

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



19 2026
ЧАСТЬ I

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 19 (622) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук
Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

На обложке изображен Жан Пиаже (1896–1980), швейцарский психолог и философ.

Жан Пиаже родился в швейцарском Невшателе. Его отец, Артур Пиаже, был профессором средневековой литературы.

Жан очень рано проявил себя как одаренный ребенок. В подростковом возрасте Пиаже интересовался малакологией — разделом зоологии, изучающем моллюсков. Под руководством малаколога Поля Годе, директора Музея естественной истории в Невшателе, Жан Пиаже к моменту окончания школы опубликовал множество статей в специализированных журналах. После школы молодой человек продолжил изучать естественные науки в университете Невшателя, где впоследствии защитил докторскую диссертацию. Поворотным моментом для Жана стал семестр в Цюрихском университете, где он учился у основоположника аналитической психологии Карла Юнга и психиатра Эйгена Блейлера. Именно эти ученые пробудили в нем интерес к психоанализу. В 1919 году Пиаже покинул Швейцарию и переехал во Францию, начав обучение в Сорбонне.

В Париже Жан Пиаже год работал в школе для мальчиков, открытой французским психологом Альфредом Бине, известным как соавтор IQ-тестов. В школе Пиаже стандартизировал тест на интеллект, разработанный британским психологом Сирилом Бертом, адаптировал его для французских детей и начал проводить свои первые экспериментальные исследования детского мышления.

Когда Пиаже стал публиковать результаты своих психометрических экспериментов, его успехи заметили на родине. В 1921 году он вернулся в Женеву, где возглавил Институт Руссо — центр экспериментальных исследований в области детской психологии и образования, основанный неврологом и психологом Эдуардом Клапаредом. Там Пиаже продолжил свои исследования и по их результатам опубликовал в 1923 году один из своих главных трудов — «Речь и мышление ребенка».

Ключевой идеей Пиаже этого периода стало то, что маленьким детям свойственен эгоцентризм, то есть ребенок не понимает, что существуют другие точки зрения (как в прямом, так и в переносном смысле), отличные от его собственной. Эгоцентричность, согласно наблюдениям Пиаже, проявляется и в речи дошкольников, которые часто разговаривают сами с собой, а не с окружающими. Однако, взаимодействуя со сверстниками, сотрудничая и конфликтуя с ними, ребенок учится воспринимать разные точки зрения и постепенно формирует социализированное мышление. В более или менее оформленном виде оно утверждается к 12 годам.

В 1923 году Жан Пиаже женился на Валентин Шатенау. У пары родилось трое детей, и свое отцовство Пиаже тоже превратил в основательное исследование, внимательно на-

блюдая за когнитивным развитием собственных детей. Эти наблюдения легли в основу его теории адаптации, разработанной в 1930-х годах, и книги «Истоки мышления у детей», изданной в 1936 году.

В этот период своих исследований Жан Пиаже сфокусировался уже не на речи, а на том, как маленькие дети взаимодействуют с объектами окружающей среды.

С конца 1930-х годов Пиаже стал изучать, как дети выполняют логические операции, устанавливают причинно-следственные связи, определяют отношения «часть — целое» и так далее. На основе этих экспериментов и своих предыдущих наработок Пиаже пришел к выводу, что на каждой стадии развития ребенок конструирует определенные представления о реальности, соответствующие его возрасту. По мере взросления он воссоздает эти представления заново, уже на более сложном уровне, и таким образом переходит на следующий этап развития. Именно в этот период исследований Пиаже сформулировал суть своей теории четырех этапов когнитивного развития, которая стала классической. Эту теорию он изложил в книге «Психология интеллекта», впервые опубликованной в 1947 году.

Покинув пост директора Института Руссо в 1925 году, Жан Пиаже впоследствии занимал множество престижных постов. Но главным итогом организаторской деятельности Пиаже стал Международный центр генетической эпистемологии в Женеве, основанный им в 1955 году. Ученый руководил им бессменно до самой смерти. Генетическая эпистемология изучает происхождение, структуру и развитие знания на уровне отдельного человека и целых культур.

Вклад Пиаже в науку был отмечен высшими международными наградами. В 1972 году он стал лауреатом премии Эразма за вклад в европейскую культуру, а в 1979 году получил престижную премию Бальцана за работы в области социальных и политических наук. Отдельно стоит сказать об академическом авторитете Пиаже: ведущие университеты мира, включая Гарвард, Кембридж, Йель и Сорбонну, присвоили ему более 30 почетных докторских степеней (Honoris Causa). А в 1969 году Пиаже стал первым европейцем, получившим награду «За выдающийся научный вклад» от Американской психологической ассоциации (APA), что для того времени было редчайшим событием.

Жан Пиаже ушел из жизни в 1980 году и был похоронен в Женеве. О нем и его идеях написано множество книг, среди которых выделяются «Беседы с Жаном Пиаже» Жан-Клода Брингье и «Жан Пиаже, человек и его идеи» Ричарда Эванса. Сам ученый также оставил автобиографию, опубликованную в 1952 году.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ван Лэй

Экспериментальное исследование прочности на сжатие высокопрочного полипропиленового фибробетона 1

Вахромов Г. С.

Совершенствование технологии усиления железобетонных колонн углеволокном с предварительным натяжением 8

Гунин М. С.

Влияние ориентации и распределения фибры на свойства фибробетона 11

Зарипов А. Р.

Сравнительный анализ методов прогнозирования остаточного ресурса теплообменных аппаратов подогревателей нефти: статистические, нейросетевые и гибридные подходы 13

Кочергин Д. А.

Система автоматического регулирования возбуждения турбогенератора АЭС с ВВЭР-1200 17

Береговая Д. В.

Диффузионно-контролируемый рост оксидов при высокотемпературном окислении металлов и сплавов 20

Перепеченова Д. И.

Квантово-нейроморфные маршрутизаторы для сетей 6G/7G 21

Подлевских П. А.

Основные методы ультразвуковой диагностики технических объектов 23

Пятков Н. Н.

Напряженное состояние монолитных перекрытий при различном расположении скрытых балок 26

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Гридина С. И.

Процесс выбора материалов при проектировании строительного объекта 30

Ефимова М. О., Петрова Е. А.

