью.

### Результаты и обсуждение

Данные вертикальных перемещений узлов моделей представлены на **рис. 2–6**. Поля нормальных напряжений вдоль оси X представлены на **рис. 7–10**. Расчет выполнялся многофронтальным методом со стандартными настройками, установленными в вычислительном комплексе SCAD++.

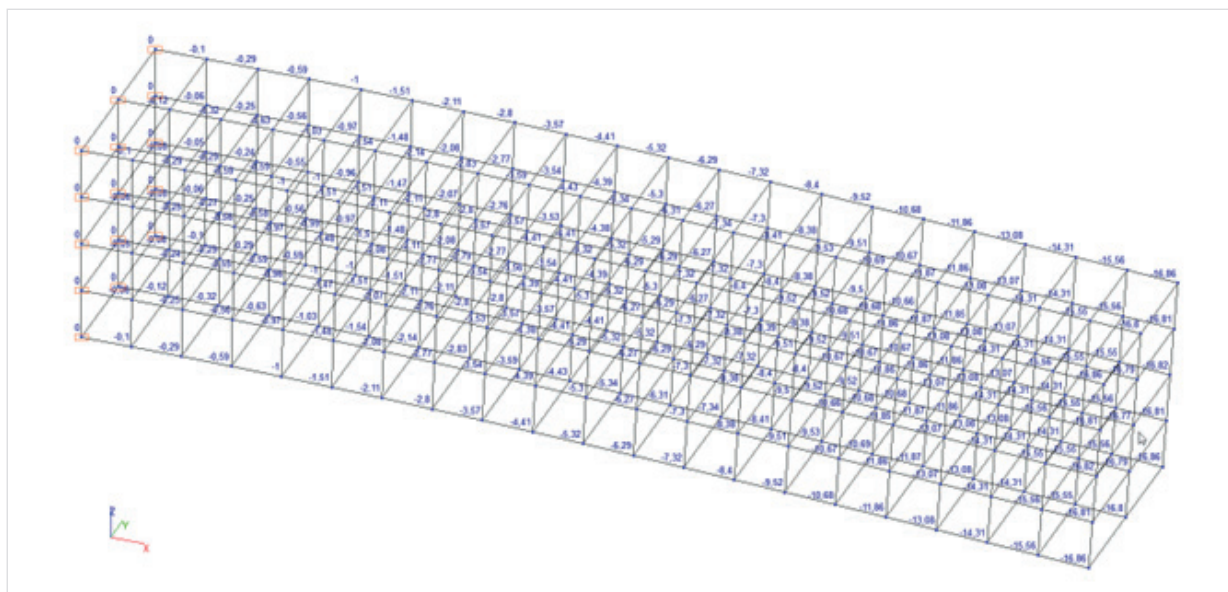


Рис. 2. Модель № 1. Вертикальные перемещения узлов [мм]

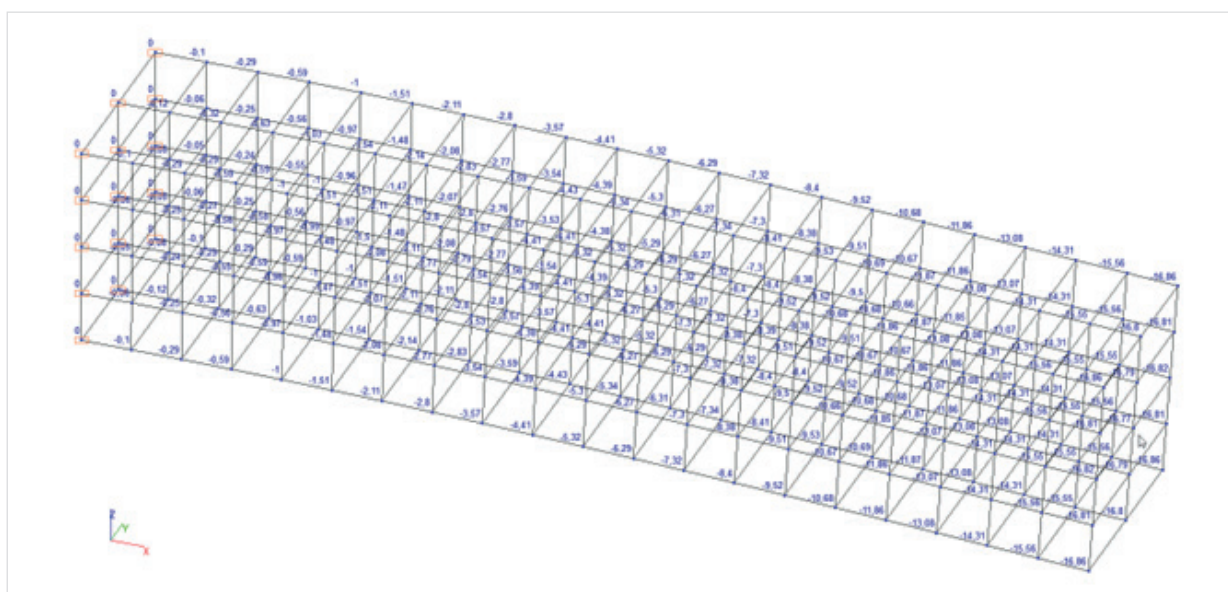


Рис. 3. Модель № 2. Вертикальные перемещения узлов [мм]

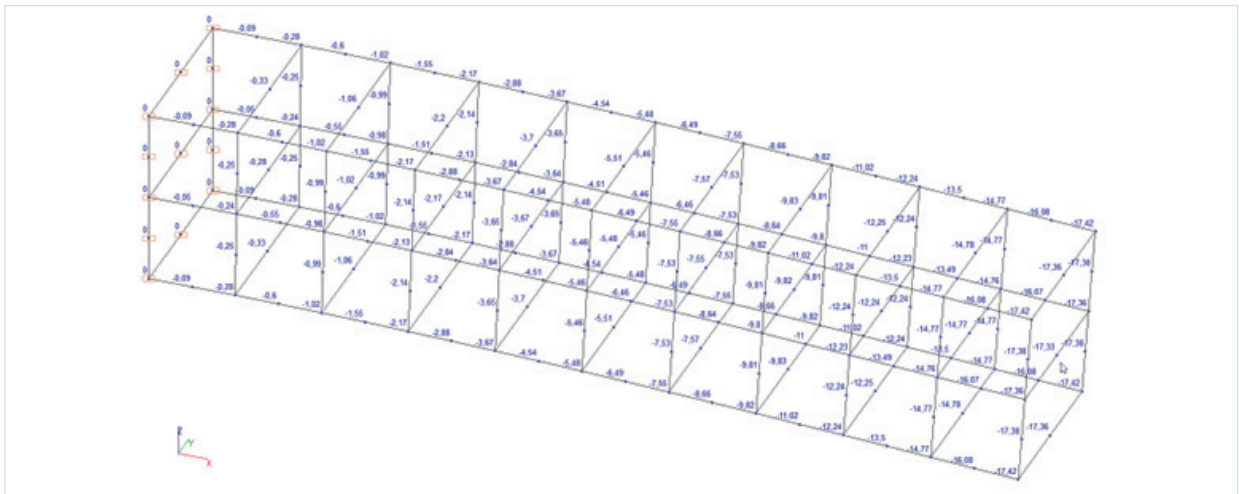


Рис. 4. Модель № 3. Вертикальные перемещения узлов [мм]

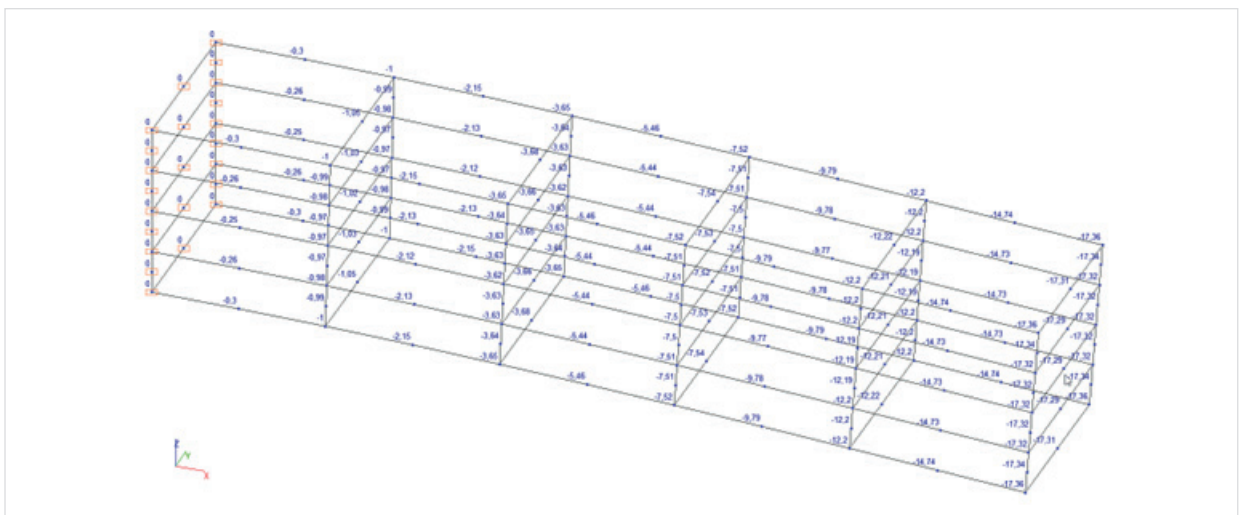


Рис. 5. Модель № 4. Вертикальные перемещения узлов [мм]

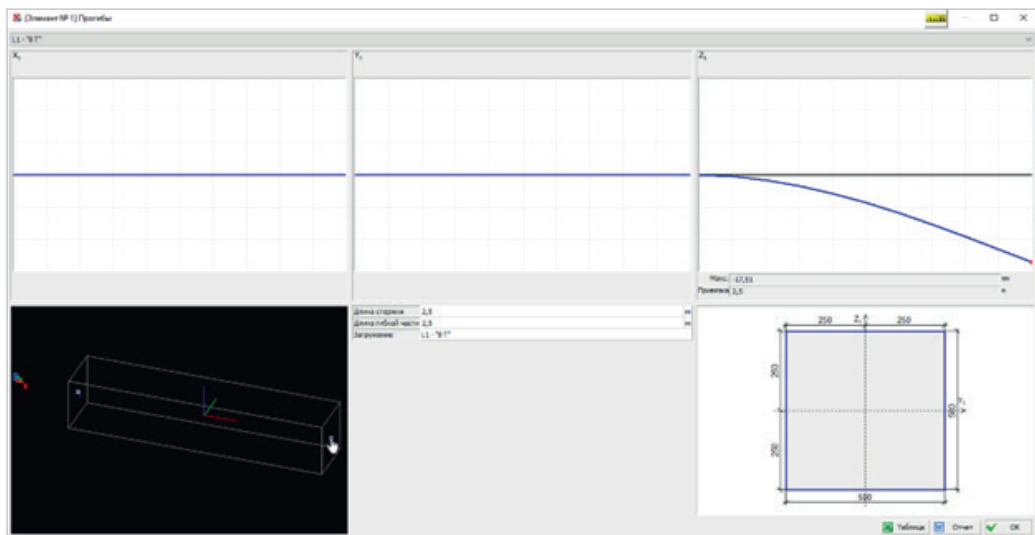


Рис. 6. Прогибы стержневой модели [мм]



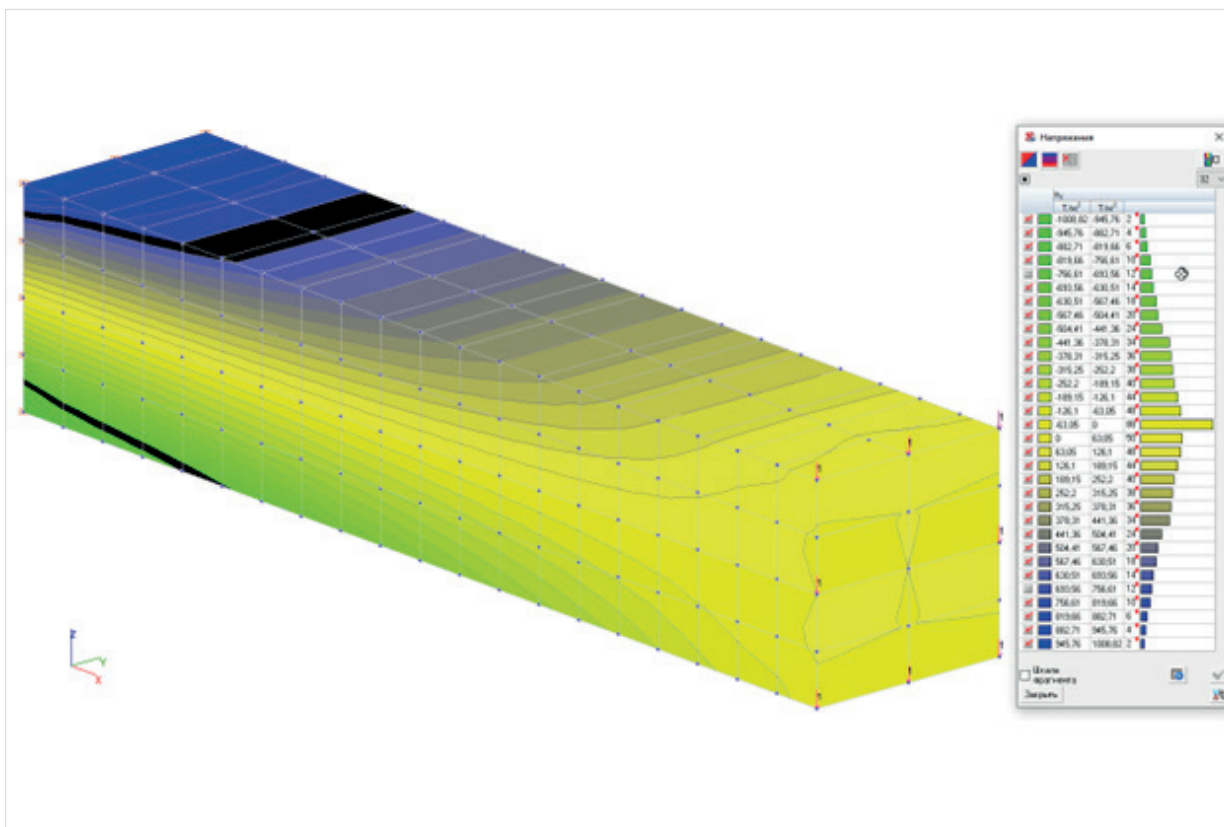


Рис. 7. Модель № 1. Напряжения  $\sigma_x$  [Т/м<sup>2</sup>]

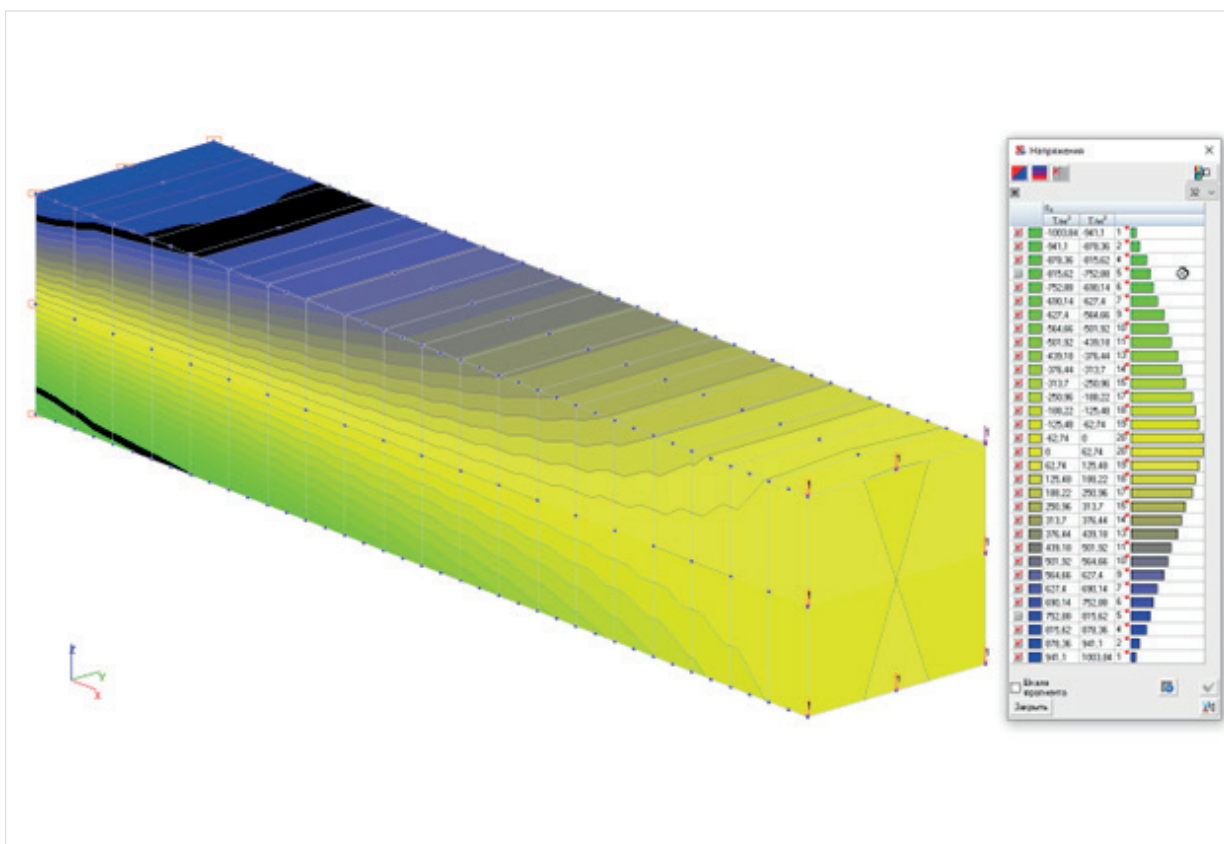


Рис. 8. Модель № 2. Напряжения  $\sigma_x$  [Т/м<sup>2</sup>]

М. В. МОЗГОЛОВ, Г. Э. ОКОЛЬНИКОВА  
К вопросу оценки точности решений моделей метода...