Несущие стены уходят в прошлое: как сложные конструкции превращают жилые дома в произведения искусства 35

Коженков А. А.

Исследование работы узлов стальных конструкций с использованием программного комплекса IDEASTaTiCa 37

Мазий А. Е.

Дом-мастерская как архитектурный тип: анализ виллы Озанфана и общие принципы проектирования 43

Малеева Е. К.

Методика преобразования жилой среды 1960–1980-х годов в Санкт-Петербурге 47

Малова Е. Р.

Анализ существующего метода проектирования мобильных модульных зданий 49

Наумова В. Я.

Традиционные конструкции народов мира: анализ несущих способностей и эстетики 53

Ружич М.

Испытание изменения несущей способности и М-φ кривой жёсткого узла стального каркасного здания промышленного объекта 56

Тен Д. С.

Влияние дисперсного армирования на свойства бетонной смеси и бетона полов паркинга 61

Хайоров И. А.

Анализ факторов размещения и эффективности использования производственных мощностей промышленного предприятия в условиях городской агломерации 66

Холотян И. Н., Сугоняев И. В.

Сравнение деформируемости грунта при усилении основания цементным раствором и расширяющимся цементным раствором при манжетной технологии 68

Чалкова К. Л.

Роль использования художественных приёмов стилизации в разработке визуальных элементов фирменного стиля 71

Черданцева А. А.

Оценка эффективности конструктивных мероприятий по предотвращению прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного здания 73

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Экспериментальное исследование прочности на сжатие высокопрочного полипропиленового фибробетона

Ван Лэй, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

На основе цемента, песка, микрокремнезема и поликарбоксилатного суперпластификатора изготовлены образцы высокопрочного бетона с разным содержанием полипропиленовой фибры (0 %, 0,5 %, 1,0 %, 1,5 %). Проведены испытания на осевое сжатие после 28 суток твердения. Установлено, что с увеличением дозировки фибры прочность повышается, а хрупкость бетона снижается. Фибра формирует трехмерную сетку, замедляет рост трещин и повышает целостность образцов. Результаты могут служить основой для практического применения фибробетона.

Ключевые слова: полипропиленовая фибра, высокопрочный бетон, микрокремнезем, осевая прочность, хрупкое разрушение.

Experimental study of compressive strength of high-strength polypropylene fiber-reinforced concrete

Specimens of high-strength concrete with different polypropylene fiber contents (0 %, 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %) were made using cement, sand, silica fume, and polycarboxylate superplasticizer. Axial compression tests were carried out after 28 days of curing. It was found that with the increase of fiber content, the compressive strength increases and the brittleness of concrete decreases. The fiber forms a three-dimensional network, slows down crack growth, and improves the integrity of specimens. The results can serve as a basis for the practical application of fiber-reinforced concrete.

Keywords: polypropylene fiber, high-strength concrete, silica fume, axial compressive strength, brittle failure.

Введение

Полипропиленовый фибробетон изготавливают на основе цемента, природного песка, микрокремнезема и поликарбоксилатного суперпластификатора с добавлением высокопрочной полипропиленовой фибры в различных дозировках. Его кажущаяся плотность соответствует нормативам, а свойства включают повышенную прочность, удобоукладываемость, плотность и трещиностойкость.

Исследования по бетону с микрокремнеземом широко представлены в литературе, однако такие составы имеют низкий модуль упругости, повышенную усадку и ползучесть, а также склонность к внезапному хрупкому разрушению при сжатии [1]. Среди фибр (стальная, полипропиленовая, углеродная) полипропиленовая наиболее распространена благодаря низкой стоимости, высоким механическим свойствам и малому весу. Влияние стальной фибры на прочность при сжатии и сдвиге рассмотрено в [2], на изгибную вязкость — в [3]; влияние углеродной фибры и модели напряжения-деформации представлены в [4–5].

Для снижения хрупкости, повышения осевой прочности и сдерживания микротрещин при постоянной дозировке суперпластификатора в данной работе изучено влияние содержания полипропиленовой фибры на прочность при сжатии, пиковую деформацию и модуль упругости цементно-песчаного состава с микрокремнеземом, а также выявлен синергетический механизм модификации.

Экспериментальный дизайн

Экспериментальные материалы и пропорции смесей

Все исходные материалы для эксперимента (см. рисунки 1–5) подобраны согласно действующим российским нормативам. В качестве цемента использован портландцемент без добавок марки ЦЕМ I 42,5Н (М500 Д0) производства

АО «Цефрос», имеющий прочность при сжатии за 28 суток не менее 42,5 МПа. В качестве мелкого заполнителя применен кварцевый песок марки Реал с непрерывной зерновой фракцией 0–2,5 мм. Для модификации использован поликарбоксилатный суперпластификатор Sika ViscoCrete-200. Применен уплотненный микрокремнезем марки МКУ-85 с содержанием аморфного диоксида кремния не менее 85 %. Использована коммерческая полипропиленовая фибра длиной 12 мм и диаметром 10–50 мкм. Вода для замеса — коммунальная питьевая вода Санкт-Петербурга.



Рис. 1. Цемент



Рис. 2. Песок



Рис. 3. Микрокремнезем



Рис. 4. Поликарбоксилатный суперпластификатор



Рис. 5. Полипропиленовое волокно

Определение состава бетона

В эксперименте предусмотрены три варианта объемного содержания полипропиленовой фибры — 0,5 %, 1,0 % и 1,5 %, — а также контрольная группа обычного бетона без фибры. Состав бетона разработан и образцы изготовлены по методу насыпного объема [6]. После стандартного твердения в течение 28 суток проведены испытания на осевую прочность при сжатии. Расходы компонентов для каждой группы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расход компонентов на 1 м³, кг (водоцементное отношение 0,3)

Вид и класс бетона	Цемент	Песок	Пластификатор Sika ViscoCrete-200	Микрокремнезем МКУ-85	Вода
B80	750	1100	18	150	225

Экспериментальная процедура

Порядок процесса перемешивания бетона

Сначала производится точное дозирование всех исходных материалов. Суперпластификатор предварительно растворяется в воде для замеса и перемешивается до однородного состояния. Полипропиленовая фибра подвергается рыхлению в течение одной минуты для предотвращения комкования.

Далее используется принудительный бетоносмеситель объемом 30 л. Перемешивание выполняется в такой последовательности: сначала песок и цемент загружаются в смеситель и перемешиваются на сухую до равномерного цвета; затем постепенно добавляется подготовленный водный раствор суперпластификатора и перемешивается одну ми-

нуту; после этого вводится микрокремнезем и перемешивание продолжается до однородности вяжущей системы и стабильной подвижности смеси.

Затем при непрерывной работе смесителя рыхлая полипропиленовая фибра дозируется мелкими порциями и перемешивается до полного распределения в цементном тесте без видимых комков [7]. По достижении однородной удобоукладываемости смеси она выгружается для последующих испытаний (см. рисунок 6).



Рис. 6. Хорошо смешанный бетон

Формование и твердение образцов

Сначала формы очищают и равномерно смазывают машинным маслом изнутри. Затем готовую бетонную смесь порциями загружают в формы, уплотняют на лабораторном вибростенде. После вибрирования излишнюю смесь удаляют, поверхность образцов выравнивают.

Отформованные образцы накрывают полиэтиленовой пленкой и выдерживают в условиях $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 1–2 суток, после чего производят распалубку, маркировку и визуальный осмотр с отбраковкой некачественных образцов. Годные образцы немедленно помещают в камеру стандартного твердения и выдерживают при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности более 95 % в течение 7 и 28 суток для последующих механических испытаний (см. рисунок 7).



Рис. 7. Бетонная призма

Анализ результатов испытаний

Данные испытаний

Испытания проведены в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Оборудование для испытаний представлено на рисунке 8. Прочность при сжатии четырех групп стандартных образцов приведена в таблице 2.



Рис. 8. Машина для испытаний на сжатие

$$f_{cp} = \frac{F}{A},$$

где f_{cp} — осевая прочность бетона на сжатие, МПа;

F — разрушающая нагрузка образца, Н;

A — площадь осевого сжатия образца, мм² (рассчитывается по фактическим размерам с точностью до 1 мм²).

Таблица 2

Номер образца	Дата замеса	Дата испытания	М, г.	R, МПа	R _{сред}
Призматические образцы; 0 % фибры					
B80-1	14.03.2026	31.03.2026	9471	68,6	70,2
B80-2	14.03.2026	31.03.2026	9113	70,3	
B80-3	14.03.2026	31.03.2026	9079	71,8	
B80; 0,5 % фибры					
B80-1	14.03.2026	31.03.2026	9125	72,0	73,4
B80-2	14.03.2026	31.03.2026	9325	73,7	
B80-3	14.03.2026	31.03.2026	9280	74,5	
B80; 1 % фибры					
B80-1	14.03.2026	31.03.2026	9194	76,2	76,4
B80-2	14.03.2026	31.03.2026	9324	77,1	
B80-3	14.03.2026	31.03.2026	9225	75,8	
B80; 1,5 % фибры					
B80-1	14.03.2026	31.03.2026	9414	73,1	73,7
B80-2	14.03.2026	31.03.2026	9264	74,3	
B80-3	14.03.2026	31.03.2026	9295	73,8	

Анализ прочности

Мы можем рассчитать прирост прочности для каждой дозировки фибры относительно бетона с содержанием фибры 0 %.

0,5 % фибры:

$$\frac{73,4 - 70,2}{70,2} \times 100 \% \approx 4,5 \%$$

1 % фибры:

$$\frac{76,4 - 70,2}{70,2} \times 100 \% \approx 8,9 \%$$

1,5 % фибры:

$$\frac{73,7 - 70,2}{70,2} \times 100 \% \approx 5,0 \%$$

Видно, что с увеличением содержания волокон прочность бетона сначала возрастает, а затем снижается. Наибольший прирост 8,9 % наблюдается при содержании волокон 1 % (см. рисунок 9).

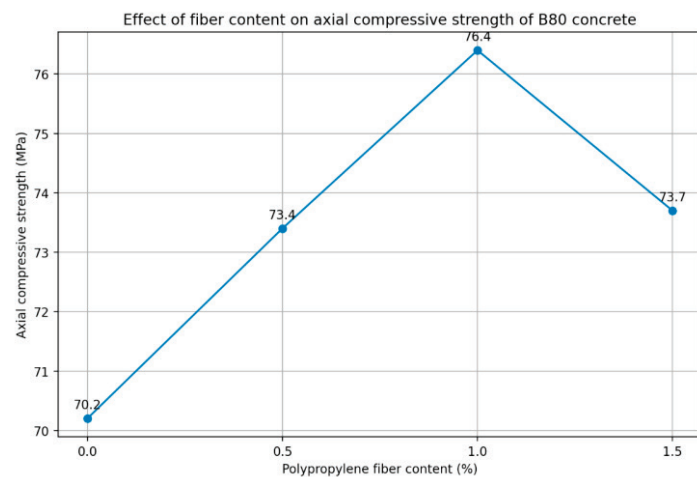


Рис. 9. График зависимости прочности на сжатие от содержания волокна

Характеристики прочности и выводы: включение полипропиленовых волокон может повысить прочность бетона на осевое сжатие главным образом потому, что волокна образуют мостиковый эффект внутри матрицы, препятствуя распространению микротрещин.

Существует оптимальная дозировка для повышения прочности, которая в данном эксперименте составляла 1 %. Дозы, превышающие 1 % (например, 1,5 %), могут привести к незначительному снижению прочности из-за агломерации волокон или неравномерного распределения.

Комплексный анализ различий в характеристиках разрушения: с увеличением содержания полипропиленового волокна характеристики разрушения образцов демонстрировали закономерное изменение: отслоение поверхности постепенно ослабевало, пока полностью не исчезало, трещины изменялись от сквозных к тонким и однородным микротрещинам, а общая целостность образцов укреплялась от полного разрушения до структурной целостности. Основная причина заключается в том, что полипропиленовые волокна образуют внутри бетона трехмерную сетевую систему, которая может препятствовать деформации, замедлять распространение трещин и компенсировать боковое расширение; низкая дозировка может лишь смягчить хрупкое разрушение, в то время как высокая дозировка может значительно улучшить целостность матрицы и повысить хрупкость бетона марки B80.