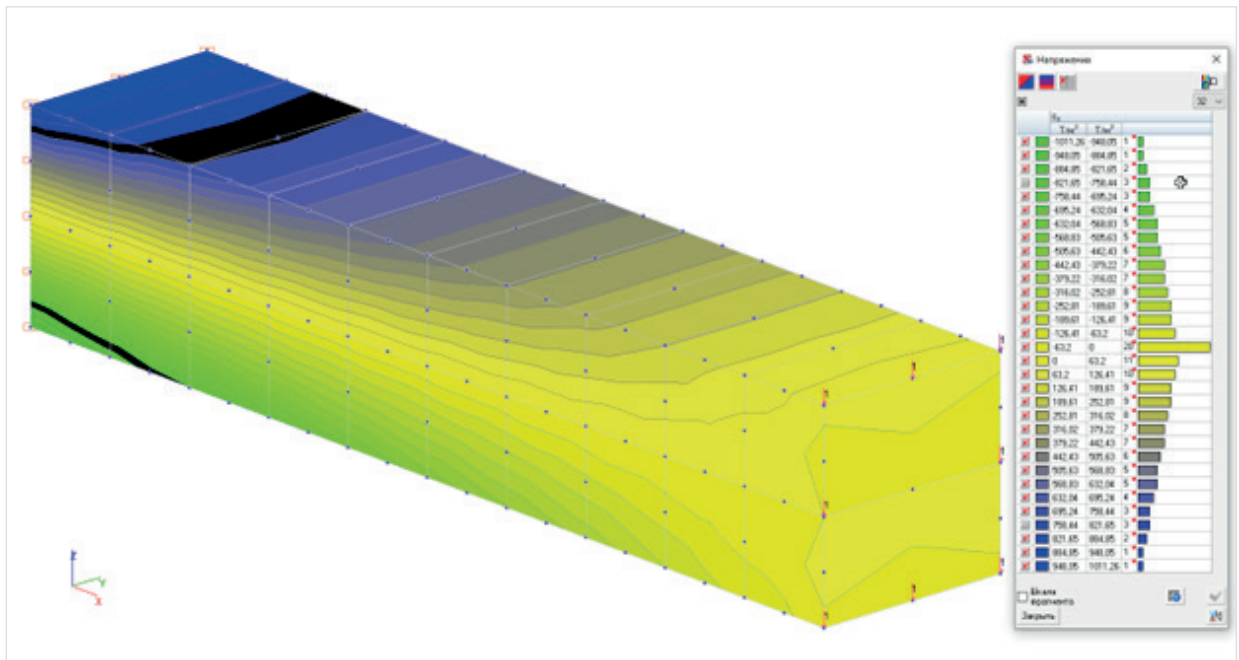


Рис. 9. Модель № 3. Напряжения  $\sigma_x$  [Т/м<sup>2</sup>]

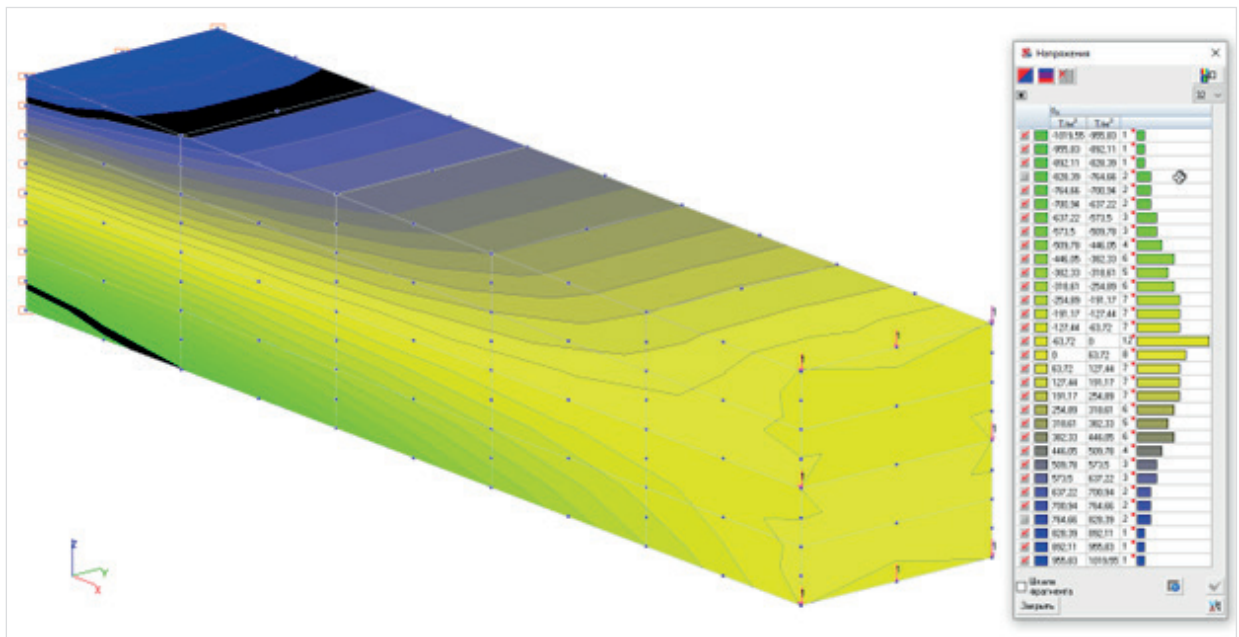


Рис. 10. Модель № 4. Напряжения  $\sigma_x$  [Т/м<sup>2</sup>]

Для изучения сходимости решения по напряжениям изучаем поперечное сечение, расположенное на расстоянии 500 мм от опоры. Причиной этому является размер конечного элемента модели № 4 вдоль балки, равный 500 мм. Для определения усредненных фибровых напряжений по нижней и верхней граням конструкции сначала усредняются значения по звезде элементов узла, а затем по количеству узлов [5]. Полученные данные напряжений и прогибов представлены в **таблице 1**. После аналитического определения усредненных фибровых напряжений для контроля полученных данных на гистограмме полей напряжений «обесцвечивалась» зона, в которую входят вычисленные значения на-

пряжений  $\sigma_x$  в нижней и верхней зонах балки. Эти зоны отмечены черным цветом. Во всех твердотельных моделях зоны совпали с сечением, расположенным на расстоянии 500 мм от опоры. Распределение растягивающих и сжимающих напряжений во всех твердотельных моделях симметричное, об этом свидетельствуют поля и гистограмма напряжений  $\sigma_x$ .

Таблица 1

Напряжения и прогибы конечно-элементных моделей консольной балки

Модель №	Усредненные фибровые напряжения на расстоянии 0,5 м от опоры		Изгибающий момент $M_y$ , Тм	Отклонение изгибающего момента от теоретического значения, %	Прогиб, мм	Отклонение прогиба от теоретического значения, %
	Верх $\sigma_{x_{bt,max}}$ , [Т/м <sup>2</sup> ]	Низ $\sigma_{x_{bc,max}}$ , [Т/м <sup>2</sup> ]				
1	756,91	-756,91	15,77	-1,44	16,77	-4,34
2	766,11	-766,11	15,96	-0,25	17,29	-1,37
3	764,6	-764,6	15,93	-0,44	17,33	-1,14
4	776	-776	16,17	+1,06	17,29	-1,37
Стержневая			16,0	0	17,51	-0,11

Изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении, вычисляем по формуле [13, 14]:

$$M_y = I_y \times \frac{\sigma_{x_{bt,max}} - \sigma_{x_{bc,max}}}{h} \quad (1)$$

Момент инерции  $I_y$ .

$$I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{50 \times 50^3}{12} = 520833,3333 \text{ см}^4. \quad (2)$$

Модель № 1.

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{756,91 + 756,91}{0,5} = 15,77 \text{ Тм}. \quad (3)$$

Модель № 2.

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{766,11 + 766,11}{0,5} = 15,96 \text{ Тм}. \quad (4)$$

Модель № 3.

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{764,6 + 764,6}{0,5} = 15,93 \text{ Тм}. \quad (5)$$

Модель № 4.

$$M_y = \frac{520833,3333}{10^8} \times \frac{776 + 776}{0,5} = 16,17 \text{ Тм}. \quad (6)$$

Прогиб консольной балки в соответствии с правилами сопротивления материалов, с учетом действия изгибающего момента и поперечной силы, определяется по формуле [16].

$$f = \frac{P \times L^3}{3 \times EI} \times 1,03 = \frac{8 \times 2,5^3 \times (1000)}{3 \times 2447,92} \times 1,03 = 17,53 \text{ мм.} \quad (7)$$

Все конечно-элементные модели консольной балки BK SCAD++ версии 21 показали хорошую сходимость результата как по прогибам, так и по нормальным напряжениям. При этом следует отметить, что модели № 2, № 3, № 4, состоящие из КЭ типа № 37 — пространственного изопараметрического 20-узлового конечного элемента второго порядка имеют крупную сетку конечно-элементного разбиения. Отклонения от моделей, рассчитанных ранее (до 2003 г.) могут быть вызваны причинами, отмеченными в работе [7]: настройки решателя, применяемое оборудование, операционная система...

### **Выводы**

1. Полученные данные сходимости по прогибам консольной балки, полученные в вычислительном комплексе SCAD++ версии 21, существенно отличаются от представленных на схемах в учебном пособии BK SCAD++, рассчитанных до 2003 г. и составляют: -4,34%, -1,37%, -1,14%, -1,37%. Отклонения по изгибающим моментам составляют: -1,44%, -0,25%, -0,44%, +1,06%.
2. При моделировании консольной балки пространственным изопараметрическим 20-узловым конечным элементом второго порядка типа № 37 из библиотеки вычислительного комплекса SCAD++ версии 21, даже с крупной сеткой конечно-элементного разбиения при изучении изгибающего момента и прогиба получается результат с ошибкой, соответствующей нормативным требованиям — до 5%.
3. Для решения пространственной задачи теории упругости при создании компьютерных твердотельных моделей следует использовать объемные конечные элементы второго порядка, как наиболее точные, по сравнению с элементами первого порядка.
4. Следующим этапом численного эксперимента может быть изучение сходимости результатов рассматриваемых твердотельных моделей по поперечной силе и опорным реакциям.

### **Библиографический список**

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. Перевод с английского под редакцией Б. Е. Победри. М.: МИР, 1975. 541 с.
2. *Секулович М.* Метод конечных элементов. Перевод с сербского Ю. Н. Зуева. Под редакцией В. Ш. Барбакадзе. М.: Стройиздат, 1993. 664 с.
3. *Городецкий А. С., Евзеров И. Д.* Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. 344 с.
4. *Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А.* ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. М.: УРСС, 2003. 272 с.
5. *Перельмутер А. В., Сливкер В. И.* Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с.
6. *Перельмутер А. В.* Беседы о строительной механике. М.: Издательство SCAD Soft, Издательский дом АСВ, 2016. 304 с.

7. Мельников Р. В. Использование метода конечных элементов в геотехнике. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 188 с.

8. 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)

9. 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

10. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Фиалко С. Ю., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD ++. М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2015. 848 с.

11. ГОСТ Р 57700.10-2018 Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно-деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области. Москва; Стандартинформ; 2018.

12. Главгосэкспертиза России. О повышении качества расчетных обоснований проектных решений строительных конструкций». Письмо № 24-10-3/1281 от 28.06.04.

13. Мозголов М. В., Костюков В. В. О выборе места действия напряжений при анализе усилий в твердотельной модели вычислительного комплекса SCAD. Системные технологии. 2023. № 3 (48). С. 122 – 129. doi: 10.55287/22275398\_2023\_3\_122

14. Мозголов М. В., Костюков В. В., Сидоренко Д. А. О сходимости решений моделей вычислительного комплекса SCAD из трехгранной призмы первого порядка. Системные технологии. 2023. № 4 (49). С. 144 – 153. doi: 10.55287/22275398\_2023\_4\_144

15. Соколов С. А. Критерии работоспособности металлических конструкций машин. Проектирование с применением МКЭ. СПб.: Страта, 2023. 202 с.

16. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопротивление материалов. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986. 560 с.

---

## ON THE ISSUE OF ASSESSING THE ACCURACY OF SOLUTIONS OF FINITE ELEMENT METHOD MODELS USING THE EXAMPLE OF CALCULATING A CANTILIZER BEAM

**M. V. Mozgolov\***

**G. E. Okolnikova\*\*/\*\*\***

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

\*\* RUDN University, Moscow

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



---

### Abstract

The training manual for the SCAD++ computer complex provides information on the convergence of the results of vertical displacements in the calculation of a cantilever beam, the models of which consist of different types of volumetric finite elements and different finite element partitions. Deviations of the computer calculation from the analytical method are:  $\approx 9\%$ ,  $\approx 3\%$ ,  $\approx 0.5\%$ ,  $\approx 12\%$ . Beam structures are used quite often in construction, so the information presented is important when creating computer models. It should be noted that assessing the quality of finite element models solely on the basis of determining displacements is not complete. The national standard of the Russian Federation for numerical modeling requires assessing the quality of models based on a number of criteria based on the study of stresses.

The work examines four solid models of a cantilever beam, created on the basis of the diagrams presented in the SCAD++ manual, and one rod model. The beam is made of class B15 concrete with dimensions of  $2.5 \times 0.5 \times 0.5$  m. To study the convergence of the stress solution, the averaged fiber stresses are determined along the lower and upper faces of the structure at a distance of 0.5 m from the support. This is due to the size of the finite element of one of the models.

Deviations for bending moments are:  $-1.44\%$ ,  $-0.25\%$ ,  $-0.44\%$ ,  $+1.06\%$ . The obtained convergence data for deflections differ significantly from those presented in the diagrams in the SCAD++ textbook and are:  $-4.34\%$ ,  $-1.37\%$ ,  $-1.14\%$ ,  $-1.37\%$ . When modeling structures with second-order finite elements FE No. 37 from the library of the SCAD++ computer complex, even with a large finite element mesh, the result is obtained with an error that complies with regulatory requirements — up to 5%.

### The Keywords

*SCAD computer complex, cantilever beam, bending moments, stresses, deflections, convergence of results*

### Date of receipt in edition

04.03.2024

### Date of acceptance for printing

07.03.2024

---

### Ссылка для цитирования:

*М. В. Мозголов, Г. Э. Окольникова. К вопросу оценки точности решений моделей метода конечных элементов на примере расчета консольной балки. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 118 – 128.*





УДК 69.058:69.059

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_129-137

## ОБСЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СТУДЕНЧЕСКОГО ОБЩЕЖИТИЯ

Г. Э. Окольникова \* / \*\*

М. Е. Ершов \*

А. С. Малафеев \*

\* Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва

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

### Аннотация

При эксплуатации зданий и сооружений с течением времени в конструкциях накапливаются дефекты и повреждения. Для правильного решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации или реконструкции зданий и сооружений необходимо уметь оценивать техническое состояние конструкций по результатам их обследования с учетом имеющихся дефектов и повреждений, а также поверочных расчетов. Целью исследования является: на основании конкретного объекта оценить остаточную несущую способность отдельных элементов конструктивной схемы здания и дать рекомендации по их усилению (если есть необходимость), а также дать общую оценку несущей способности здания в целом и оценить, насколько рентабельным будет делать усиления отдельных элементов конструктивной схемы. Задачами работы являются:

- Определить категорию технического состояния здания и отдельных конструктивных элементов.
- Оценить техническое состояние конструкций на основании выявленных дефектов.
- Разработать методику расчета остаточной несущей способности отдельных конструктивных элементов с учетом влияния имеющихся дефектов.

### Результаты

Разработаны рекомендации по дальнейшей эксплуатации здания, так же выявлены и охарактеризованы наиболее критичные дефекты и повреждения конструкций, влияющие на снижение их несущей способности.

### Выводы

Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что они позволяют более точно и достоверно оценивать остаточную несущую способность эксплуатируемых конструкций с учетом, накопленных за время эксплуатации дефектов и повреждений, а также позволяет давать рекомендации по дальнейшей эксплуатации зданий и усилению отдельных конструктивных элементов.

### Ключевые слова

обследование, остаточная несущая способность, строительные конструкции, прочность, дефекты и повреждения, усиление конструкций

### Дата поступления в редакцию

04.03.2024

### Дата принятия к печати

06.03.2024

## Введение

Опыт эксплуатации зданий и сооружений из железобетона, кирпича и стали показывает, что с течением времени в конструкциях по различным причинам накапливаются дефекты и повреждения. Для правильного решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации или реконструкции зданий и сооружений необходимо уметь оценивать техническое состояние конструкций по результатам их обследования с учетом имеющихся дефектов и повреждений [1–4, 15]. Методология прогнозирования остаточной несущей способности конструкций с дефектами и повреждениями, в принципе, не отличается от методологии прогнозирования остаточной несущей способности конструкций без видимых дефектов и повреждений. Расчет остаточной прочности включает рассмотрение различных вариантов повреждений и дефектов с оценкой предельных нагрузок для каждого случая, а также при влиянии различных комбинаций нагрузок [5]. Так же на изменение прочностных свойств материала конструктивного элемента влияет непосредственно величина значения прочности, полученная при измерении специальными приборами [6–9].

## Материалы и методы

В данной работе в качестве объекта обследования рассматривается здание студенческого общежития в г. Москва (рис. 1). Здание имеет коридорную систему с двумя лестницами и общими комнатами на каждом этаже (рис. 2).



Рис. 1. Объект обследования

Объемно-планировочное решение здания следующее:

- 1) Здание шестиэтажное, с чердаком, без подвала, планировочное решение коридорного типа с двумя лестничными клетками и жилыми комнатами на этажах по обе стороны от центрального коридора.
- 2) Размеры здания в плане в крайних осях  $84.2 \times 11.45$  м.
- 3) Максимальная высота здания от уровня планировочной отметки земли до конька кровли составляет 22.20 м. До края свеса кровли — 19.82 м.
- 4) Строительный объем:  $18401 \text{ м}^3$ .

По данным технического паспорта год постройки здания — 1929 г.

В процессе проведения обследования выявлены локальные участки замены деревянных балок перекрытий в коридорах и кухнях на всех этажах. Выполнено усиление монолитных перекрытий по

металлическим балкам угловых секций в помещениях санузлов с 1 по 5 этажи путем подведения дополнительных балок из прокатного швеллера.

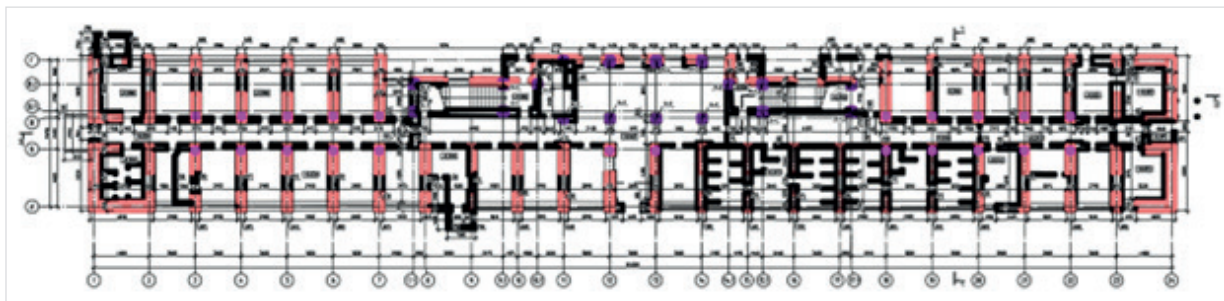


Рис. 2. План 4 этажа

Конструктивная схема — смешанная, с монолитными колоннами и поперечными и продольными несущими кирпичными стенами.

Фундаменты здания под несущие стены — ленточные, выполнены из бутовой кладки и монолитного железобетона.