Рис. 10. Обычный высокопрочный бетон



Рис. 11. Бетон с содержанием полипропиленового волокна 0,5 %



Рис. 12. Бетон с содержанием полипропиленового волокна 1 %



Рис. 13. Бетон с содержанием полипропиленового волокна 1,5 %

Выводы

С увеличением содержания полипропиленового волокна прочность бетона на осевое сжатие сначала увеличивалась, а затем уменьшалась. Группа с содержанием волокна 1,0 % показала наиболее значительное улучшение прочности — примерно на 8,9 % по сравнению с базовой группой, что указывает на наличие оптимального содержания волокна.

Полипропиленовые волокна значительно улучшили характеристики хрупкого разрушения бетона: в группе с содержанием волокна 0 % наблюдалось типичное хрупкое разрушение с полным разрушением; после добавления 0,5–1,5 % волокна уменьшилось отслаивание поверхности образцов, а трещины трансформировались из сквозных в тонкие сетчатые микротрещины, постепенно повышая общую целостность. Группа образцов с содержанием волокна 1,5 % продемонстрировала слабую пластичность при разрушении, при этом наблюдалось значительное улучшение пластичности бетона.

Литература:

1. 牛建刚, 林红. 轻骨料混凝土的发展与研究展望[J]. 城市建筑, 2012(13): 108–109.
2. 杨勇, 任青文. 钢纤维混凝土力学性能试验研究[J]. 河海大学学报, 2006, 34(1): 92–94.
3. 高丹盈, 赵亮平, 冯虎, 等. 钢纤维混凝土弯曲韧性及其评价方法[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(5): 783–789.
4. 周乐, 王晓初, 刘洪涛. 碳纤维混凝土应力-应变曲线试验研究[J]. 工程力学, 2013, 30(7): 200–204.
5. 于良, 程华, 靳雨欣, 等. 碳纤维混凝土单轴受压应力-应变本构关系[J]. 后勤工程学院学报, 2013, 29(4): 6–12.
6. 丁威, 龚洛书, 周运灿, 等. JGJ51–2002 轻骨料混凝土技术规程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 13–17.
7. 石建军, 杨雨山, 周立科. 轻骨料碳纤维混凝土的力学性能[J]. 混凝土, 2009(4): 70–74.

Совершенствование технологии усиления железобетонных колонн углеволокном с предварительным натяжением

Вахромов Глеб Сергеевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

При реконструкции зданий нагрузки на железобетонные колонны могут возрасти на 40–70 %, а традиционные методы усиления (металлические и железобетонные обоймы) увеличивают сечение на 60–100 мм и массу на 80–120 кг. Углеволокно (CFRP) позволяет усилить колонну практически без утолщения, однако его обычная наклейка без натяжения использует прочность материала не в полной мере. Предложено техническое усовершенствование — двухслойная обойма, в которой второй слой натягивается предварительно. Расчётно доказано, что прирост несущей способности составляет 46,6 % (с 2100 кН до 3078,6 кН). Для учёта реальной начальной загрузки колонны введён коэффициент $\gamma_{load} = 1 - 0,3 \cdot k_{load}$. Стоимость усиления углеволокном оказалась на 18 % ниже, чем у металлической обоймы, а трудоёмкость — на 25 % меньше. Приведена детальная технологическая карта, описаны этапы контроля качества и требования охраны труда. Статья предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся реконструкцией зданий.

Ключевые слова: углеволокно, преднапряжение, усиление колонн, двухслойная обойма, реконструкция зданий, CFRP, технология строительного производства.

Введение

Железобетонные колонны являются наиболее нагруженными элементами каркасных зданий. После 30–50 лет эксплуатации бетон покрывается трещинами, арматура корродирует, несущая способность снижается на 15–50 % [1, с. 8–10]. При реконструкции (надстройка этажа, замена перекрытий) нагрузка может дополнительно возрасти на 40–70 %, что делает усиление колонн обязательным.

Традиционные методы усиления — устройство железобетонной или металлической обоймы — известны давно, но имеют серьёзные недостатки. Железобетонная обойма увеличивает сечение на 100–240 мм и массу до 2 тонн на одну колонну высотой 3 м. Металлическая обойма (уголки 75×75×8 мм с планками) прибавляет 60–100 мм по ширине и 80–120 кг веса. Через 3–5 лет сталь начинает ржаветь, требуется перекраска. Кроме того, для

монтажа обойм колонну приходится полностью или частично разгружать, что в действующем здании сложно и дорого [2, с. 45–47].

Альтернатива — системы внешнего армирования углеволокном (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP). Прочность CFRP на растяжение достигает 3000–5000 МПа, плотность — менее 2 г/см³, материал не корродирует. Наклейка выполняется за 1–2 дня без тяжёлой техники. Однако при простой наклейке без натяжения углеволокно включается в работу только после того, как бетон уже значительно деформировался. Коэффициент использования прочности CFRP не превышает 50–60 %.

Цель работы — разработать и обосновать технологию двухслойной обоймы из углеволокна, в которой второй слой укладывается с предварительным натяжением, а также предложить поправочный коэффициент для учёта начальной загрузки колонны при реконструкции.

1. Расчётная оценка эффективности

1.1. Исходные данные

Для расчёта принята типовая колонна сечением 400×400 мм, высотой 3,0 м. Бетон класса В25. Расчётное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы: $R_b = 14,5$ МПа. С учётом коэффициента длительности $\gamma_{b1} = 0,9$ (преобладание постоянных и длительных нагрузок) расчётное сопротивление составляет 13,05 МПа [1, с. 42]. Продольная арматура класса А400 (4Ø20) площадью 1256 мм², расчётное сопротивление $R_s = R_{sc} = 350$ МПа. Нагрузка до усиления — $N = 2100$ кН, приложена внецентренно ($e_0 = 60$ мм).

Углеволокно — ламели толщиной 1,2 мм, нормативная прочность 3500 МПа, расчётное сопротивление $R_f = 2333,33$ МПа (коэффициент надёжности $\gamma_f = 1,5$). Ширина обоймы равна ширине колонны — 400 мм.