Для анализа и оценки несущей способности грунтов основания и фундаментов было принято решение откопать два шурфа, один из которых был сделан под фасадную колонну (рис. 3), а второй — под рядовую колонну каркаса.

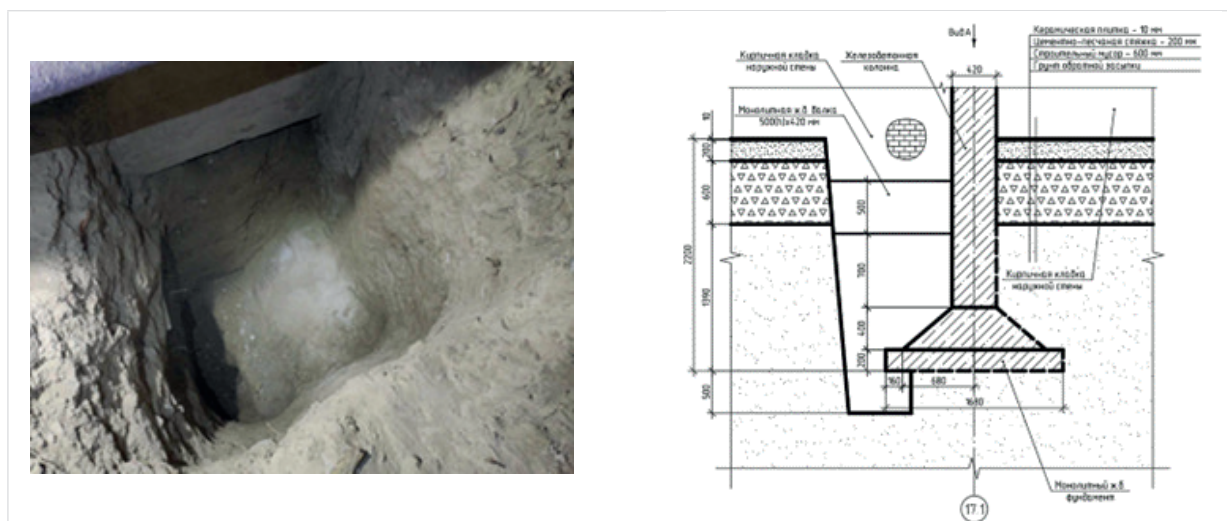


Рис. 3. Шурф №1

В обоих случаях фундаменты выполнены из монолитного железобетона и для выполнения дальнейших поверочных расчетов было необходимо определить прочность бетона. Прочность бетона фундаментов определялась с помощью двух методов неразрушающего контроля:

Определение прочности бетона неразрушающим методом путем измерения распространения ультразвука [10, 11] с применением прибора «УК1401»: испытания материалов в полевых условиях проводились методом неразрушающего контроля путем измерения времени и скорости распространения, и форме принимаемых ультразвуковых импульсов прибором «УК1401». Результаты определения прочностных характеристик бетона сборных элементов фундаментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты определения прочностных характеристик бетона  
сборных железобетонных элементов ультразвуковым методом**

№ п/п	Контролируемая конструкция			Частные значения скорости ультразвука на участке V, м/с					Среднее значение скорости ультразвука на участке V, м/с	Прочность, МПа
	Наименование и координаты контролируемых участков в осях	Дата проведения испытаний	Ближайший класс по прочности	1	2	3	4	5		
1	Фундаментальная балка в осях 15.1-17.1/В.2	Январь 2022	В15	3251	3218	3171	3036	3063	3148	23,07
				3010	3086	2884	2998	3217		
2	Фундамент в осях 17.1/В.2	Январь 2022	В20	3536	3289	3624	3636	3456	3508	28,83
				3456	3410	3486	3347	3292		

При расчете грунтов основания фундаментов из-за наличия подвала в здании учитывалась глубина подвала в расчете по [14] по формуле (2):

$$d_1 = h_s + h_{cf} * \frac{\gamma_{cf}}{\gamma_{II}} \quad (2)$$

Расчетное сопротивление грунтов рассчитывалось по формуле (3) из [12]:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}] \quad (3)$$

Таблица 2

**Ведомость результатов анализа физико-механических свойств грунтов**

Номер шурфа	Содержание частиц, %											Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Удельное сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, градус	Модуль деформации компрессионный, МПа
	свыше 10 мм	10 – 5 мм	5 – 2 мм	2 – 1 мм	1 – 0,5 мм	0,5 – 0,25 мм	0,25 – 0,10 мм	0,10 – 0,05 мм	0,05 – 0,01 мм	0,01 – 0,002 мм	меньше 0,002 мм				
	A10	A5	A2	A1	A0,5	A0,25	A0,1	A0,05	A0,01	A0,002	A0	ρ	C <sub>пк</sub>	φ <sub>пк</sub>	E
ш1	3,4	2,7	3,1	5,5	16,4	36,2	20,6	12,1				1,78	0,007	29,03	11,43
ш2	10,6	3,0	3,6	7,3	14,6	37,4	15,5	8,0				1,78	0,003	27,47	12,21

## Ведомость результатов анализа физико-механических свойств грунтов

По формуле 5.6.7 из [12]

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_y k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}]$$

№ шурфа (сечение или стена)	Наименование грунта	$k_z$	$\gamma_{c1}$	$\gamma_{c2}$	$k$	$\varphi_{II}$ ,	$b$ , м	$d_1$ , м	$d_b$ , м	$\gamma_{II}$ ,	$\gamma'_{II}$ ,	$c_{II}$ , тс/м <sup>2</sup>	$M_y$	$M_q$	$M_c$	$R$ , тс/м <sup>2</sup>
						град.				тс/м <sup>3</sup>	тс/м <sup>3</sup>					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
III-1	Песок ср. крупн. ср. плотн. неоднород. малой степени водонас.	1	1.40	1.20	1	29.03	1.6	2.20	0.00	1.78	1.78	0.71	1.06	5.26	7.68	48.81
III-2	Песок ср. крупн. ср. плотн. неоднород. малой степени водонас.	1	1.40	1.20	1	27.47	0.7	2.17	0.00	1.78	1.78	0.30	0.94	4.78	7.26	36.66

Обозначения в таблице.  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  — коэффициенты условий работы;  $\varphi_{II}$  — угол внутреннего трения;  $b$  — ширина подошвы фундамента;  $d_1$  — глубина заложения фундаментов бесподвального сооружения от уровня планировки или приведенная глубина заложения наружных и внутренних фундаментов от пола подвала;  $d_b$  — глубина подвала;  $\gamma_{II}$  — объемный вес грунта залегающего ниже подошвы фундамента,  $\gamma'_{II}$  — то же, залегающих выше подошвы;  $c$  — удельное сцепление;  $M_y$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  — коэффициенты принимаемые по табл. 5.5 из [12];  $R$  — расчетное сопротивление грунта.

После определения значений  $R$  были определены коэффициент использования грунтов оснований и соответственно запас их несущей способности.

$$P = \frac{(N_{II}P + G)}{b \cdot a} \quad (4)$$

$$K_{isp} = \frac{P}{R} \quad (5)$$

Если запас составляет < 5% то должно быть рекомендовано усиление грунтов оснований или же изменение конструкции фундаментов по [12]. Для данных же грунтов дополнительные меры по усилению не требуются. Единственной рекомендацией по конструкциям фундаментов будет следующее: выполнить гидроизоляцию монолитных фундаментов, а также кирпичных стен, находящихся ниже поверхности земли и соприкасающихся с грунтом обратной засыпки.



Значения запасов несущей способности грунтов основания

№ шурфа (сечение или стена)	Нормативная нагрузка, действующая в уровне обреза фундамента	Нагрузка от веса фундамента и грунта на его обрезах	Ширина фундамента	Длина фундамента	Глубина заложения фундамента	Расчетное сопротивление грунта	Среднее давление по подошве фундамента	Запас несущей способности	Коэффициент использования
	$N_{пр}$	$G$	$b$	$a$	$d_1$	$R$	$P$		
	тс	тс	м	м	м	тс/м <sup>2</sup>	тс/м <sup>2</sup>		
Ш-1	110.6	9.3	1.6	1.68	2.200	48.8	44.6	8.7%	0.913
Ш-2	50.2	9.4	0.7	2.61	2.170	36.7	32.6	11.1%	0.889

В данном исследовании рассмотрен расчет несущей способности конструкций монолитных плит перекрытий для наглядного понимания влияния дефектов и повреждений на остаточную несущую способность конструкций.

По таблице В2 по [13] исходя из того, что здание было построено до 1955 года, определяем, что значение расчетного сопротивления стали на растяжение для данного перекрытия равно 155 МПа. Так как расчет ведется в программе «Арбат», то находим коэффициент приведения расчетного сопротивления текущей арматуры к арматуре А400 с расчетным сопротивлением 335 МПа будет равен 0,456 без учета коррозии, а с учетом коррозии арматурных стержней – 0,365. В первом случае коэффициент использования будет равен 0,950, а во втором – 1,429.

### Результаты и обсуждение

Согласно [14] фундаменты здания находятся в работоспособном состоянии. Критические дефекты и повреждения фундаментов, свидетельствующие об исчерпании несущей способности, не выявлены. Несущей способности грунтов основания достаточно для восприятия фактической нагрузки с запасом несущей способности 8,7 – 11,1%. При этом обнаружены отступления от требований нормативной документации, приводящие к снижению эксплуатационной пригодности и срока эксплуатации фундаментов. С целью восстановления технического состояния фундаментов и увеличения сроков их эксплуатационной пригодности рекомендуется следующее:

Выполнить гидроизоляцию монолитных и бутовых фундаментов, а также кирпичных стен, находящихся ниже поверхности земли и соприкасающихся с грунтом обратной засыпки.

Согласно [14] в целом оценивается как ограниченно-работоспособное. С целью восстановления технического состояния перекрытий и покрытия, а также во избежание их обрушения, рекомендуется следующее:



1) Выполнить восстановление защитного слоя бетона балок перекрытия 1 этажа, 2 этажа, 6 этажа. Ввиду множественного образования полостей и пор, плотного армирования и полного разрушения защитного слоя восстановление рекомендуется проводить методом торкретирования с соблюдением достаточной толщины защитного слоя бетона.

2) Поскольку выявлен системный характер несоблюдения требований по обеспечению параметров защитного слоя бетона, а армирование балок выполнено из стержней гладкой арматуры, не имеющих надежного сцепления с бетоном из-за нарушения технологии бетонных работ (образование полостей, неравномерное распределения щебня и гальки в теле бетона), инъектирование полостей и увеличение толщины защитного слоя рекомендуется выполнить по всем балкам перекрытия на всех этажах.

### Заключение

По результатам обследования технического состояния конструкций здания была произведена оценка их несущей способности, выявлены повреждения и дефекты, наличие которых относит степень эксплуатационной пригодности здания к аварийной категории по [14].

Для обеспечения безопасности, а также предупреждения внезапного обрушения строительных конструкций на аварийных участках, необходимо выполнить комплекс противоаварийных мероприятий, направленный на обеспечение механической безопасности конструкций зданий до момента реализации работ по капитальному ремонту в соответствии с разработанным проектом. Доступ людей к местам расположения аварийных конструкций необходимо ограничить.

### Библиографический список

1. Крахмальний Т. А. и Евтушенко С. И. Дефекты и повреждения железобетонных колонн производственных зданий // Строительные конструкции, здания и сооружения. 2020. С. 5 – 10.
2. Евтушенко С. И. и Крахмальний Т. А. Дефекты и повреждения столбчатых фундаментов производственных зданий // Строительство и архитектура. 2019. Том 7. Вып. 4. С. 36 – 40.
3. Крахмальний Т. А. и Евтушенко С. И. Дефекты и повреждения грунтовых оснований промышленных зданий // Строительство и архитектура. 2019. Том 7. Вып. 3. С. 45 – 49.
4. Улыбин А. В., Зубков С. В., Федотов С. Д., Кукушкина Г. А. и Черненко Е. В. Техническое обследование строительных конструкций комплекса производственных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7 (22). С. 194 – 217.
5. Джурев У. У. Повышение технического состояния зданий и сооружений на основе поверочного расчета // Academy. 2020. №11 (62). С. 70 – 74.
6. Парфенов А. А., Сивакова О. А., Гусарь О. А. и Балакирева В. В. Выбор оптимальных методов определения прочности бетона при обследовании зданий и сооружений // Строительные материалы. 2019. №1 – 2. С. 60 – 63.
7. Алешин Д. Н., Котова Н. В. и Алешина Е. А. Комплекс методов неразрушающего контроля для обследования фундаментов зданий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. №4 (10). С. 40 – 42.

8. *Самигуллин Г. Х.* Оценка применимости методов неразрушающего контроля производств // Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. 2014. №4. С. 123–127.
9. *Кузина Е. С. и Неверов А. Н.* Принципы инструментального обследования стен многоквартирного дома при организации капитального ремонта // Недвижимость: экономика, управление. 2017. № 2. С. 37–40.
10. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1972-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 17624—2012 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2014 г.
11. ГОСТ 24332-88. Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии. Утвержден и введен в действие постановлением государственного строительного комитета СССР от 15.08.88 N 162.
12. 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.
13. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: Принят и рекомендован к применению в качестве нормативного документа в Системе нормативных документов в строительстве постановлением Госстроя России от 21 августа 2003 г. № 153.
14. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: Принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (протокол № 39 от 8 декабря 2011 г.).
15. *Теребов Д. Н., Лазарев Д. Н. и Зорин Д. В.* Обследование зданий и сооружений // Инновационная наука. 2016. №4. С. 174–176.

---

## BUILDING SURVEY AND EVALUATION OF THE RESIDUAL LOAD-BEARING CAPACITY OF STUDENT HOSTEL'S STRUCTURES

**G. E. Okolnikova** \* / \*\*  
**M. E. Ershov** \*  
**A. S. Malafeev** \*

\* RUDN University, Moscow

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

### Abstract

During the operation of buildings and structures, defects and damages accumulate in the structures over time. To correctly resolve the issue of the possibility of further safe operation or reconstruction of buildings and structures, it is necessary to be able to assess the technical condition of structures based on the results of their examination, considering existing defects and damages, as well as verification calculations. The purpose of the study is: based on a specific object, to assess the residual load-bearing capacity of individual elements of the structural scheme of the building and make recommendations for their reinforcement (if necessary), as well as to give a general assessment of the load-bearing capacity of the building as a whole and to assess how cost-effective it will be to strengthen individual elements of the structural scheme. The objectives of the work are:

- Determine the category of the technical condition of the building and individual structural elements.
- Assess the technical condition of structures based on the identified defects.
- Develop a methodology for calculating the residual load-bearing capacity of individual structural elements, considering the influence of existing defects.

### Results

Recommendations for further operation of the building have been developed, as well as the most critical defects and structural damage affecting the reduction of their load-bearing capacity have been identified and characterized.

### Conclusions

The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that they allow for a more accurate and reliable assessment of the residual load-bearing capacity of the operated structures, considering the defects and damages accumulated during operation, and allows for recommendations for further operation of buildings and strengthening of individual structural elements.

### The Keywords

*building survey, residual load-bearing capacity, building structures, strength, defects and damages, reinforcement of structures*

### Date of receipt in edition

04.03.2024

### Date of acceptance for printing

06.03.2024

### Ссылка для цитирования:

Г. Э. Окольникова, М. Е. Ершов, А. С. Малафеев. Обследование и оценка остаточной несущей способности конструкций студенческого общежития. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 129 – 137.



УДК 628.3+628.4

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_138-143

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА САНИТАРНЫМ СОСТОЯНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СТОЛИЦЫ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРИЕМА ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСЛЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КАНАЛА ИМЕНИ МОСКВЫ

И. А. Синянский \*

В. В. Пименов \*

О. А. Стифеева \*\*

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

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

---

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с проведением наблюдений за санитарным состоянием водных объектов Москвы, используемых для приема очищенных сточных вод, которые осуществлялись в период 50-х годов прошлого века. Были проведены исследования, которые подтвердили усиление антропогенной деятельности человека на водотоки столицы, в том числе увеличение объемов поступающих загрязненных стоков. Были изучены водные объекты не только в пределах города, но и за его границами. По результатам проведенных наблюдений и изысканий были предложены оптимальные решения, которые впоследствии позволили значительно оздоровить водотоки в пределах столичного региона.

### Ключевые слова

*сточные воды, водотоки, очистка сточных вод, водоснабжение, водоотведение, качество воды, реконструкция*

### Дата поступления в редакцию

27.02.2024

### Дата принятия к печати

06.03.2024

---

В начале XX века в связи с тем, что население города Москвы значительно увеличилось, то мощностей Мытищинского водопровода стало не хватать для обеспечения водопотребления столицы не только на производственные, но и на хозяйственно-питьевые нужды [1 – 3]. Это привело к тому, что среднее водопотребление на одного жителя стало составлять порядка 15 – 20 литров в сутки. Таким образом, городу для своего развития необходимо было изыскивать новый источник водоснабжения. Такое низкое водопотребление могло приводить к антисанитарии и вспышкам различных видов заболеваний.

Однако в связи с различными историческими событиями, произошедшими в начале XX века, решение вопросов обводнения столицы пришлось отодвинуть на несколько десятков лет вперед [4 – 8]. К нему вернулись только в начале 30-х годов прошлого века, когда внутренние политические проблемы были решены.

В 1937 году был построен канал имени Москвы, который до 1947 года назывался каналом Москва – Волга (рис. 1 и 2). Именно по этой водной артерии стала подаваться вода из реки Волги, что привело к обводнению реки Москвы. Город получил значительные объемы водных ресурсов. Это позволило ему развиваться дальше, увеличивая свою территорию и численность населения.



Рис. 1. У одного из шлюзов на канале Москва – Волга. 1930-е годы. Главархив Москвы (автор фотографии Б. Игнатович) (источник: <https://www.mos.ru/news/item/93133073/>)

Река Москва являлась основным проточным водотоком в столице. Воду из нее использовали на различные нужды, в том числе и на рекреационные. Были созданы многочисленные пляжи, на которых отдыхали жители и гости столицы в летнее время.

Большие антропогенные нагрузки на реку в послевоенное время (50-е годы прошлого века) стали требовать поддержания определенных санитарных норм и правил.



Рис. 2. Плотина на канале Москва – Волга. 1930-е годы. Главархив Москвы (автор фотографии Б. Игнатович) (источник: <https://www.mos.ru/news/item/93133073/>)



В 50-х годах прошлого века были проведены значительные обследования и наблюдения за водными объектами столицы не только в черте города, но и за ее пределами. Особый интерес представляли исследования водных ресурсов в районах расположения крупных очистных сооружений. По результатам проведенных изысканий пришли к выводу о том, что в некоторых местах водотока состояние реки Москвы не удовлетворяло требованиям санитарных органов. Таким образом, было необходимо разрабатывать определенные мероприятия, которые могли бы привести к значительному увеличению качества вод в проблемных местах, подверженных влиянию антропогенной деятельности.

Были осуществлены сезонные обследования реки Москвы от района Щукино (бывшая деревня Щукино, вошедшая в состав столицы в 1947 году) до реки Пехорки. Общая длина исследуемых водных путей составил порядка 120 км. Это позволило регистрировать изменения, которые происходят в воде, под воздействием сточных вод, попадающих в объект.

Сбор материалов по годам преследовал несколько целей. Первое — разобраться, каким образом меняются загрязнения воды в пределах городской территории. Второе — определить самоочищающую способность водного объекта после того, как в него поступают очищенные сточные воды с территорий очистных сооружений систем водоотведения.

В качестве начальной точки исследования выбрана зона поступления воды из реки Волги непосредственно в реку Москва. Пробы были отобраны из десятков пунктов с учетом соблюдения времени перемещения водных масс. Была дана характеристика водных ресурсов по химическим и бактериологическим показателям [9–11]. На участке от Перервы (поселение, вошедшее в состав Москвы в 60-х годах прошлого века) до Бесединской плотины (в районе сегодняшнего города Дзержинский, Московская область) дополнительно был проведен гидробиологический анализ.

Было выяснено, что гидрологические условия складываются неблагоприятно для поддержания необходимых санитарных требований для водоемов. Это продиктовано, прежде всего тем, что увеличивается объем сточных вод и эти параметры будут только возрастать в связи с тем, что на перспективу развития площадь столицы должна быть значительно увеличена.

Проведенные в период тех лет различные мероприятия, а также ужесточение требований к качеству сбрасываемых сточных вод в водные объекты, привели к тому, что в верховьях водотоков, расположенных в верхних частях города, качество воды улучшилось. Однако ниже по течению наблюдалось ухудшение качества воды, в том числе зафиксировано значительно снижение в водотоках растворенного кислорода. Это объяснялось частыми аварийными сбросами сточных вод из городов Мытищи (сейчас входит в состав Московской области) и Бабушкин (город, вошедший в состав Москвы в 60-х годах прошлого века).

Кроме того, по результатам наблюдений неблагополучным была признана в санитарном отношении акватория Южного порта. Именно там происходило накопление органических веществ. Летом при замерах были получены данные о полном отсутствии растворенного кислорода. В донных отложениях происходили анаэробные процессы брожения, что приводило к обогащению воды промежуточными продуктами распада.

На участок реки Москвы от Коломенского до Бесединской плотины поступали большие объемы очищенных сточных вод от очистных сооружений систем водоотведения, где присутствовали растворенные и взвешенные вещества. Также установили, что на участке водотока от Бесединской плотины и до железнодорожной станции Отдых от предприятий и поселков поступала сточная вода. Были найдены загрязнения нефтепродуктами, а также промышленными стоками.

На основании проведенных исследований, выполненных в 50-х годах XX века, были разработаны рекомендации, которые должны были быть способны улучшить качество воды в водных объектах столицы.



Для ликвидации поступления в водные объекты неочищенных сточных вод было принято решение о необходимости возведения Люберецких очистных сооружений с полным комплексом очистки сточных вод и обработки осадка. Стали также активно рассматриваться вопросы, касающиеся планомерной реконструкции и модернизации сетей и сооружений систем водоснабжения и водоотведения [12 – 16].

В качестве рекомендаций было предложено решение по поддержанию в течение всего года, в том числе и во время зимнего периода, максимально возможной величины обводнения реки Москвы. В данном случае предлагали придерживаться в соответствии с проектной мощностью канала значения в 27 м<sup>3</sup>/сек.

Также было предложено проводить ежегодную промывку реки выше Перервы во время весеннего половодья путем осуществления водосброса через плотину. Целесообразным предложением стало реконструкция плотин в нижнем течении реки Москвы для того, чтобы имелась возможность осуществлять ежегодную промывку ложа реки от отложившихся иловых загрязнений.

Вышеперечисленные мониторинги и изыскания на водных объектах города, проведенные после возведения канала имени Москвы, осуществляются и сегодня. Это позволяет следить за объектами водной инфраструктуры и предлагать рациональные решения для улучшения экологического состояния в пределах урбанизированной территории с целью недопущения ухудшения качества воды в водотоках.

#### 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. Орлов Е. В., Квитка Л. А., Синянский И. А. История строительства канала имени Москвы // Журнал исторических исследований. 2018. Т. 3. № 1. С. 25 – 30.
3. 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.
4. Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е. Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.
5. Хургин Р. Е., Кулагина А. С. Современный взгляд на водопотребление городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 62 – 65.
6. Груздев В. С., Груздева Л. П., Синянский И. А. Правовые вопросы сохранения биоразнообразия в Валдайском национальном парке // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2015. № 1 (139). С. 43 – 48.
7. Ильвицкая С. В., Иванов И. Н., Ильина Е. А. и др. Инновации и перспективы развития архитектурной теории и практики. М.: Инфра-М, 2019. 204 с.
8. Ефремов Р. В., Зубарева О. Н., Шипков О. И. К вопросу о снижении капитальных затрат при строительстве систем внутреннего водоснабжения и водоотведения // Системные технологии. 2022. № 1 (42). С. 22 – 26.
9. Залётов С. В., Залётова Н. А. Расширение пределов применения биологической очистки сточных вод // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 27 – 32.

10. Залётова Н. А., Морозова Н. В., Булычев И. О. Изменение во времени приоритетов в технологиях очистки городских сточных вод // Системные технологии. 2018. № 2 (27). С. 89 – 94.
11. Залётова Н. А., Касперович В. Ю. Современные направления очистки высококонцентрированных сточных вод // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 44 – 49.
12. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А., Отставнов А. А. Регламент использования полиэтиленовых труб для реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения. Издательство Миклош. 2007. 264 с.
13. Саломеев В. П., Гогина Е. С., Орлов В. А., Макиша Н. А. Реконструкция систем водоотведения. Издательство МГСУ. 2016. 233 с.
14. Orlov V., Andrianov A. The selection of priority pipe sections for sewer network renovation // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 580 – 583. С. 2398 – 2402.
15. Захаров Ю. С., Орлов В. А. Восстановление водоотводящих сетей полимерными рукавами. Издательство Русайнс. 2017. 108 с.
16. Орлов В. А. Пути обеспечения санитарной надежности водопроводных сетей // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 181 – 187.

---

## THE RESULTS OF OBSERVATIONS ON THE SANITARY CONDITION OF THE WATER BODIES OF THE CAPITAL USED FOR RECEIVING TREATED WASTEWATER AFTER THE CONSTRUCTION OF THE MOSCOW CANAL

I. A. Sinjanskij\*  
V. V. Pimenov\*  
O. A. Stifeeva\*\*

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

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

---

### Abstract

The article discusses issues related to the monitoring of the sanitary condition of Moscow's water bodies used for receiving treated wastewater, which were carried out during the 50s of the last century. Studies have been conducted that confirmed the intensification of anthropogenic human activity on the watercourses of the capital, including an increase in the volume of incoming polluted wastewater. Water bodies were studied not only within the city, but also beyond its borders. Based on the results of the observations and surveys, optimal solutions were proposed, which subsequently made it possible to significantly improve the watercourses within the capital region.

### The Keywords

*wastewater, watercourses,  
wastewater treatment, water  
supply, sanitation, water quality,  
reconstruction*

### Date of receipt in edition

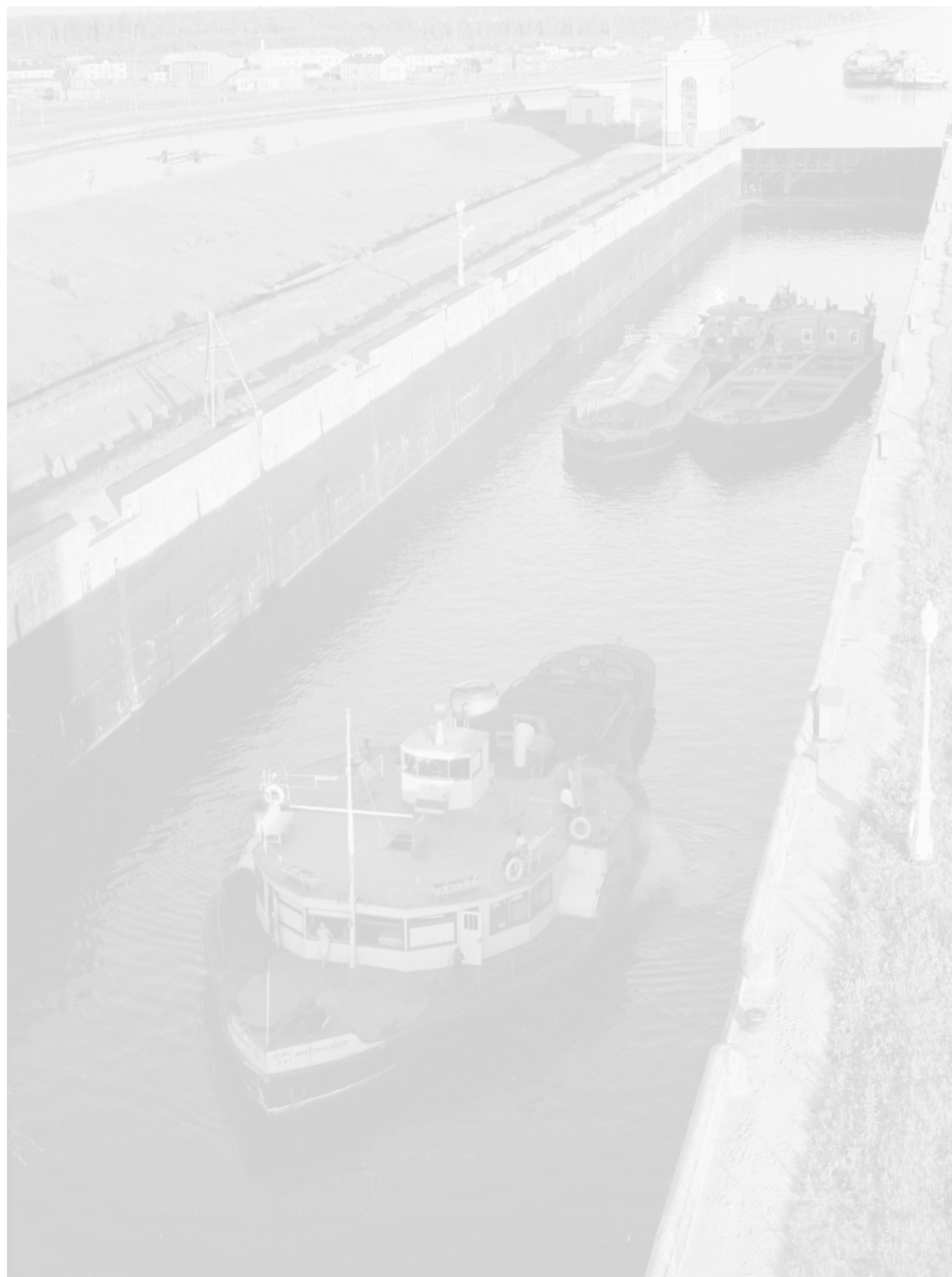
27.02.2024

### Date of acceptance for printing

06.03.2024

**Ссылка для цитирования:**

*И. А. Синянский, В. В. Пименов, О. А. Стифеева.* Результаты наблюдений за санитарным состоянием водных объектов столицы, используемых для приема очищенных сточных вод, после строительства канала имени Москвы. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 138–143.





УДК [316.422.42+72]:72.03(510)“1840/1949”

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_144-151

---

## ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В АРХИТЕКТУРЕ ГУАНЧЖОУ КОЛОНИАЛЬНОГО ПЕРИОДА — С 1840 ПО 1949 ГГ.

**М. А. Гранстрем**  
**Е. Гоюн**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

---

### **Аннотация**

Целью данной работы является анализ прогрессивных тенденций в архитектуре Гуанчжоу колониального периода. Цели исследования включают в себя изучение и анализ важнейших построек, возведенных в Гуанчжоу в период с 1840 по 1949 годы, определяющих характер объемно-пространственной среды города; изучение персональных данных архитекторов, позволяющих выявить истоки их творческих подходов. Методом решения поставленных целей являются натурные обследования, фотофиксация, анализ архивных, картографических, литературных и графических материалов, графоаналитический анализ.

### **Ключевые слова**

*архитектура Гуанчжоу; Китай колониального периода; формирование архитектурно-пространственной среды; прогрессивные тенденции*

**Дата поступления в редакцию**  
05.02.2024

**Дата принятия к печати**  
15.02.2024

---

В период с 1840 по 1949 год Китай переживал колониальный период. До 1840 года, в условиях долговременной политики изоляции, проводимой правительством Цин, связи Китая с внешним миром были весьма ограничены. Гуанчжоу был единственным китайским портовым городом, открытым для прохода иностранных судов, отправной точкой опиумных войн<sup>1</sup>. После 1860 года европейские бизнесмены и миссионеры хлынули в Гуанчжоу, привнеся с собой также и строительную культуру, что оказало большое влияние на развитие градостроительной среды Гуанчжоу. С этого времени архитектура Гуанчжоу начала трансформироваться под сильным влиянием европейских тенденций, что отразилось на кардинальном изменении объемно-пространственной структуры и архитектуры важнейших общественных зданий города.

В Гуанчжоу колониального периода, с одной стороны, строилось большое количество зданий, которые все еще сохраняли облик традиционной архитектуры; с другой стороны, влияние европейской культуры привело к появлению зданий нового типа, построенными с применением современных строительных технологий, на архитектурно-пространственные решения которых оказал технический прогресс.

---

<sup>1</sup> Первая опиумная война — 1840 – 1842 гг., Вторая опиумная война — 1856 – 1860 гг.



В ранний колониальный период здания, возведенные в традициях европейской архитектуры, возникали в Гуанчжоу в контексте взаимодействия по двум основным направлениям — церковному и торговому. Западные миссионеры, торговцы и промышленники представляли в Гуанчжоу религиозные, военные и торговые интересы. В это время строительство велось достаточно активно и этот процесс можно охарактеризовать как определенное соперничество различных стилей. Все здания, выстроенные в Гуанчжоу в ранний колониальный период, были спроектированы и построены иностранцами; они разрабатывались в соответствии с западными объемно-пространственными моделями, фасады оформлялись, в основном, в стилистике неоклассики, неоренессанса и неоготики. Архитектура Гуанчжоу развивалась и эволюционировала под влиянием иностранной архитектурной культуры — в строительстве применялись современные европейские технологии.

В Китае феодального периода европейские церкви не могли получить такого влияния, какое они приобрели после опиумных войн, когда был отменен запрет на миссионерскую деятельность. Гуанчжоу стал южной базой христианской церкви; здесь были построены храмы, приходские школы, больницы и другие церковные здания. На раннем этапе колонизации, в 1863 году, в Гуанчжоу была возведена самая большая католическая церковь в истории Китая — собор Святого Сердца (местное название — Каменные палаты). Собор был построен французским архитектором Леоном Ваутрином при финансовой поддержке Наполеона III и на добровольные пожертвования французских католиков. Собор стал ключевым строительным проектом ранней католической церкви в Китае под патронажем епископа Гиллемина (Рис. 1). Это сооружение явилось первой важной доминантой Гуанчжоу, построенной в традициях европейской архитектуры.

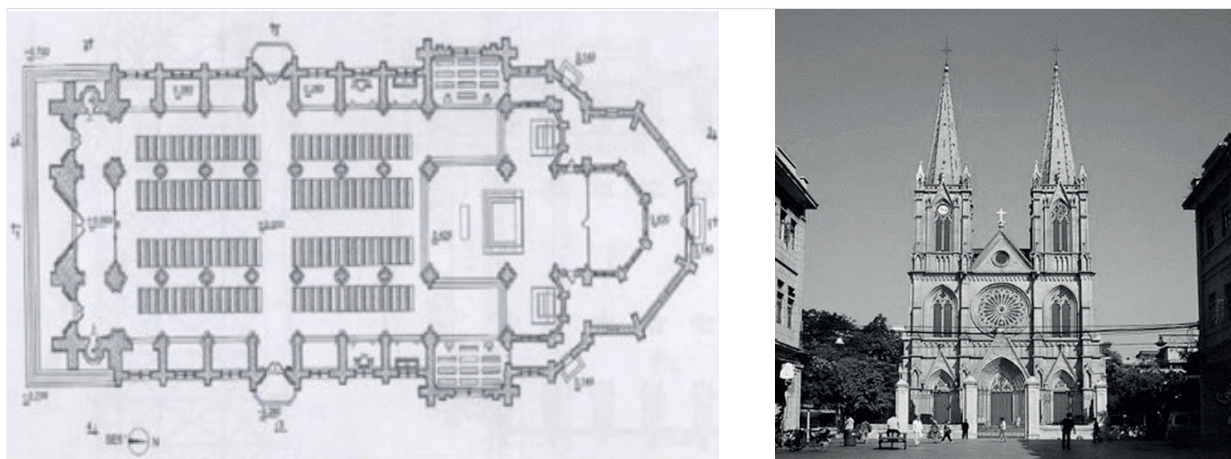


Рис. 1. Культовые здания. Собор Святого Сердца. Архитектор Леон Ваутрин, 1863 г.

После опиумных войн Ша Миан был выбран в качестве места для новой торговой зоны, и первые годы существования концессии Ша Миан были периодом концентрированного строительства зданий в колониальном стиле. Архитектура неоклассицизма и эклектики была превнесена в район концессии Ша Миан европейскими профессиональными архитекторами, а затем распространилась и за ее пределы. В этот период в Гуанчжоу был построен ряд зданий, включая Таможенный дом Гуандуна (Рис. 2), здание Почтамта и Банка Гуандуна.

Период с 1911 по 1937 годы (период между падением династии Цин и началом войны сопротивления против Японии) был расцветом европейского влияния на архитектуру Гуанчжоу. На этом этапе прогресс ускорился, зона влияния расширилась и переместилась из Гуанчжоу в близлежащие города.