1.2. Прирост несущей способности от слоёв углеволокна

Площадь поперечного сечения композитной обоймы на один погонный метр: $A_f = t_f \times b_f = 1,2 \times 400 = 480$

мм²/м [2, с. 25]. Коэффициент эффективности для квадратной колонны и поперечного армирования $\varphi = 0,75$.

Первый (пассивный) слой: $\Delta N_1 = 0,5 \cdot \varphi \cdot A_f \cdot R_f = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 480 \cdot 2333,33 = 420$ кН.

Второй (напрягаемый) слой: предварительное напряжение $\sigma_{sp} = 0,3 \cdot R_f = 700$ МПа, коэффициент условий работы $\gamma_{sp} = 1,1$. $\Delta N_2 = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 480 \cdot (2333,33 + 1,1 \cdot 700) = 558,6$ кН.

Суммарная несущая способность после усиления: $N_{\text{усил}} = 2100 + 420 + 558,6 = 3078,6$ кН, что на 46,6 % выше исходной.

1.3. Учёт начальной загрузки колонны (коэффициент γ_{load})

В реальных условиях реконструкции колонну, как правило, полностью разгрузить невозможно. Типичный уровень начальной загрузки составляет 70 % от разрушающей ($k_{load} = 0,7$). Если не учитывать этот фактор, проектное усилие завышается. Предложен эмпирический коэффициент:

$\gamma_{load} = 1 - 0,3 \cdot k_{load}$. При $k_{load} = 0,7 \rightarrow \gamma_{load} = 0,79$.

Фактические приросты с учётом загрузки: $\Delta N_{1_факт} = 420 \cdot 0,79 = 331,8$ кН; $\Delta N_{2_факт} = 558,6 \cdot 0,79 = 441,3$ кН. $N_{\text{усил_факт}} = 2100 + 331,8 + 441,3 = 2873,1$ кН (прирост 36,8 %).

Таблица 1. Усиление

Рассматриваемый параметр	Значение
Несущая способность исходной колонны ($N_{\text{сущ}}$)	2100 кН
Прирост от 1-го пассивного слоя (ΔN_{f1})	420,0 кН
Прирост от 2-го напрягаемого слоя (ΔN_{f2})	558,6 кН
Суммарный прирост ($\Delta N_{f1} + \Delta N_{f2}$)	978,6 кН
Итоговая несущая способность ($N_{\text{усил}}$)	3078,6 кН
Прирост прочности (суммарный)	46,6 %
Момент трещинообразования ($M_{\text{срс}}$)	93,7 кН·м
Проверка условия $M > M_{\text{срс}}$	Условие не выполняется (образуются трещины)
Максимальный прирост (3 слоя: 1 пассивный + 2 напрягаемых)	3657,2 кН (прирост 74 %)
Итоговая несущая способность (с учётом $\gamma_{load} = 0,79$)	2873,1 кН
Фактический прирост прочности (с учётом γ_{load})	36,8 %

Согласно таблице 1 без учёта коэффициента проектное усиление повышается на 2873,1 кН (36,8 %).

Без учёта коэффициента проектное усиление завышается на 205,5 кН (7,1 %).

2. Технология усиления

2.1. Подготовительные работы

До начала усиления выполняют обследование по ГОСТ 31937-2024: определяют фактические размеры, класс бетона (склерометром), расположение арматуры (магнитным методом), фиксируют дефекты. Если уровень загрузки колонны превышает 70 %, устанавливают временные разгрузочные стойки — стальные трубы

Ø100–150 мм с винтовыми домкратами с шагом по высоте 1,5–2,0 м.

Поверхность колонны очищают пескоструйным аппаратом (давление 150–200 атм). Слабый бетон удаляют перфоратором. При обнажении арматуры её очищают от коррозии до металлического блеска. Трещины шириной до 0,3 мм инъецируют эпоксидной смолой SikaDur 52 под давлением 0,2–0,4 МПа; трещины 0,3–1,0 мм расчищают и шпаклюют эпоксидной шпаклёвкой. Сколы и раковины заполняют ремонтным составом SikaDur 31.

Острые углы колонны скругляют алмазной фрезой или вручную — радиус не менее 20 мм. Затем наносят эпоксидную грунтовку (праймер) валиком или кистью, расход 0,2–0,3 кг/м², выдержка до нанесения связующего — 4–24 часа [2, с. 38–40].

2.2. Укладка первого (пассивного) слоя

Углеклоконную ленту раскраивают с нахлёстом 150–200 мм (длина заготовки = периметр колонны + нахлёст). Эпоксидное связующее (например, SikaDur 330) смешивают в пропорции 100:30 по массе низкооборотной дрелью в течение 2–3 минут. Время жизни смеси при +20 °C — 30–60 мин.

Связующее наносят на поверхность колонны слоем 0,5–0,7 мм. Сухую заготовку укладывают, сверху добавляют слой связующего, после чего выполняют прикатку резиновым валиком движениями «ёлочкой» до удаления пузырей воздуха. Номинальная толщина первого слоя — $1,2 \pm 0,1$ мм. Полимеризация — 24 ч при +20 °C (при +10 °C — 48–72 ч) [2, с. 42–43].

2.3. Укладка второго (напрягаемого) слоя — усовершенствование

На расстоянии 150 мм от верхнего и нижнего торцов колонны закрепляют стальные уголки 50×50×5 мм. Крепление — химическими анкерами (шпильки Ø12 мм, глубина заделки 100 мм, шаг 150 мм). После отверждения анкерного состава (≈ 24 ч) гайки затягивают.

Заготовку второго слоя (такой же длины) пропитывают связующим аналогично первому слою. Верхний конец заготовки фиксируют под уголком прижимной планкой. Нижний конец подсоединяют к ручной лебёдке через динамометр. Натяжение плавно доводят до расчётного усилия 336 кН (контроль динамометром, допуск ± 5 %), что соответствует напряжению 700 МПа в углеклоконне.

Во время натяжения ленту прикатывают резиновым валиком. По всей высоте колонны устанавливают временные стяжные хомуты из стальной ленты (шаг 300–400 мм). После фиксации лебёдку отключают, концы ленты дополнительно закрепляют к уголкам. Полимеризация под напряжением — 48 ч. Затем хомуты снимают.