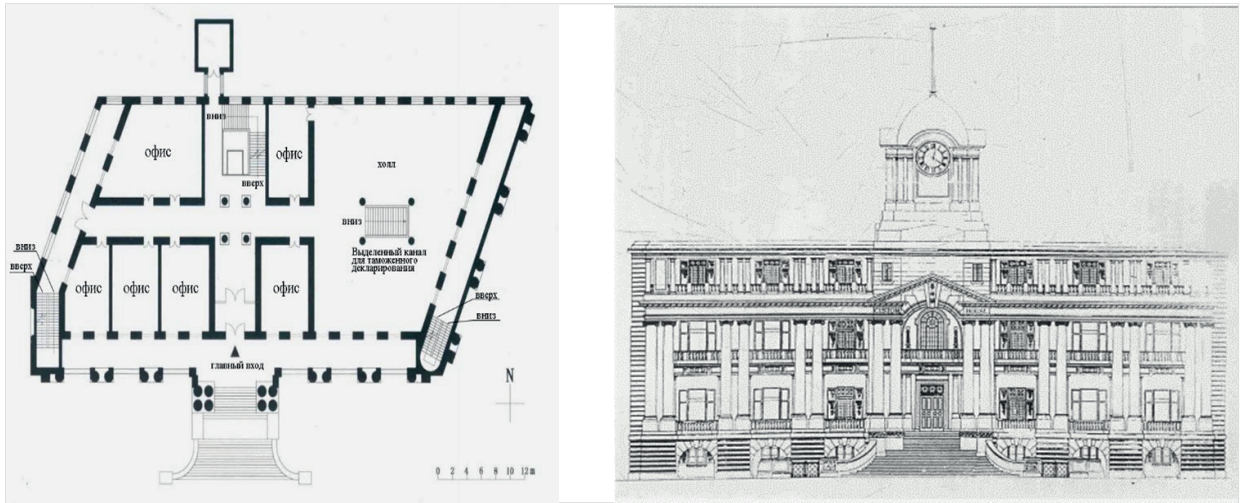


Рис. 2. Административные здания. Бывшее здание Гуандунской таможни, 1916 г. Архитектор: Арнотт, Давиде Дик (Великобритания), 1916 г.

До 1920-х гг. большинство архитекторов, практиковавших в Гуанчжоу, составляли иностранцы из Европы, причем наибольшая доля приходилась на Францию и Великобританию. После 1920-х годов основной состав архитекторов в Гуанчжоу изменился. Появилось новое поколение проектировщиков; знания о европейской архитектуре они приобрели во время учебы и практики в Европе и Америке. Если обратиться к личностям архитекторов, работающих в Гуанчжоу в поздний колониальный период, можно проследить, где обучалось новое поколение китайских архитекторов и какие европейские тенденции они впоследствии привнесли в свое творчество на родине:

- архитектор Ло Мингю изучал архитектуру в Массачусетском технологическом институте в США с 1932 по 1934 год. В 1934 году начал работать архитектором в Гуанчжоу
- проект общественного дома Чэнь Цзитан, (Рис. 3).

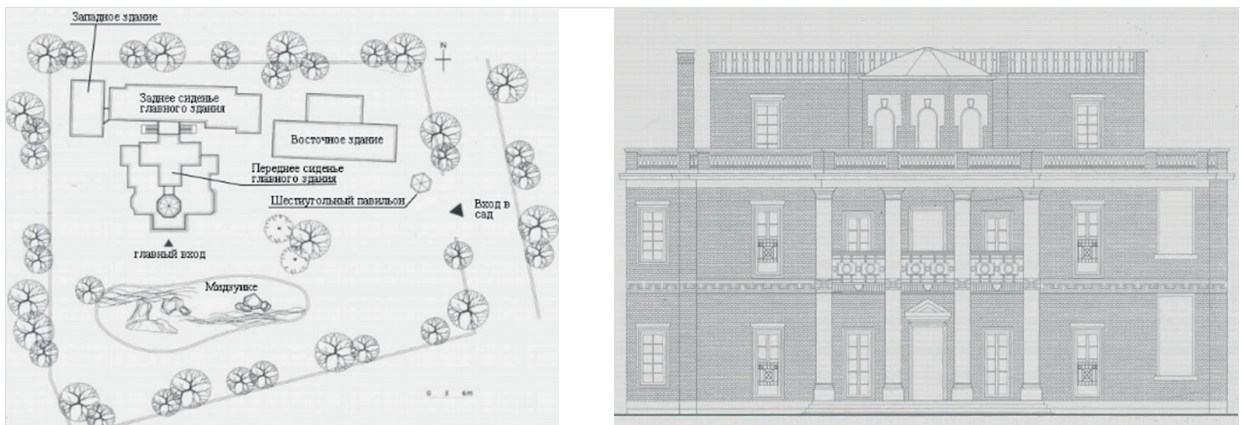


Рис. 3. Жилые здания. Общественный дом Чэнь Цзитан. Время постройки: 1930 год. Архитектор Ло Мингю (Сияние Луо Мина), 1930 г.

- архитектор Арнотт, Давиде Дик. Жил и работал в Китае, изучал архитектуру в Великобритании — проект здания Гуандунской таможни в Гуанчжоу.



- архитектор Линь Кеминг. В 1920–1926 годах Линь Кеминг изучал архитектуру в Школе архитектурного проектирования в Лионе, а после завершения учебы практиковал в Гуанчжоу (особняк Наньфан).
- архитектор Леон Ваутрин, построивший упомянутый выше собор Святого Сердца, работал и жил в Китае, изучал архитектуру во Франции в 1930-е годы.
- архитектор Ян Сицзун с 1913 по 1918 годы изучал архитектуру в Корнеллском университете. Начал работать архитектором в Гуанчжоу сразу после возвращения из США, в 1918 году. В 1929 году им был построен «мемориальный зал зарубежных китайцев» (средняя школа Пуи Чинг) (Рис. 4).

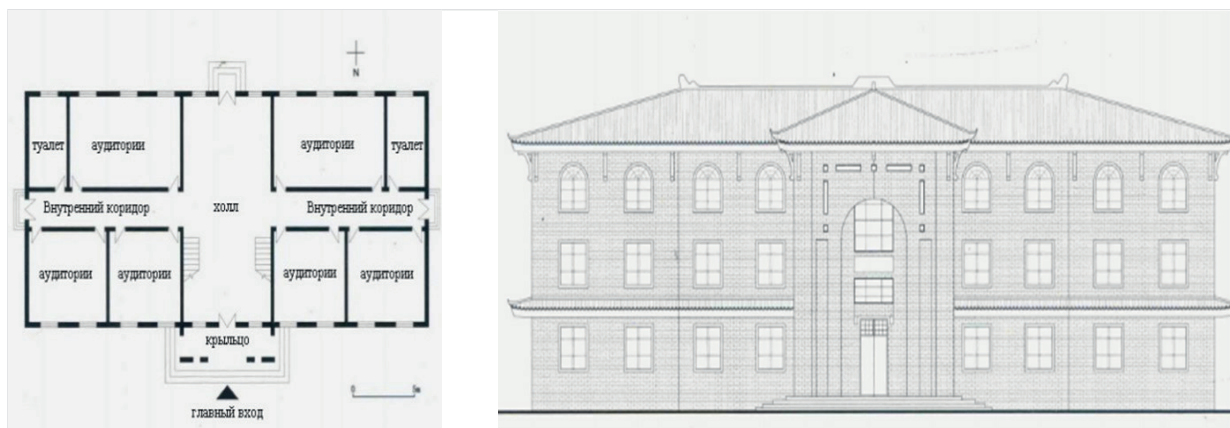


Рис. 4. Здания культурно-образовательного назначения. Средняя школа Пуи Чинг. Архитектор: Ян Сицзун, 1929 г.

- архитектор Хуан Юйю в 1925 году окончил Массачусетский технологический институт получив степень бакалавра архитектуры. С 1925 по 1929 г. работал архитектором в Соединенных Штатах. В 1929 году вернулся в Китай и практиковал в Нанкине до 1938 г. С сентября 1938 года начал проектировать в Гуанчжоу, где им была построена больница Сунь Ятсена (Рис. 5).

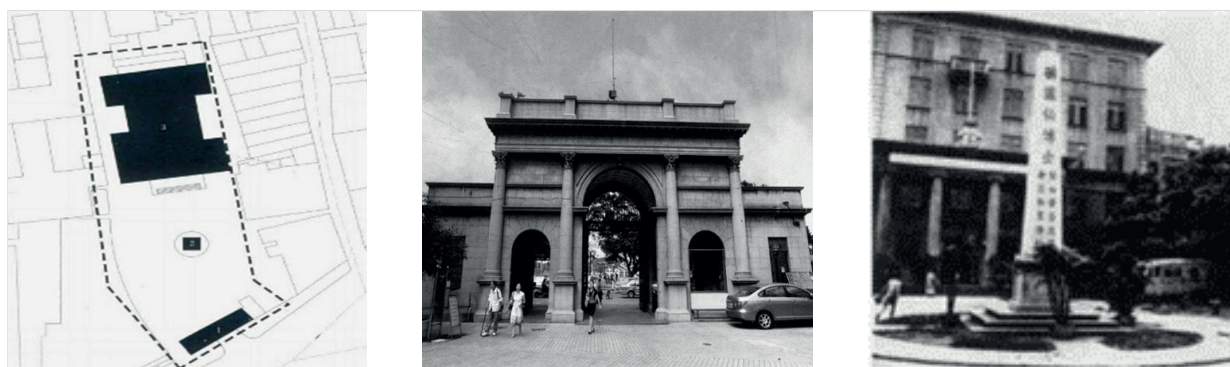


Рис. 5. Лечебные учреждения. Больница Сунь Ятсена. Входная арка и здание больницы со стелой. Архитектор Хуан Юйю, 1935 г.

- архитектор Го Юаньси также получил образование в США. В 1929 году он окончил Пенсильванский университет со степенью бакалавра архитектуры, а в 1930 году получил степень маги-

стра в Массачусетском технологическом институте. В 1930–1935 гг. получил опыт практической деятельности, работая в США. В 1935 году вернулся в Китай, получив должность профессора кафедры архитектуры Южно-Китайского технологического университета, продолжая быть практикующим архитектором. В Гуанчжоу в 1947 году построил Новое кладбище Первой армии Индии и Бирмы для павших солдат (Рис. 6).

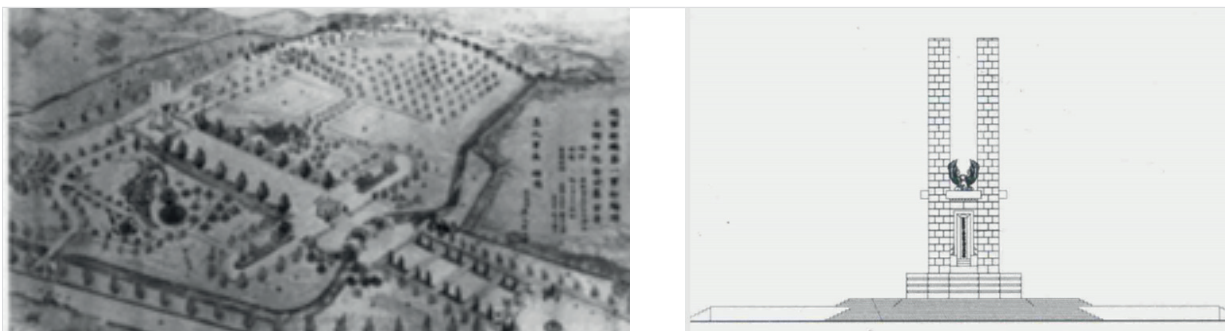


Рис. 6. Мемориальные здания. Новое кладбище Первой армии Индии и Бирмы для павших солдат. Архитектор Го Юаньси, 1947 г.

- архитектор Линь Кемин, проектирующий в Гуанчжоу, получил традиционное французское архитектурное образование во Франции, в Лионской архитектурно-инженерной школе. Вернувшись в Гуанчжоу, он спроектировал особняк Наньфан, построенный в стиле эклектики и библиотеку Чжуншань, представляющую собой сочетание приемов европейской архитектуры с традиционными китайскими приемами.

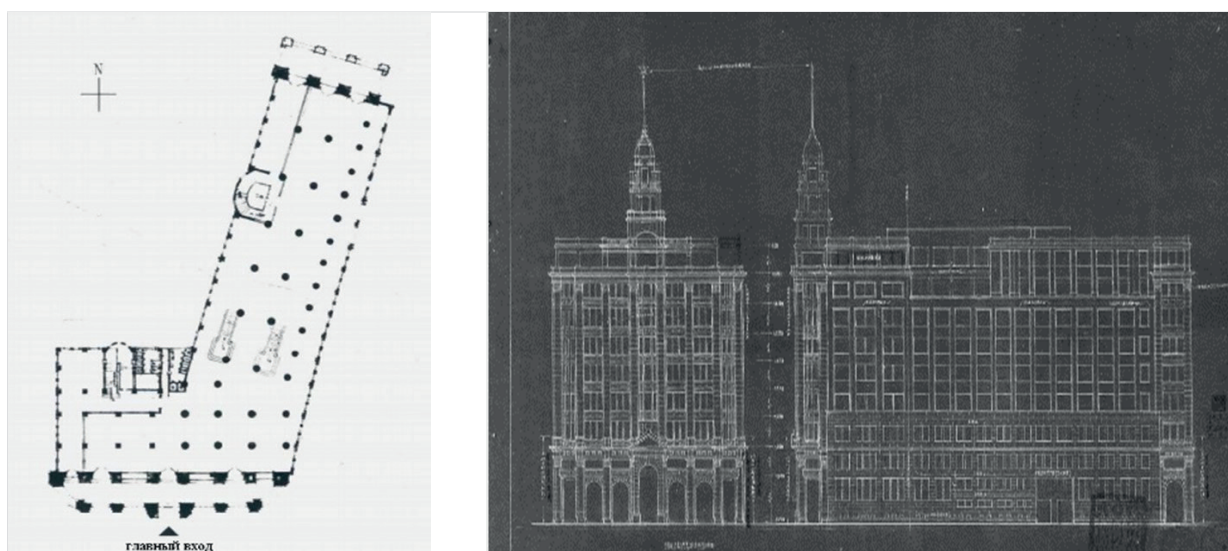


Рис. 7. Коммерческие здания: торговый дом. Архитектор Линь Кемин, 1922 г.





Рис. 8. Концессионные здания. Новое американское консульство. Архитектор неизвестен, 1940 г.

Постепенно местные архитекторы стали доминировать на строительном рынке Гуанчжоу. Это было вызвано тем, что в 1930-е годы на авансцену вышло первое поколение китайских архитекторов, учившихся в Европе и США и получивших традиционное европейское архитектурное образование. В то же время они стали той важной силой, которая сознательно восприняла европейскую культуру и способствовала развитию китайской архитектуры в колониальном Китае.

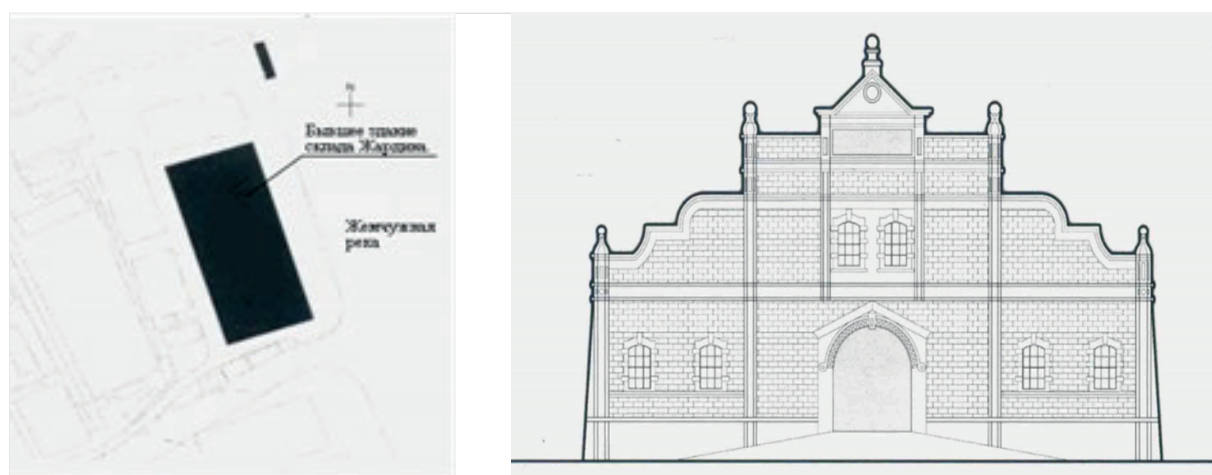


Рис. 9. Промышленные здания. Склад Жардина, Berger & Co (США), 1911 – 1949 гг.

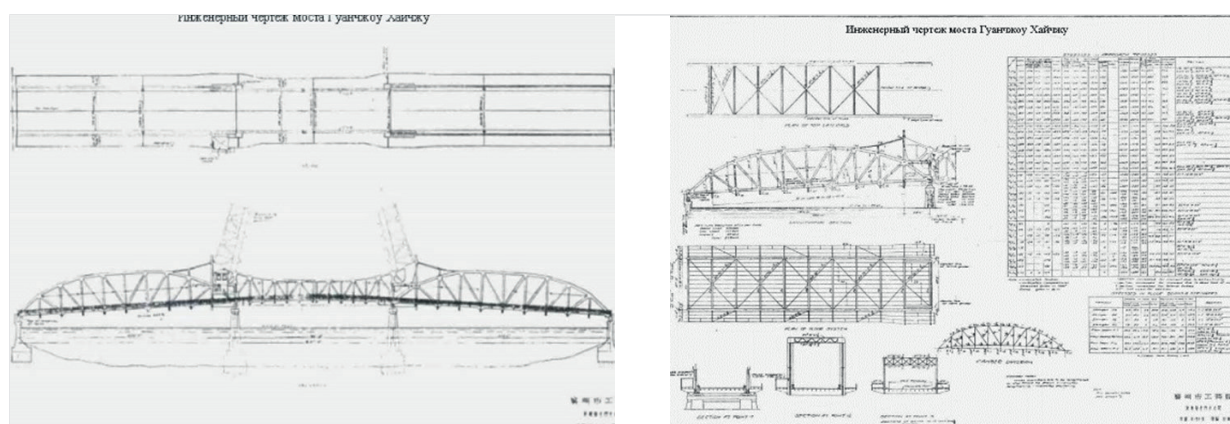


Рис. 10. Мост Хайчжоу, Sims & Company (США), 1933 г.

## Выводы

После Опиумной войны (1840) в Гуанчжоу начался колониальный период, вызвавший приток европейской архитектурной культуры и строительных технологий. Постепенно Гуанчжоу стал важнейшим местом интеграции европейских прогрессивных тенденций в традиционную архитектуру Китая, центром сближения китайской и европейской архитектурно-строительной культуры. Это повлияло на процесс стремительной урбанизации Гуанчжоу, на возникновение в городе множества зданий новых типов.

Помимо жилых зданий, в это в этот период возводились объекты самого разного назначения — административные здания, банки, представительства коммерческих организаций и страховых обществ (Рис. 7); культовые постройки различных конфессий, здания культурно-образовательного назначения; лечебные учреждения; концессионные здания (Рис. 8); промышленные объекты различных типов, обусловленных спецификой конкретных отраслей (Рис. 9); объекты инженерной инфраструктуры (Рис. 10); мемориальные объекты.

Западные архитекторы, прибывшие в Гуанчжоу по торговым и миссионерским каналам, отдавали предпочтение неороманскому стилю, неоготике и неоклассицизму; достаточно часто встречаются постройки в стилистике эклектики, неоренессанса и необарокко.

Молодые китайские архитекторы, получившие образование в Европе и США, сыграли на этом этапе важную роль, применяя, наравне с прогрессивными европейскими тенденциями, приемы народной китайской архитектуры и придавая им новое звучание.

## Библиографический список

1. Шевченко М. Ю. История архитектуры и градостроительства Китая [М]. Москва, Издательство Архитектура-С, 2019.
2. Ян Бингдэ. История сближения китайской и западной архитектурных культур в современном Китае [М]. Ухань: Хубэйское образование, 2003.
3. У Цинчжоу. Философия архитектуры, мастерства и культуры [М]. Пекин: Пресса строительной отрасли Китая, 2005.
4. Чжан Кайюань. Распространение и укоренение — сборник эссе о христианстве и культурном обмене между Китаем и Западом [М]. Гуанчжоу: Гуандунское народное издательство, 2005.
5. Laidlin. Исследования по истории современной китайской архитектуры [М]. Пекин: Издательство Университета Цинхуа, 2007.
6. Ян Бингдэ, Цай Мэн. История современной китайской архитектуры [М]. Пекин: Пресса машиностроительной промышленности, 2004.
7. Ван Чжэньфу. Культурная история китайской архитектуры [М]. Шанхай: Шанхайское народное издательство, 2000.
8. Лю Шэньи, Сун Дэхуа. История современных зарубежных культурных обменов Линнаня, Гуанчжоу: Народное издательство Гуандуна, 1996.
9. Донг Ли. Современная церковная архитектура в Линнане [М], Пекин: China Architecture Industry Press, 2005.
10. Пэн Чансинь. Известные современные архитекторы Линнань [М], Гуанчжоу: Народное издательство Гуандуна, 2005.

11. Чжан Фужуй, М. С. Ивина. Тенденции развития современных фермерских рынков. Системные технологии. — 2023. — № 2 (47). — С. 222 – 232. [https://thesystemtechnologies.com/wp-content/uploads/2023/05/2\\_47\\_2023-2-1.pdf](https://thesystemtechnologies.com/wp-content/uploads/2023/05/2_47_2023-2-1.pdf)

12. Ван Яцзин, Н. С. Калинина. Применение BIM технологии в проектировании «зеленых» зданий. — Системные технологии. — 2023. — № 1 (46). — С. 198 – 207. [https://thesystemtechnologies.com/wp-content/uploads/2023/03/1\\_46\\_2023-1.pdf](https://thesystemtechnologies.com/wp-content/uploads/2023/03/1_46_2023-1.pdf)

---

## PROGRESSIVE TRENDS IN GUANGZHOU ARCHITECTURE OF THE COLONIAL PERIOD — FROM 1840 TO 1949

M. A. Granstrem  
Ye. Guoyong

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg

---

### Abstract

The purpose of this work is to analyze and determine the characteristics of progressive trends in the architecture of Guangzhou during the colonial period. The objectives of the study include identifying the structure of progressive trends in the architecture of Guangzhou, determining the features of its development and evolution. The method for solving the goals and objectives set in the article is the analysis of archival, cartographic, literary and graphic materials, as well as field survey materials.

### The Keywords

*architecture of Guangzhou; colonial period in China; progressive trends in architecture*

### Date of receipt in edition

05.02.2024

### Date of acceptance for printing

15.02.2024

---

### Ссылка для цитирования:

М. А. Гранстрем, Е. Гоюн. Прогрессивные тенденции в архитектуре Гуанчжоу колониального периода — с 1840 по 1949 гг. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 144 – 151.



УДК 728.1.012

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_152-161

---

## ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ АКТИВИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ И АКВАТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ПОЛУОСТРОВА ЗИЛ В ГОРОДЕ МОСКВЕ)

И. В. Дёма

Л. В. Петрова

Государственный университет по землеустройству, г. Москва

---

### Аннотация

В статье рассматривается организация объемно-пространственной композиции жилых комплексов на прибрежной территории Москвы-реки с позиции активизации взаимодействия прибрежной территории и акватории на примере полуострова ЗИЛ. Особое внимание уделено влиянию разных подходов к формированию застройки прибрежной городской среды и решений при организации территорий ЗИЛ-севера и ЗИЛ-юга, разделенных между собой проспектом Лихачева. Каждый подход направлен на решение ряда архитектурных задач (формирование речного фасада, организацию общественных функций вдоль набережной, разделение городских общественных и полуприватных пространств, формирование проницаемой прибрежной среды) в комплексе застройка территорий ЗИЛ-север и ЗИЛ-юг формирует качественно разные городские пространства. Выявлены проектные решения, направленные на активизацию прибрежной территории, способствующие формированию комфортной городской среды и организации глубинных связей застройки и акватории.

### Ключевые слова

*прибрежные территории, жилой комплекс, активизация визуальных связей*

### Дата поступления в редакцию

05.02.2024

### Дата принятия к печати

15.02.2024

---

### Введение

Особенно ценными на прибрежных территориях во все времена считались объекты недвижимости, имеющие виды на акваторию. Поэтому первая линия застройки всегда была востребована.

В современной архитектурно-градостроительной практике прослеживается тенденция увеличения контакта линий застройки с акваторией. Наиболее востребованы для ее реализации подходы, направленные на повышение проницаемости и организацию «пористости» городской ткани [1, 2]. Существует множество приемов, позволяющих раскрыть потенциал прибрежной территории в этом ракурсе. Большинство из них направлены на постановку зданий и формирование системы улиц и рекреационных пространств в градостроительном аспекте, организацию объемно-пространственной композиции группы зданий и планировочных решений квартир, направленных на увеличение количества помещений, имеющих обращенность к акватории, пластическую



детализацию фасадов. В совокупности группы приемов комплексно воздействуют на создаваемую прибрежную среду.

В период индустриализации большие по площади и протяженности прибрежные территории были задействованы под промышленные комплексы. Сейчас, при выводе предприятий с прибрежных территорий, бывшие промышленные зоны активно застраиваются. В частности, полуостров ЗиЛ в Даниловском районе Москвы представляет интерес в рассматриваемом ракурсе, так как является знаковым объектом, включенным в состав территорий комплексного развития [3]. Территория бывшего завода, занимавшего большую часть полуострова, представляла масштабную промышленную зону и полностью отрезала доступ к набережной Москвы-реки. Для поиска лучшей концепции развития территории был организован международный конкурс, в котором приняли участие отечественные и зарубежные эксперты и проектные команды в области градостроительства, урбанистики и архитектуры. Проекты финалистов с разных сторон затрагивали тему необходимости раскрытия рекреационного потенциала Москвы-реки и предлагали разные сценарии взаимодействия с ней, которые были направлены на раскрытие акватории для города [4, 5]. В ходе подготовки проекта планировки территории (далее по тексту — ППТ) конкурсные предложения претерпели радикальные изменения. Например, не удалось сохранить объекты архитектуры завода ЗиЛ [6–8].

На примере жилых комплексов (далее по тексту — ЖК) южной и северной частей полуострова ЗиЛ рассмотрены постановка зданий относительно акватории, объемно-пространственная композиция с позиции активизации взаимодействия глубинной застройки прибрежной территории с акваторией. В статье представлен анализ проектов, которые в настоящее время реализованы или находятся на стадии завершения строительства.

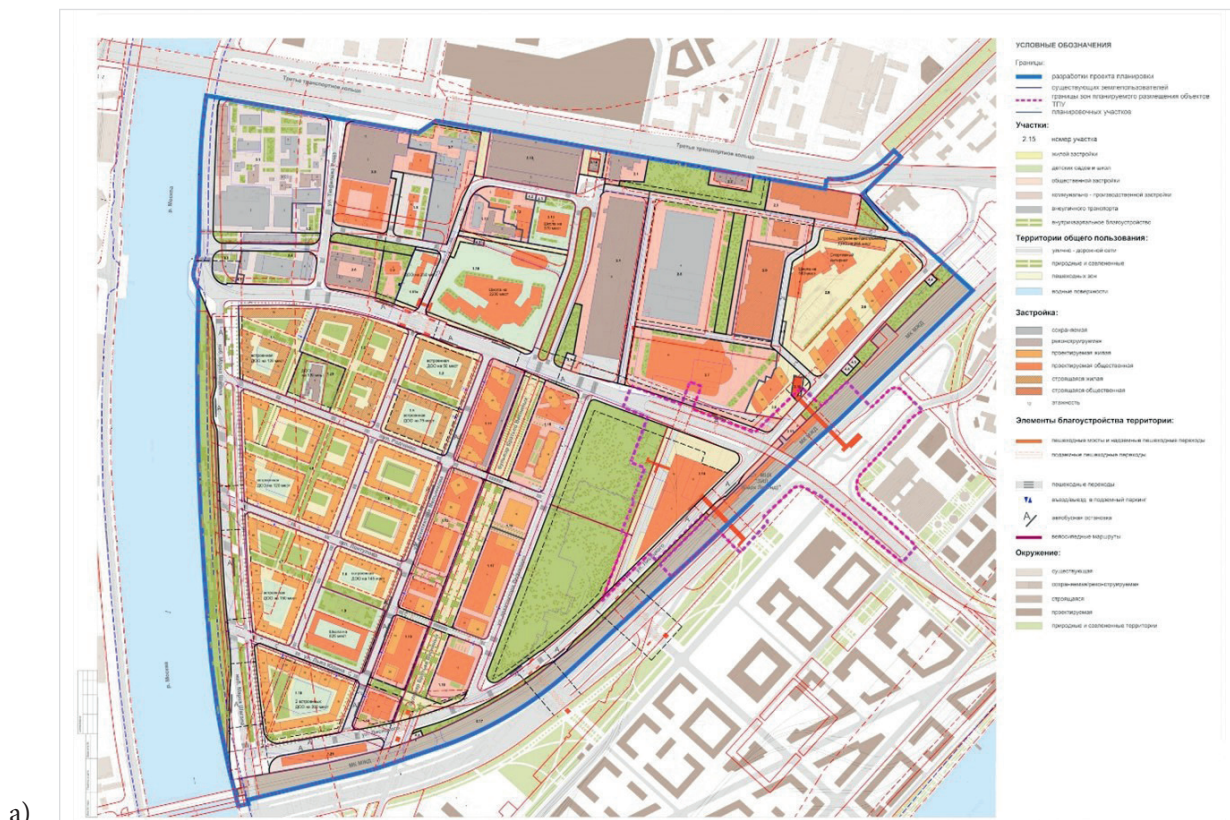
Методика исследования опиралась на изучение эффективности контакта застройки с акваторией, изучение нормативных и проектных материалов по этому вопросу. Проводилось натурное обследование территории полуострова и анализ формирования концепций жилых комплексов застройки рассматриваемой прибрежной территории.

## Основная часть

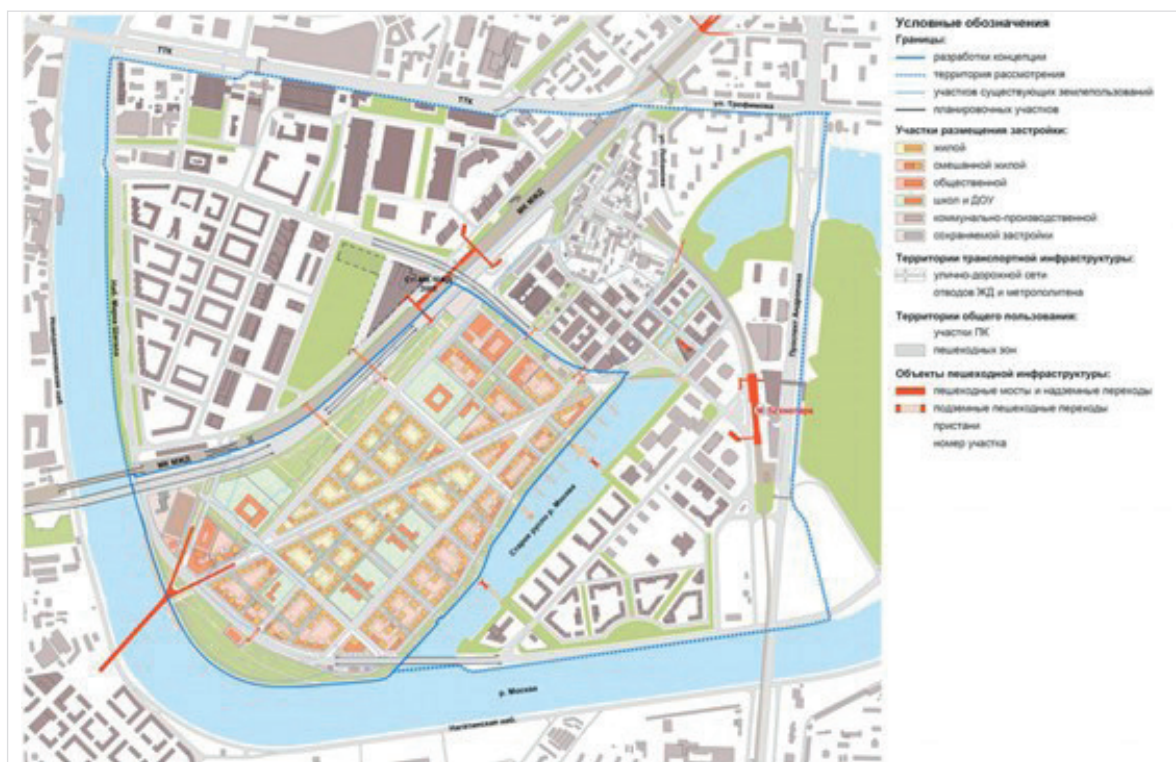
### *Планировочные решения, направленные на активизацию прибрежной территории полуострова ЗиЛ*

Вединой концепции развития полуострова ЗиЛ, согласно разработанным и утвержденным ППТ НИ и ПИ «Генерального плана Москвы», плотность застройки изначально повышалась по периметру обеих территорий ЗиЛ-севера и ЗиЛ-юга. Были заданы небольшие размеры кварталов в пределах 85 – 100 метров — в таких пространствах создается более комфортная среда для пешеходного и автомобильного перемещения. Сгруппированные по 4 квартала формируют городское общественное пространство снаружи и приватное для жителей внутри группы. Проектом также предусмотрено насыщение первых этажей зданий главными улиц общественными функциями. Широкие улицы и бульвары застройки увеличивают проницаемость прибрежной территории и обеспечивают степень вовлеченности в прибрежную среду глубинных линий застройки [9–12] (Рис. 1).

Обращенность на акваторию достигается с запада на восток, поэтому основная ориентация застройки позволяет достигнуть и максимальной обращенности зданий на акваторию, и обеспеченности солнечным светом.



а)



б)

**Рис. 1.** Проектом планировки территории утверждена планировочная структура — квартальная застройка с улицами и бульварами, примыкающими к реке. Задана этажность, повышающаяся по периметру застройки в границах разработки ППТ и вдоль центральных бульваров.

а) Проект планировки территории ЗиЛ-север. Режим доступа: [https://genplanmos.ru/project/zil\\_sever/](https://genplanmos.ru/project/zil_sever/)

б) Проект планировки территории ЗиЛ-юг. Режим доступа: [https://genplanmos.ru/project/zil\\_yug/](https://genplanmos.ru/project/zil_yug/)



Жилая застройка первой линии ЗиЛ-севера размещена на расстоянии 85–100 м от уреза воды. Это способствует смягчению действий зимних ветров со стороны акватории. Разрыв между рекой и застройкой представлен прогулочной набережной и разделяющей ее от ЖК проезжей частью дороги.

Жилая застройка первой линии ЗиЛ-юга размещена на большем расстоянии — 100–200 м от уреза воды. Она также отделена от рекреационной территории проезжей частью дороги, но представлена прогулочной набережной и обширной территорией городского парка имени Марка Шагала.

На этапе перехода проектов к девелоперам территория ЗиЛ-севера развивается в концепции ППТ, а в проект ЗиЛ-юга вносятся принципиальные изменения, что может подтверждать экономическую выгоду и заинтересованность инвесторов в увеличении зоны вовлечения к прибрежной территории к акватории.

*Объемно-пространственные решения, направленные на активизацию прибрежной территории части полуострова ЗиЛ–ЗиЛ-север*

Подход к организации застройки прибрежной территории ЗиЛ-север: кварталы с высокой этажностью вдоль береговой линии с чередованием сплошных и разомкнутых фасадов, расположенных вдоль береговой линии. Кварталы с разрывами между корпусами возвышаются над стилобатом, формирующим сплошной фронт застройки вдоль улицы [13] (Рис. 2).