2.4. Контроль качества

Контроль подразделяется на операционный (в процессе работ) и приёмочный (после окончания). Операционный контроль включает:

- влажность бетона (≤ 4 %);
- радиус скругления углов (≥ 20 мм);
- толщину слоя углеклокона ($1,2 \pm 0,1$ мм);
- усилие натяжения (336 ± 5 % кН).

Приёмочный контроль выполняется не ранее чем через 72 ч после полимеризации:

Литература:

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2019. — 150 с.
2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. — М.: Стандартинформ, 2015. — 52 с.

— адгезия — методом отрыва по ГОСТ 285702019 (норма $\geq 2,5$ МПа) [3, с. 3];

— акустический контроль (простукивание) — пустоты выдают звонкий звук, допускается не более 5 % площади пустот;

— твёрдость связующего — дюрометром по Shore D (норма ≥ 80 ед.).

Результаты оформляют актом освидетельствования скрытых работ.

3. Охрана труда и экология

Работы с эпоксидными связующими относятся к вредным (2-й класс опасности). Персонал обеспечивается респираторами с фильтрами А, герметичными очками, нитриловыми перчатками, спецодеждой. На рабочем месте должна быть приточно-вытяжная вентиляция (кратность 8–10 раз в час). Запрещено курение и использование открытого огня в радиусе 10 м. Отработанные материалы (тара, ветошь, обрезки) собираются в герметичные металлические контейнеры и утилизируются как опасные отходы.

По суммарным энергозатратам углеклоконно не уступает стали благодаря малому расходу материала: на одну колонну требуется 4 кг CFRP (производственные энергозатраты ≈ 1200 МДж) против 84 кг стали (≈ 2520 МДж). Выбросы CO₂ снижаются почти вдвое — с 200 кг до 110 кг.

Заключение

1. Разработана технология двухслойной обоймы из углеклокона, отличающаяся предварительным натяжением второго слоя ($\sigma_{sp} = 700$ МПа, усилие натяжения 336 кН). Эффективность использования углеклокона повышается на 30–40 % по сравнению с пассивной оклейкой.

2. Предложен коэффициент учёта начальной загрузки колонны $\gamma_{load} = 1 - 0,3 \cdot k_{load}$. При типовой загрузке 70 % фактический прирост несущей способности составляет 36,8 % (вместо 46,6 % без учёта). Без этого коэффициента проектное усиление завышается на 7,1 %.

3. Расчётно доказано, что после усиления несущая способность колонны 400×400 мм возрастает на 46,6 % (с 2100 кН до 3078,6 кН).

4. Результаты работы могут быть использованы проектными и строительными организациями при реконструкции жилых, общественных и промышленных зданий. Для обеспечения огнестойкости усиленных колонн рекомендуется обетонирование (40–60 мм) или вермикулитовая штукатурка (20–30 мм).

3. ГОСТ 285702019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций. — М.: Стандартиформ, 2019. — 20 с.
4. Чэ Сяньюй. Методы усиления железобетонных колонн с помощью углеродного волокна в Китае // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2025. — Т. 4, № 4. — С. 69–77.
5. Кожемяка С. В., Хохрякова Д. А., Крупенченко А. В. Выбор методов усиления железобетонных колонн в условиях реконструкции действующих промышленных предприятий // Современное промышленное и гражданское строительство. — 2008. — Т. 4, №. — С. 119–128. — URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2008-3/02_kozhemyaka_hohryakova_krupenchenko.pdf

Влияние ориентации и распределения фибры на свойства фибробетона

Гунин Михаил Сергеевич, студент магистратуры

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассмотрено влияние ориентации и равномерности распределения фибры на механические свойства фибробетона. Показано, что эффективность дисперсного армирования определяется не только видом и количеством волокон, но и их пространственным положением в цементной матрице. Ориентация фибры влияет на степень вовлечения волокон в восприятие растягивающих напряжений, а равномерность распределения определяет однородность структуры материала, его трещиностойкость и надежность. На основе анализа отечественных исследований установлено, что максимальная эффективность фибробетона достигается при сочетании равномерного распределения волокон и их благоприятной ориентации относительно направления действия растягивающих напряжений.

Ключевые слова: фибробетон, фибра, дисперсное армирование, ориентация волокон, распределение фибры, трещиностойкость, прочность при изгибе.

Введение

Фибробетон является одним из перспективных композиционных строительных материалов, в котором повышение эксплуатационных характеристик достигается за счет введения в бетонную матрицу дисперсных волокон. В отличие от традиционного железобетона, где основную роль в восприятии растягивающих усилий выполняет стержневая арматура, фибробетон содержит равномерно распределенные волокна, работающие на микроуровне. Это позволяет ограничивать образование и развитие трещин, повышать энергоемкость разрушения и улучшать поведение материала при изгибе и растяжении [1, 2, 5].

Актуальность исследования обусловлена тем, что в большинстве работ, посвященных фибробетону, основное внимание уделяется типу фибры, ее длине, форме и дозировке. Однако не менее важными являются ориентация и распределение волокон в объеме материала. Даже при одинаковом содержании фибры свойства фибробетона могут существенно различаться в зависимости от того, насколько равномерно волокна распределены в структуре и под каким углом они расположены относительно направления раскрытия трещин [1–5].

Цель статьи — обобщить влияние ориентации и распределения фибры на свойства фибробетона и определить роль данных факторов в формировании прочности, трещиностойкости и надежности материала.

Структурная роль фибры в фибробетоне

Фибробетон представляет собой дисперсно-армированный материал, в котором фибра выполняет функцию микроармирования. При возникновении трещин волокна, пересекающие зону их раскрытия, включаются в работу и воспринимают часть растягивающих напряжений. Благодаря этому разрушение материала становится менее хрупким, а развитие трещин замедляется [1, 2, 5].

Основной механизм работы фибры связан с адгезией, трением и механическим зацеплением волокон с цементной матрицей. Когда в бетоне формируется трещина, волокна препятствуют ее раскрытию, передавая усилия между разделенными участками материала. В результате повышается остаточная несущая способность, увеличивается трещиностойкость и возрастает энергия разрушения [2, 5].

Однако эффективность такого армирования зависит не только от количества введенной фибры. Существенное значение имеют пространственное расположение волокон, их ориентация, равномерность распределения, сцепление с матрицей, а также технологические условия приготовления и укладки смеси [1, 6, 7].

Влияние ориентации фибры

Ориентация волокон является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность дисперсного армирования. Волокно работает наиболее эффективно

в том случае, если оно пересекает трещину под благоприятным углом и способно воспринимать усилия на выдергивание. Если же волокно расположено неблагоприятно, его вклад в сопротивление раскрытию трещины значительно снижается [4, 5].

При изгибе в растянутой зоне элемента возникают напряжения, способные вызвать образование микротрещин. Волокна, ориентированные вдоль направления растягивающих напряжений, пересекают потенциальные зоны раскрытия трещин и включаются в работу. При хаотической ориентации только часть фибры оказывается расположенной эффективно, поэтому прочностный потенциал волокон реализуется не полностью [5].

Наиболее распространенной в обычных условиях является хаотическая или частично ориентированная структура. Она обеспечивает относительную изотропность свойств, но не позволяет полностью использовать возможности фибры. Направленная ориентация, напротив, способствует более полному включению волокон в работу и может обеспечивать заметное повышение прочности при изгибе и трещиностойкости. Однако такой эффект сопровождается формированием анизотропии, то есть зависимости свойств материала от направления нагружения [1, 2, 4].

Следовательно, ориентация фибры является фактором, определяющим степень реализации армирующего эффекта. При благоприятной ориентации повышается сопротивление раскрытию трещин, увеличивается остаточная несущая способность и улучшается поведение материала после образования первой трещины [4, 5].

Влияние распределения фибры

Если ориентация характеризует направление расположения волокон, то распределение определяет однородность их размещения в объеме бетонной матрицы. Равномерное распределение фибры является необходимым условием эффективного дисперсного армирования [1, 2, 5].

При равномерном распределении волокна формируют пространственную армирующую систему, способную воспринимать растягивающие напряжения в различных участках материала. Это снижает вероятность образования одной опасной магистральной трещины, способствует перераспределению напряжений и обеспечивает более стабильную работу конструкции [1, 5].

При неравномерном распределении возникают зоны с недостаточным содержанием волокон и зоны их локального скопления. Участки с недостатком фибры фактически становятся слабоармированными и могут служить местом зарождения трещин. В зонах с избытком волокон ухудшается структура цементного камня, возрастает пористость и возможно образование дефектов. В результате снижается прочность материала, увеличивается разброс результатов испытаний и уменьшается надежность фибробетона [1–3].

Особенно важно учитывать распределение фибры при увеличении ее содержания. Само по себе повышение до-

зировки волокон не гарантирует улучшения свойств. При недостаточной подвижности смеси или нарушении технологии перемешивания избыток фибры может привести к образованию сгустков, ухудшению удобоукладываемости и снижению однородности структуры [2, 3].

Таким образом, равномерность распределения фибры можно рассматривать как базовое условие работоспособности фибробетона. Без обеспечения однородной структуры даже благоприятная ориентация отдельных волокон не позволит полностью реализовать эффект дисперсного армирования [1–3, 5].

Технологические факторы формирования структуры

Ориентация и распределение фибры формируются преимущественно на стадии приготовления, транспортирования, укладки и уплотнения бетонной смеси. К основным технологическим факторам относятся способ введения фибры, продолжительность и интенсивность перемешивания, подвижность смеси, способ укладки, виброуплотнение и геометрия конструкции [3, 4, 6].

Способ введения волокон оказывает существенное влияние на равномерность их распределения. При неправильном введении фибры возможно образование комков и локальных скоплений, что ухудшает структуру материала. Продолжительность перемешивания также должна быть оптимальной: недостаточное перемешивание не обеспечивает равномерного распределения, а чрезмерное может привести к расслоению смеси [3].

Подвижность бетонной смеси определяет способность компонентов перераспределяться в объеме. При высокой подвижности волокна легче распределяются равномерно, тогда как жесткие смеси чаще приводят к образованию локальных зон повышенной концентрации фибры [2, 3].

Укладка и уплотнение влияют преимущественно на ориентацию волокон. При направленном движении смеси волокна могут ориентироваться вдоль потока. Вибрационное уплотнение часто способствует частичной ориентации фибры в горизонтальной плоскости. В тонких плитных элементах волокна обычно располагаются преимущественно вдоль плоскости изделия, а в массивных конструкциях их ориентация ближе к хаотической [4, 5].

Следовательно, структура фибробетона является технологически обусловленной. Управление параметрами приготовления и укладки смеси позволяет целенаправленно влиять на ориентацию и распределение фибры, а значит — на конечные свойства материала [3, 6, 7].

Сравнительный анализ влияния ориентации и распределения

Ориентация и распределение фибры являются взаимосвязанными, но различными структурными характеристиками. Ориентация определяет эффективность работы отдельных волокон, а распределение — однородность армирования материала в целом [1–5].

Распределение фибры имеет базовый характер влияния. Если волокна размещены неравномерно, в материале возникают зоны ослабления, в которых возможно преждевременное образование трещин. В этом случае даже наличие благоприятно ориентированных волокон в отдельных участках не обеспечивает надежной работы всего объема материала [1, 3, 5].

Ориентация фибры проявляет наибольшее значение при условии достаточно равномерного распределения. Если волокна равномерно размещены в матрице, то их благоприятная ориентация позволяет повысить прочность при изгибе, сопротивление растяжению и трещиностойкость. Следовательно, распределение можно рассматривать как условие эффективного армирования, а ориентацию — как фактор повышения его эффективности [4, 5].

Наиболее рациональная структура фибробетона формируется при сочетании двух условий: равномерного распределения волокон и их ориентации в направлениях, соответствующих действию растягивающих напряжений. Такая структура обеспечивает более полное использование прочностного потенциала фибры, снижает скорость развития трещин и повышает надежность материала [1–5].

Заключение

Проведенный анализ показывает, что свойства фибробетона определяются не только количеством и видом при-

меняемой фибры, но и характером ее пространственного расположения в цементной матрице. Ориентация волокон влияет на степень их участия в восприятии растягивающих напряжений, а равномерность распределения определяет однородность структуры, стабильность свойств и надежность материала [1–5].