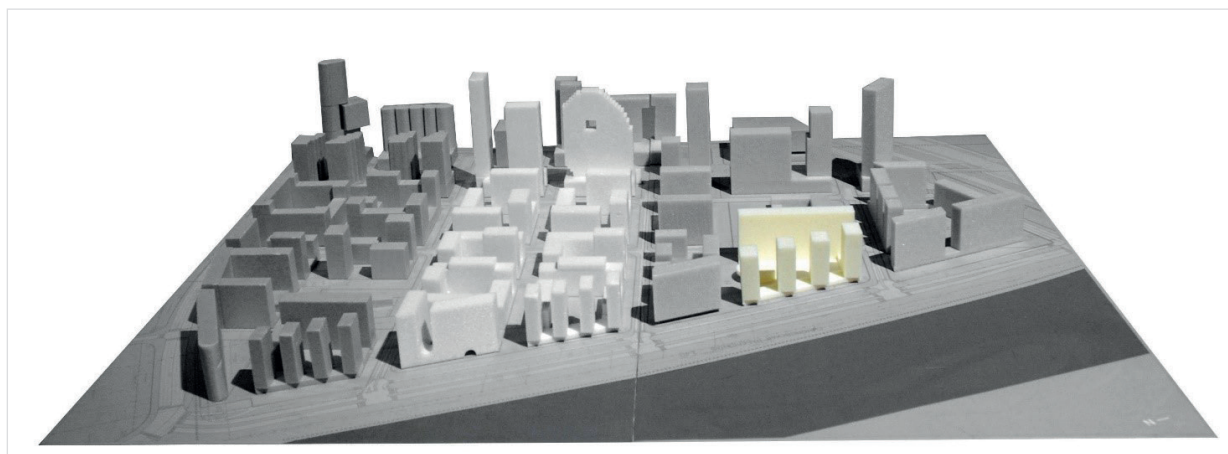
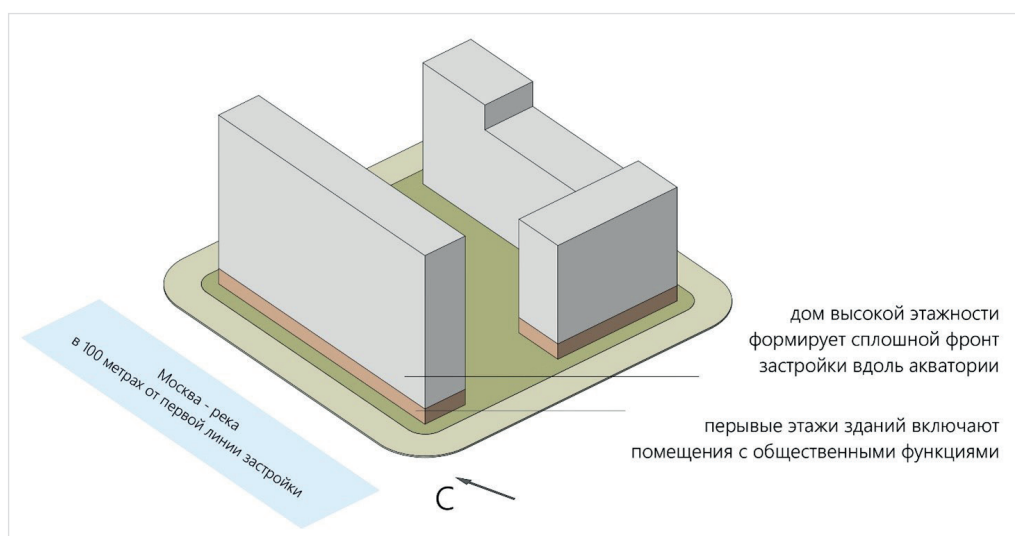


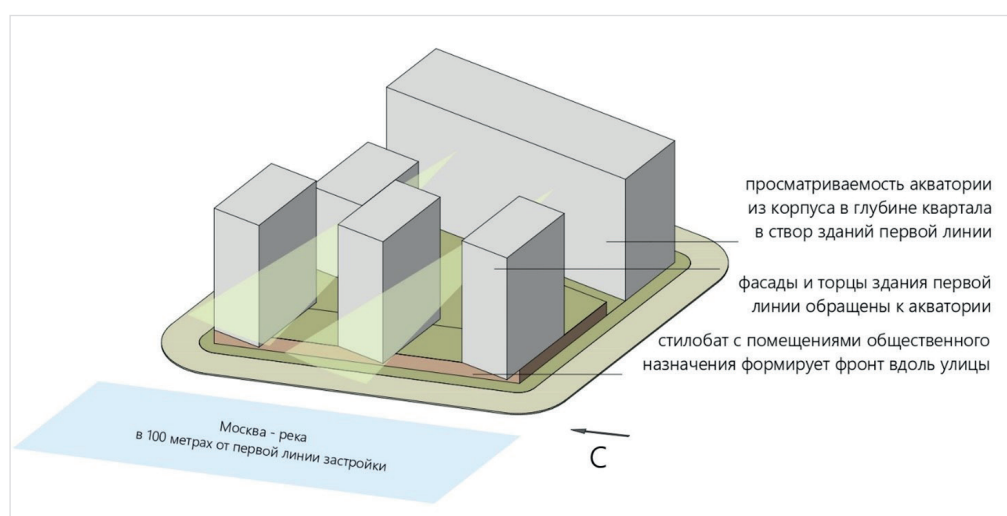
Рис. 2. Речной фасад сформирован кварталами с высокой этажностью вдоль первой линии застройки с чередованием сплошных и разомкнутых фасадов. Режим доступа: <https://www.skuratov-arch.ru/en/portfolio/zilart-lot-25/>

При формировании кварталов со сплошным фронтом застройки и высокой этажностью обращенность к акватории организовывается только у зданий первой линии застройки, возможна организация обращенности к акватории из помещений зданий, расположенных вдоль широких бульваров и улиц [14] (Рис. 3).



**Рис. 3.** Сплошной фронт застройки квартала вдоль первой линии исключает просматриваемость акватории в глубине застройки, возможна организация обращенности к акватории из зданий квартала, расположенных вдоль широких бульваров и улиц.

При организации кварталов с разреженным фронтом вдоль береговой линии с разрывами между корпусами просматриваемость акватории будет увеличена как для корпусов первой линии, так и для домов в глубине квартала. Коммерческие помещения, размещенные на первых этажах жилых корпусов, имеют изолированные от жилых функций входы по периметру квартала, а входы в подъезды жилых корпусов осуществляются со двора. Тем самым организовывается разделение потоков людей. Окна обращены по принципу так называемого «открытого квартала» [14] к реке и паркам, однако по факту часть корпусов первой линии застройки расположена на небольшом расстоянии, и окна большого количества квартир взаимно смотрят друг на друга [15, 16] (**Рис. 4**).



**Рис. 4.** Квартал организован по принципу «открытого квартала». Просматриваемость акватории из квартир жилых корпусов, расположенных в глубине квартала, в створы застройки первой линии. Квартал представлен многоэтажными объемами зданий с «пористой» структурой, представленной разрывами между корпусами, объединенными стилобатом. Объемы корпусов первой линии консольно выступают перед стилобатом, формируя ступенчатую структуру фасада со стороны акватории

*Объемно-пространственные решения, направленные на активизацию прибрежной территории части полуострова ЗиЛ – Зил-юг*

Для территории ЗиЛ-юг застройка организована вдоль береговой линии по принципу «Речных кварталов» [17, 18]. Объемно-пространственное решение такой застройки заключается в сочетании террасированных домов с понижающейся к реке этажностью на первой линии, с высотной застройкой башенного типа, таунхаусами и домами средней этажности на последующих линиях. Понижение этажности застройки с приближением акватории формирует ее ступенчатый силуэт и способствует связи застройки, расположенной в глубине прибрежной территории, с акваторией (Рис. 5).

Общественная инфраструктура размещена на первых этажах зданий комплексов, выходящих на оживленные пешеходные бульвары, в то время как дворовое пространство изолировано от посторонних.

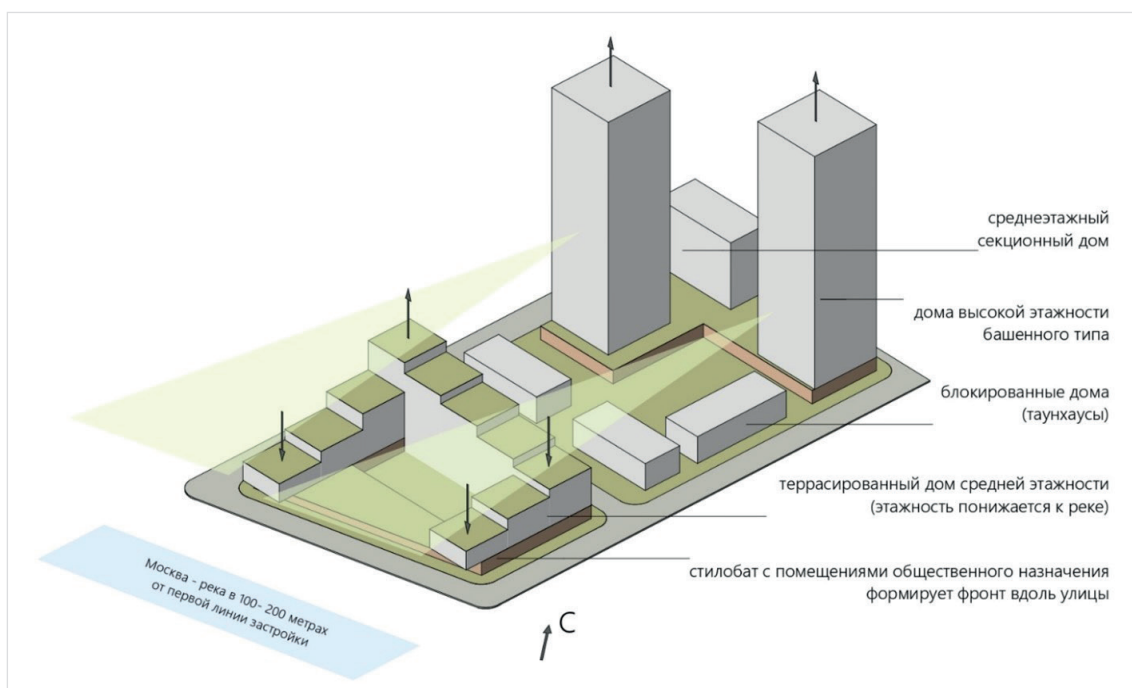


Рис. 5. «Речные кварталы» (выделены контрастным цветом) территории ЗиЛ-юга, представлены застройкой, понижающейся с приближением к акватории. На трехмерной модели прослеживается, что высотные доминанты равномерно распределены вдоль береговой линии в глубине «речных кварталов». Режим доступа: <https://archi.ru/russia/88188/prekrasnyi-zil-otchet-o-neformalnom-arkhsovete>

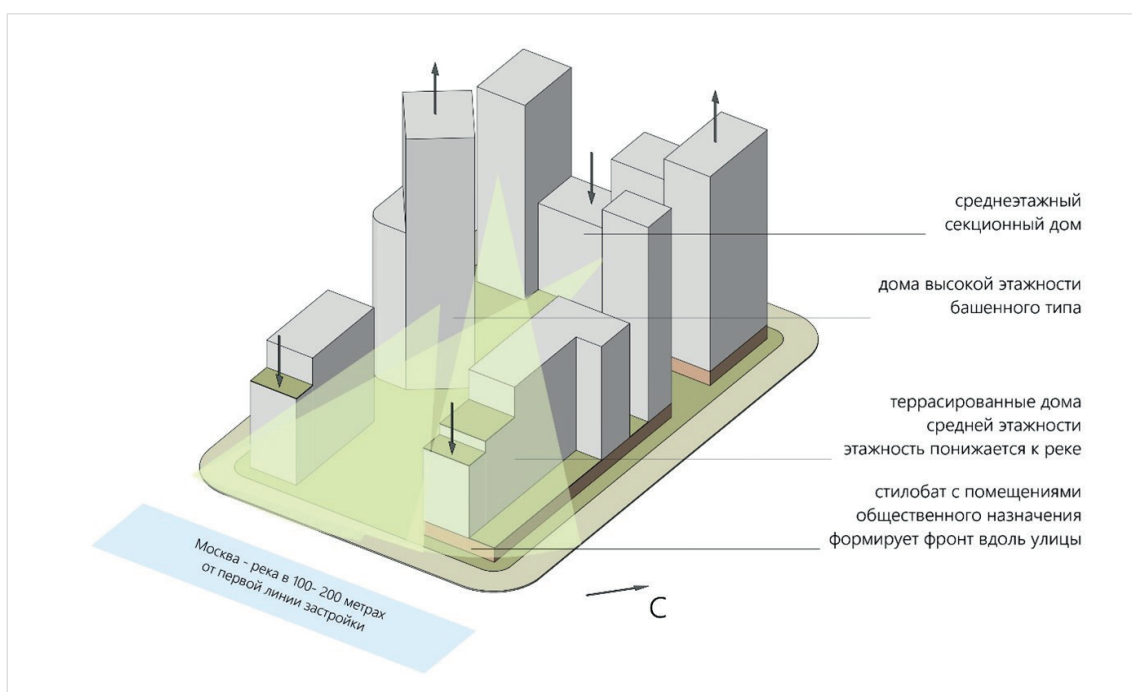
Идея застройки двух первых кварталов, послужившая основой для последующей работы над другими жилыми комплексами территории полуострова ЗиЛ-юг, заключалась в возможности сформировать вид на акваторию у зданий не только первой линии, но и расположенных удаленно от нее. Такие кварталы организованы с полным отказом от сплошного фронта застройки вдоль реки, параметры которого были заданы в ППТ.

Первый квартал представлен в виде разомкнутого квартала на стилобате (Рис. 6), второй — строчной застройкой, расположенной перпендикулярно по отношению к реке (Рис. 7). Это позволяет организовать условия для максимальной инсоляции зданий и пространств между ними, способствует улучшению аэрации и проветривания внутреннего пространства жилых кварталов в летнее время и сокращению теплопотерь жилых зданий в зимнее время в результате воздействия холодных ветров со стороны акватории. Озеленение придомовых пространств и террасированные крыши с зимними садами усиливают природные черты прибрежной территории [19].





**Рис. 6.** Модель «речного квартала» сочетает разные морфотипы застройки. Объемно-пространственные решения представлены разомкнутым со стороны набережной кварталами, этажность которых повышается с отдалением от акватории, перепады уровней организованы в виде террасированных крыш с озеленением



**Рис. 7.** Модель «речного квартала» размещенного вдоль старого русла реки. Объемно-пространственное решение представлено срубной застройкой, расположенной перпендикулярно по отношению к реке, этажность которой повышается с отдалением от акватории, перепады уровней организованы в виде террасированных крыш с озеленением. Просматриваемость акватории не только из глубины квартала, но и из зданий последующих кварталов

### Заключение

В статье рассмотрены два разных подхода к организации застройки ЗИЛ-севера и ЗИЛ-юга, так как эти примеры являются наглядными для взаимного сравнения решений ЖК в рамках анализа опыта, рассмотренного в парадигме тенденций «пористости» и проницаемости прибрежных территорий:

- Первый подход, реализованный на территории ЗИЛ-севера, имеет более высокую плотность и этажность застройки вдоль береговой линии для формирования сплошного речного фронта, способствует организации первой линии застройки с видовыми квартирами. Застройка из глубины «открытого квартала» имеет ограниченную просматриваемость акватории в створы впереди стоящих зданий. Первые этажи зданий, выходящих на центральные улицы и набережную, включают помещения коммерческого назначения, технические и нежилые помещения жилой части зданий.
- Второй подход, примененный в застройке кварталов ЗИЛ-юга, предусматривает расположение зданий первой линии не фронтально, а под углом к акватории. Понижение этажности к реке, формирует комфортную городскую среду вдоль набережной и предлагает разнообразие морфотипов застройки. При таком сочетании приемов видовая обращенность к акватории организуется из глубины прибрежной территории. Формируется оригинальное силуэтное очертание речного фасада. При этом фронт застройки вдоль Москвы-реки сформирован стилобатами и акцентными первыми этажами с общественными функциями.

Активизация и вовлечение глубины прибрежной территории полуострова ЗИЛ к акватории организованы «пористой» структурой кварталов, сетью бульваров и улиц выходящий напрямую к акватории.

Из рассмотренных примеров следует, что наиболее рациональна комплексная разработка решений по каждому аспекту композиции ЖК (постановка зданий, объемно-пространственные и планировочные решения) с последующим созданием рекомендаций либо методических пособий по проектированию ЖК на прибрежных территориях, направленных на увеличение зоны влияния акватории.

### Библиографический список

1. Крашенинников И. А. Перспективы анализа «пористости» городской ткани // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. С. 215 – 225.
2. Проект Россия «Набережные» // Издательство «Объединенные проекты» 2015. — Выпуск 75. — 275 стр.
3. Павликова А. Промышленные зоны — перспективы развития // *archi.ru*. URL: <https://archi.ru/russia/45246/promyshlennye-zony-perspektivy-razvitiya> (дата обращения 17.04.2023).
4. Конкурс на создание проекта развития промзоны «ЗИЛ» // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. URL: <https://stroi.mos.ru/renovaciya-promzon/proekt-planirovki/kakim-stanet-zil> (дата обращения 17.04.2023).
5. Redevelopment of AMO ZIL factory // *tspa.eu*. URL: <https://www.tspa.eu/portfolio/redevelopment-of-amo-zil-factory/index.html> (дата обращения: 08.06.2023).
6. Сны о полуострове ЗИЛ // АРХНАДЗОР. URL: <https://www.archnadzor.ru/2013/03/24/snyi-opoluostrove-zil/> (дата обращения: 22.05.2023).

7. Архитектурные ценности ЗИЛа. Продолжение // АРХНАДЗОР/ — URL: <https://www.archnadzor.ru/2013/05/25/arhitekturnye-tsennosti-zila-prodolzhenie/> (дата обращения: 22.05.2023).
8. Литейный цех, который нам нельзя потерять // АРХНАДЗОР. URL: <https://www.archnadzor.ru/2013/04/22/liteyniy-tseh-kotoryiy-nam-nelzya-poteryat/#more-15113> (дата обращения: 22.05.2023).
9. Тарабарина Ю. Виталий Лутц: «Работа над ЗИЛом была очень интересна для нас. Она совпала с новой градостроительной политикой» // archi.ru. URL: <https://archi.ru/russia/88180/vitalii-lutc-rabota-nad-zilom-byla-ochen-interesna-dlya-nas-slozhnaya-organizacionno-i-strukturno-mnogoetapnaya-ona-sovpala-s-novoi-gradostroitelnoi-politiko/> (дата обращения 26.05.2023).
10. Квартал «ЗИЛАРТ» // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. URL: <https://stroj.mos.ru/renovaciya-promzon/proekt-planirovki/ziloi-kompleks-zilart> (дата обращения 17 04 2023).
11. Концепция «Зил-север» // Институт Генплана Москвы. URL: [https://genplanmos.ru/project/zil\\_sever/](https://genplanmos.ru/project/zil_sever/) (дата обращения 19.05.2023).
12. Концепция «Зил-юг» // Институт Генплана Москвы. URL: [https://genplanmos.ru/project/zil\\_yug/](https://genplanmos.ru/project/zil_yug/) (дата обращения 19.05.2023).
13. ЗИЛ // meganom.team URL:<https://meganom.team/ru/project/zil/> (дата обращения 17.04.2023).
14. «Дом с золотой аркой», ЗИЛАРТ дом №11 // archi.ru. — Цимайло Ляшенко и Партнеры / предоставлено пресс-службой Москомархитектуры URL: <https://archi.ru/projects/russia/16868/dom-s-zolotoi-arkoi-zilart-dom> (дата обращения 23.11.2023).
15. ЗИЛАРТ лот 25// Sergey Skuratov Architects. URL:<https://www.skuratov-arch.ru/portfolio/zilart-lot-25/> (дата обращения 23.11.2023).
16. «Полуостров Зил» архитектурная концепция первой очереди строительства// Sergey Skuratov Architects. URL: <https://www.skuratov-arch.ru/portfolio/poluostrov-zil-pervaya-ochered-stroitelstva/> (дата обращения 23.11.2023).
17. Тарабарина Ю. Прекрасный ЗИЛ: отчет о неформальном архсовете // archi.ru. URL: <https://archi.ru/russia/88188/prekrasnyi-zil-otchet-o-neformalnom-arkhsovete> (дата обращения: 10.12.2023).
18. KCAP delivers masterplan for ZIL-South in Moscow // KCAP. URL: <https://www.kcap.eu/news/735/kcap-delivers-masterplan-for-zil-south-in-moscow> (дата обращения 06.06.2023).
19. Зил юг // Buromoscow. URL: <https://www.buromoscow.com/копия-блок-4-1> (дата обращения 10.12.2023).

---

**VOLUME-SPATIAL ORGANIZATION RESIDENTIAL COMPLEXES TO ACTIVATE  
THE INTERACTION OF COASTAL TERRITORIES WITH THE WATER AREAS  
(BASED ON THE EXAMPLE OF THE ZIL PENINSULA IN MOSCOW)**

**I. V. Dema**  
**L. V. Petrova**

State University of Land Use Planning, Moscow

**Abstract**

The article examines the organization of the volumetric-spatial composition of residential complexes on the coastal territory of the Moscow River from the position of intensifying the interaction between the coastal territory and the water area using the example of the ZIL Peninsula. Particular attention is paid to the influence of different approaches to the formation of coastal urban development and solutions when organizing the territories of ZIL-north and ZIL-south, separated by Likhachev Avenue. Each approach is aimed at solving a number of architectural problems (formation of a river façade, organization of public functions along the embankment, separation of urban public and semi-private spaces, formation of a permeable coastal environment) in the complex development of the ZIL-north and ZIL-south territories forms qualitatively different urban spaces. Design solutions have been identified aimed at activating the coastal area, contributing to the formation of a comfortable urban environment and the organization of deep connections between the development and the water area.

**The Keywords**

*coastal areas, residential complex, activation of visual connections*

**Date of receipt in edition**

05.02.2024

**Date of acceptance for printing**

15.02.2024

**Ссылка для цитирования:**

*И. В. Дёма, Л. В. Петрова. Объемно-пространственная организация жилых комплексов для активизации взаимодействия прибрежной территории и акватории (на примере полуострова ЗиЛ в городе Москве). — 2024. — № 1 (50). — С. 152–161.*





УДК 711.558

doi: 10.48612/dnitii/2024\_50\_162-168

---

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОЛЫЖНОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

**О. С. Пчелинцев**

**О. А. Пастух**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

---

### **Аннотация**

В статье изложено подробное обоснование выбора территории проектирования горнолыжного спортивно-оздоровительного туристического комплекса в обособленно расположенном микрорайоне Кукисвумчорр города Кировск, являющегося одним из популярных центров развития горнолыжного туризма в России. Целесообразность проектирования данного центра рассмотрена с различных сторон, включая приоритетные задачи, заявленные в национальном проекте по развитию туризма и индустрии гостепреимства и программах социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации. На основе изученного материала был сделан вывод о потенциальных перспективах развития горнолыжного туризма как движущей силы формирования новых рекреационных пространств Арктической зоны Российской Федерации, в частности на примере Кировской области. А также о необходимости проектирования современного всесезонного спортивно-туристического центра международного класса.

### **Ключевые слова**

*объекты городской рекреационной и туристической инфраструктуры, горнолыжный курорт, арктическая зона Российской Федерации*

### **Дата поступления в редакцию**

05.02.2024

### **Дата принятия к печати**

17.02.2024

---

### **Введение**

Обоснованием выбора территории проектирования горнолыжного туристического спортивно-оздоровительного комплекса в первую очередь является актуальность заявленной темы магистерской диссертации, которая заключается реализации программ в рамках национальных проектов «Туризм и индустрия гостепреимства» и программе социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации — Arctic Russia.

Горнолыжный туризм в настоящее время переживает период стремительного роста: спрос значительно превышает предложение на этот вид отдыха среди россиян. За последние десятилетия количество горнолыжных курортов в России увеличилось в 1,5 раза и достигло 150 курортов, и ожидается, что в будущем оно продолжит расти. Постановлением от 30 марта 2021 года, разви-



тие Арктической зоны Российской Федерации отнесено к приоритетным направлениям развития страны, в том числе строительство, реконструкция и капитальный ремонт объектов спорта [1]. Специалистами прогнозируется увеличение доли туристов, проводящих свой отпуск на российских горнолыжных курортах, следовательно, эти курорты должны быть конкурентоспособны по сравнению с зарубежными курортами [2].

В Арктической зоне Российской Федерации, обладающей особенными природно-климатическими условиями, предоставляющими большие возможности для организации всесезонных видов рекреационной, лечебной, спортивной и образовательной деятельности, расположено несколько горных хребтов с большим потенциалом для развития горнолыжной инфраструктуры [3], [4].

Одним из перспективных и быстроразвивающихся туристических направлений является территория горного массива Хибин и расположенный на его южной окраине — город Кировск.

Благоприятные для горнолыжного туризма природно-климатические факторы и удачное географическое положение позволяет рассматривать город и его окрестности, с прилегающими к нему территориями для потенциального развития туристической отрасли Арктического региона и создания здесь всесезонного спортивно-туристического центра международного класса [5].

Для обоснования выбора территории проектирования горнолыжного туристического спортивно-оздоровительного комплекса в Арктической зоне были проанализированы несколько ключевых факторов, оказавших непосредственное влияние на результат. К ним относятся: географическое расположение объекта; транспортная доступность региона; промышленно-градостроительное развитие, спортивно-туристическая и социально-бытовая инфраструктура региона [6], [8].

### Материалы и Методы

Город Кировск расположен на Кольском полуострове в Мурманской области. Расстояние от крупнейших городов России: Санкт-Петербурга — 900 км, Москвы — 1300 км. Приблизительно в этом же диапазоне — расстояния до столиц стран Северной Европы: Хельсинки, Осло, Стокгольма, Копенгагена и другие. Значительно ближе к Кировску — региональные центры России: Мурманск, Петрозаводск, Архангельск.

Кировск расположен за Северным полярным кругом. Благодаря тёплому Северо-Атлантическому течению климат на побережье Кольского полуострова относительно мягкий — субарктический морской. В центре — более континентальный, умеренно-холодный. Среднегодовая температура в Кировске  $-1^{\circ}\text{C}$ . Для сравнения, на той же широте в Воркуте  $-5,3^{\circ}\text{C}$ , в Верхоянске  $-14,5^{\circ}\text{C}$ .

Природно-экологический каркас:

- разнообразные ландшафты и природные зоны, достопримечательности;
- различные туристические маршруты;
- Полярно-альпийский ботанический сад;
- Национальный парк Хибин.

Развитие природно-экологического потенциала требует внимательного изучения экологической обстановки в регионе и городе, местах разработки полезных ископаемых, отвалов горной породы, промышленной и прочей техногенной деятельности и, на основе комплексного анализа, разработки мероприятий по возвращению окружающей город природной среды к исходному состоянию.

Объемно-пространственное развитие Кировска ограничивается гористым рельефом местности и компактно сформировавшейся городской средой на южном берегу озера Большой Вудъявр. При этом рельеф формирует богатые ландшафтные характеристики городской среды. Кировск,

расположенный в тупике по отношению к внешним коммуникациям, населённым пунктам и окружающим ландшафтам обладает единственным путем следования в город, что можно отнести к достоинствам размещения, так как можно внимательно продумать как сценарий с точки зрения ландшафтных ситуаций, пространственных впечатлений и функционального разнообразного насыщения территории. Волнистая равнина с понижениями вдоль береговой линии и локальными горными образованиями в центральной части. Основные дороги пересекают полуостров с севера на юг Рельеф полуострова.

Регион города Кировска, Хибинских гор привлекает внимание не только горнолыжными склонами, но и горными, тундровыми ландшафтами, северным сиянием (*Aurora Borealis*), пешими маршрутами, велосипедными прогулками, катанием на упряжках северных оленей, внедорожными путешествиями, рыбной ловлей, сплавом по рекам, этнографическими и другими северными впечатлениями [7].

Кировск находится в непосредственной близости от основных автомобильной и железнодорожной магистралей, аэропорта. Железнодорожный вокзал находится в городе Апатиты, с которым Кировск составляет агломерацию. Аэропорт Хибин рассчитан на приём авиалайнеров типа А-320 и Boeing-737. Время авиаперелёта из Москвы — 2 часа, Санкт-Петербурга — 1,5 часа. Трансфер из аэропорта до Кировска занимает 30 минут.

Кировск расположен в так называемом «Кукисвумчоррском разломе», территориально разделяющим горный массив Хибин на западную и восточные части. Здесь расположены крупнейшие месторождения апатит-нефелиновых руд.

Кировск — детище открытий российского и советского минералога, кристаллографа, геохимика, профессора и академика Александра Евгеньевича Ферсмана и заслуга архитекторов-градостроителей социалистических строек первых пятилеток, решавших одномоментные актуальные социальные, гуманитарные, демографические и промышленные задачи удовлетворения хозяйственных нужд страны, с учетом природоохранных задач, при строительстве городов и рабочих поселков при рудниках, горнодобывающих комбинатов и обогатительных фабриках. Технологические процессы добычи и переработки апатито-нефелиновой руды накладывали определенные условия при выборе мест расположения обогатительных фабрик и прокладки железнодорожных путей, связывающих фабрики с местами добычи. В истории развития города (называвшегося в начале Хибиногорск) можно выделить по меньшей мере три характерных строительных периода.

### **Результаты**

Город известен не только как важный центр горнодобывающей промышленности, но и как традиционный горнолыжный центр. Особенности рельефа являются источниками повышенной природной опасности: многие горные склоны, окружающие город, лавиноопасны, а наиболее низкие участки затапливаются во время весенних паводков. Для развития Кировска как горнолыжного центра требуются мероприятия по устройству снегозадержания на лавиноопасных склонах. Территории у северной береговой линии озера Большой Вудъявр и вдоль русла реки Вудъяврйок не подлежат застройке.

Потенциал развития горнолыжных зон города Кировска с учетом функционального и пространственного конфликта промышленных территорий:

1) Кировск и его горные склоны пользуются популярностью у жителей Санкт-Петербурга, Москвы и других регионов, несмотря на неразвитость сопутствующей инфраструктуры (гостиницы, подъемники, кафе, рестораны, пункты проката инвентаря и многое другое общепринятое на лыжных курортах). Большую популярность в наши дни приобретает всесезонный туризм и различные виды активности (горный, водный, этнографический туризм, экспедиции на внедорожниках, рыбная ловля, парапланеризм и пр.).

2) Промышленные территории преграждают доступ к традиционно сложившимся горнолыжным зонам. Городская ткань в нынешнем положении зажата промышленными, коммунальными и складскими территориями, не в состоянии быть полноценным интегратором, коммуникатором между городом, горнолыжными зонами и спортивно-туристическими объектами. Промзоны и частные гаражи заняли самые перспективные места и направления пространственного развития города, его связей с важнейшими ландшафтными объектами и горнолыжными зонами. Фактически, город, изначально проектировавшийся и строившийся по образу рабочего поселка для людей одной профессии горнорудной промышленности, может потенциально выполнять роль крупного спортивно-туристического центра при соответствующей профессиональной корректировке объемно-градостроительной инфраструктуры городской среды [5], [8].

### Обсуждение

На сегодняшний день существуют реальные предпосылки пространственного развития потенциальных спортивно-рекреационных пространств Кировска.

1) Расширение горнолыжных зон, исторически сложившихся на восток от территории «Городской склон» («BigWood») на склонах горы Акуймвенчорр; в западном направлении от существующей зоны «25-й км», на склонах горы Кукисвумчорр.

2) Создание новых горнолыжных зон в восточном направлении от горы Акуймвенчорр, на склонах горы Ловчорр и в западном направлении от города, на склонах горы Вудъяврчорр.

3) Освобождение территорий — панировочных райоов нового общегородского центра, находящегося в компактном городском ядре Кировска, которое занимает центральное положение по отношению к существующим и перспективным горнолыжным зонам, и элементам спортивно-туристического кластера.

4 Развитие системы ярко освещённых пешеходных связей («парковых коридоров», пешеходных улиц, площадей, туристических маршрутов), объединяющей горнолыжные зоны, рекреационные парки с существующим и новым центром города под названием «Светлый путь», исторически отсылающий нас к советскому кинофильму. В условиях тёмного времени года световой дизайн городских пространств становится необходимым элементом оформления и обновления городской среды: ярко освещённые пешеходные пространства, улицы и площади, пути — это компенсация зимней полярной ночи, длящейся в данном регионе с декабря по февраль месяц. Потенциал развития г. Кировск показан в виде схемы на **рисунке 1**.

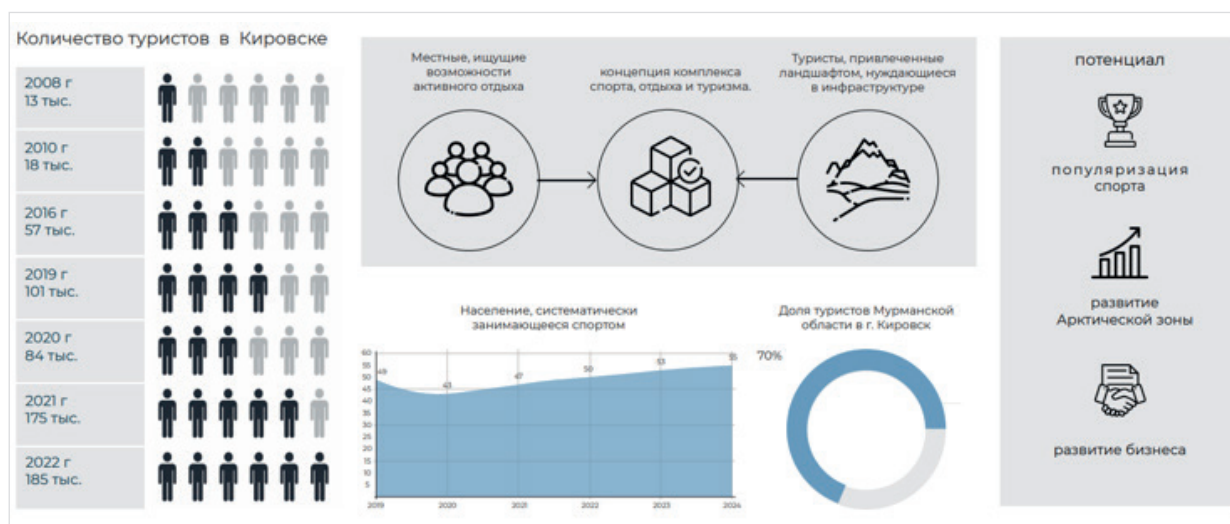


Рис. 1. Потенциал развития г. Кировск. Автор схемы — О. С. Пчелинцев

### Выводы

На основе изученного материала был сделан вывод о потенциальной перспективности развития горнолыжного туризма как драйвера формирования новых рекреационных пространств Арктической зоны Российской Федерации, в частности на примере Кировской области, и необходимости проектирования современного всесезонного спортивно-туристического центра международного класса. Главным обоснованием для выбора оптимальной территории для проектирования современного всесезонного горнолыжного центра международного класса в Арктической зоне Российской Федерации является потенциал спортивно-туристического развития региона. Экономическая эффективность развития спортивно-туристического кластера требует разностороннего развития и зимних, и летних видов туризма. Обустройство существующих и новых маршрутов через Хибинские горы, в Ловозёрские тундры и по реке Умбе, развитие системы туристических баз, работающих по единому билету и объединяющих разные виды и формы летней рекреации, обеспечат среднегодовую загрузку объектов размещения на уровне 40–45 %, что соответствует лучшим мировым практикам. Система общественных пространств, включающая существующий и проектируемый парки, торговые, сервисные и пешеходные зоны, рекреационные, туристические пути и маршруты свяжет значимые общественные объекты города, объекты спортивно-туристического кластера, достопримечательности в единый организм – с центром в Кировске, в новом планировочном районе на южном берегу озера Большой Вудъявр, в Нижнем городском парке — «Центро-Парк». Эта система станет основой нового экологического каркаса города [9], [10].

Освобождение от производственных функций территории на южном берегу озера Большой Вудъявр — вместе с развитием существующих общественных пространств, связей, элементов природного каркаса — а также с помощью реорганизации размещения промышленных зон — предоставляет возможность сформировать в Муниципалитете полноценный всесезонный спортивно-туристический кластер, связать его элементы в единый организм с центром в Кировске, в новом планировочном районе.

### Библиографический список

1. Батчаева Ф. М. Анализ развития горнолыжного туризма в России // научное сообщество студентов XXI столетия. Экономические науки: сб. ст. по мат. XI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11.

2. Отечественный и зарубежный опыт проектирования горнолыжных курортно-досуговых комплексов в арктической зоне / *Пастух О. А., Пчелинцев О. С.* / В сборнике научных трудов студентов магистратуры кафедры дизайна архитектурной среды / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2023. — С. 167 – 171.

3. *Линейцев А. А.* Проблемы строительства сооружений в Арктике // Молодой ученый № 5 январь 2021.

4. *Yablonskii L. L.* Industrial and Economic Development of the Arctic Region in the XXI century (on the Example of Arkhangelsk Oblast) 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2022 — Proceedings, 2022.

5. *Диденко Н. И., Скрипнюк Д. Ф., Черенков В. И., Таничев А. В.* Ключи к устойчивому развитию Арктической зоны Российской Федерации: модель циркулярной экономики и логистическая инфраструктура, Север и рынок: формирование экономического порядка. 2020. № 4 (70). С. 5 – 20.

6. *О. А. Пастух.* Дизайнерский подход при формировании когнитивных моделей архитектурной среды / *Пастух О. А.* / Современные общественные пространства как инструмент развития городской среды : материалы IV Межрегиональной научно-практической конференции [04–05 апреля 2022 года] ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2022. — с. 85 – 90.

7. *Kozlova E., Didenko N.* The impact of technological development factors on the quality of life: a comparative analysis of E7 and G7, International Journal for Quality Research. 2022. Т. 16. № 2. С. 625 – 642.

8. *О. А. Pastukh.* Современные материалы и конструкции, используемые в жилищном строительстве: международный опыт / *О. А. Pastukh, Mähner Dietmar, A. N. Panin, V. N. Elistratov* / Architecture and Engineering, Vol. 7, Issue 3, Pp. 53 – 66 (2022).

9. *Пастух О. А.* Урбоэкологические аспекты трансформации архитектурной среды в современных условиях глобальной цифровизации // В сборнике: Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Материалы XV Международной научно-технической конференции. Новосибирск, 2022. С. 126 – 130.

10. *Елистратов В. Н., Пастух О. А.* Разработка и внедрение энергоэффективных решений в условиях глобальной цифровизации городской среды/ В сборнике: Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве. материалы V Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2022.

---

## FEATURES OF THE CHOICE OF THE TERRITORY FOR THE DESIGN OF A SKI TOURIST COMPLEX IN THE ARCTIC ZONE

**O. S. Pchelintsev**  
**O. A. Pastukh**

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg



---

### **Abstract**

The article presents a detailed justification for the choice of the design territory of a ski sports and recreation tourist complex in the separately located Kukisvumchorr microdistrict of the city of Kirovsk, which is one of the popular centers for the development of ski tourism in Russia. The expediency of designing this center is considered from various sides, including the priority tasks stated in the national project for the development of tourism and the hospitality industry and programs for the socio-economic development of the Arctic zone of the Russian Federation. Based on the studied material, a conclusion was made about the potential prospects for the development of ski tourism as a driving force for the formation of new recreational spaces in the Arctic zone of the Russian Federation, in particular on the example of the Kirov region. Also about the need to design a modern all-season sports and tourism center of international class.

### **The Keywords**

*objects of urban recreational and tourist infrastructure, ski resort, Arctic zone of the Russian Federation*

### **Date of receipt in edition**

05.02.2024

### **Date of acceptance for printing**

17.02.2024

---

### **Ссылка для цитирования:**

*О. С. Пчелинцев, О. А. Пастух. Особенности выбора территории для проектирования горнолыжного туристического комплекса в Арктической зоне. — Системные технологии. — 2024. — № 1 (50). — С. 162–168.*