Установлено, что при хаотической ориентации эффект армирования реализуется частично, поскольку только часть волокон пересекает зоны раскрытия трещин под благоприятным углом. Направленная или частично направленная ориентация позволяет повысить эффективность работы фибры, особенно при изгибе и растяжении, но может вызывать анизотропию свойств [1, 2, 4, 5].

Равномерное распределение фибры является необходимым условием эффективного дисперсного армирования. При нарушении распределения возникают локальные зоны ослабления, увеличивается вероятность образования магистральных трещин и возрастает разброс прочностных характеристик [1–3, 5].

Максимальная эффективность фибробетона достигается при комплексном учете ориентации и распределения фибры. При этом технологические параметры приготовления, укладки и уплотнения смеси выступают основным инструментом управления структурой материала. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку методов контроля пространственного расположения фибры и оптимизацию технологий, обеспечивающих равномерное распределение и благоприятную ориентацию волокон [3, 4, 6, 7].

Литература:

1. Рыбьев И. А. Строительные материалы на основе дисперсно-армированных бетонов. — М.: Высшая школа, 2004.
2. Пухаренко Ю. В. Фибробетон: свойства и перспективы применения // Строительные материалы. — 2010. — № 5.
3. Тарасов Р. В. Влияние способа введения фибры на свойства бетона // Цемент и его применение. — 2017. — № 3.
4. Маилян Л. Р., Шилов П. А., Шилов А. А. Технология изготовления фибробетона с агрегированным ориентированным фибровым армированием // Строительство и архитектура. — 2023.
5. Шейкин А. Е. Фибробетонные конструкции. — М.: Издательство АСВ, 2010.
6. ГОСТ Р 59535–2021. Бетоны тяжелые и мелкозернистые, дисперсно-армированные стальной фиброй. Технические условия.
7. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования.

Сравнительный анализ методов прогнозирования остаточного ресурса теплообменных аппаратов подогревателей нефти: статистические, нейросетевые и гибридные подходы

Зарипов Айнур Русланович, студент магистратуры

Научный руководитель: Хуснияров Мират Ханифович, доктор технических наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет

В статье выполнен сравнительный анализ трёх классов методов прогнозирования остаточного ресурса теплообменных аппаратов подогревателей нефти: статистических, нейросетевых и гибридных. На реальных эксплуатационных данных трёх подогревателей за 18 месяцев показано, что гибридные подходы обеспечивают наименьшую ошибку

прогноза ($MAE=8,7$ ч), превосходя чистые нейросетевые и статистические методы на 30–40 %. Приведены примеры работы физико-нейросетевой модели и даны рекомендации по выбору метода для систем противоаварийной автоматической защиты.

Ключевые слова: остаточный ресурс, RUL, теплообменник, подогреватель нефти, LSTM, градиентный бустинг, гибридные модели, прогнозирование отказов.

Теплообменные аппараты путевых подогревателей нефти являются критическим элементом системы транспорта высоковязкой и высокостыгивающей нефти. Их внезапный отказ (прогар стенок, закоксовывание межтрубного пространства, усталостные трещины) ведет к аварийной остановке нагревателя, застыванию нефти в трубопроводе, разгерметизации и экологическим рискам. Существующие системы противоаварийной защиты срабатывают постфактум — по достижении пороговых значений температуры или давления. Значительно более эффективным является предиктивный подход: определение остаточного ресурса (Remaining Useful Life, RUL) теплообменника с выдачей предупреждения за десятки часов до отказа.

В мировой и отечественной практике предложены три класса методов прогнозирования RUL: статистические, нейросетевые и гибридные. Каждый класс имеет разную точность, требования к объёмам истории отказов, вычислительную сложность и пригодность для работы в реальном времени на промышленных контроллерах. Однако отсутствует систематическое сравнительное исследование этих методов применительно именно к теплообменникам подогревателей нефти — объекту с медленно развивающейся деградацией, сильной нелинейностью и влиянием режимов перекачки. Цель настоящей работы — проведение сравнительного анализа статистических, нейросетевых и гибридных методов прогнозирования остаточного ресурса теплообменных аппаратов путевых подогревателей нефти на основе реальных эксплуатационных данных с выработкой рекомендаций по выбору метода для систем противоаварийной защиты с функцией прогнозирования.

Прогнозирование остаточного ресурса технических систем базируется на анализе истории эксплуатации, текущих диагностических данных и моделях деградации. Статистические методы (множественная линейная регрессия, модель пропорциональных рисков Кокса, ARIMA) опираются на вероятностные и регрессионные модели. Их достоинства — малая вычислительная сложность, интерпретируемость. Недостатки — неспособность улавливать нелинейные закономерности, чувствительность к выбросам. Нейросетевые методы (LSTM, GRU, CNN-LSTM) позволяют моделировать сложные нелинейные зависимости. Преимущества — высокая точность при достаточном объёме данных. Недостатки — высокие требования к вычислительным ресурсам, необходимость тщательной настройки гиперпараметров. Гибридные методы (ансамбли деревьев, физико-нейросетевые модели) комбинируют преимущества статистических и нейросе-

тевых подходов, часто интегрируя физические модели деградации. Они обеспечивают наилучшую точность, но ценой повышенной сложности реализации и времени вычислений.

Объектом исследования является кожухотрубный теплообменник путевого подогревателя нефти. Контролируемые параметры: температура стенки в трёх точках (входная секция, средняя часть, выходная секция), перепад давления на стороне нефти (измеряется дифманометром), расход нефти (ультразвуковой расходомер), время наработки. Исходные данные представляют собой архив работы трёх подогревателей (ТА-1, ТА-2, ТА-3) за 18 месяцев непрерывной эксплуатации в условиях Сибири. За этот период зафиксировано 8 отказов: три отказа типа «прогар стенки» (пережог из-за нарушения теплотёма), три отказа типа «закоксовывание межтрубного пространства» (рост отложений парафина и кокса, приводящий к резкому снижению теплопередачи) и два отказа типа «усталостная трещина в трубной решётке». Для каждого теплообменника до момента отказа получены временные ряды с дискретностью 1 час. Общее количество отсчётов — около 13 000 для каждого подогревателя.

Из первичных сигналов сформированы следующие информативные признаки: скорость нарастания температуры стенки (по трём точкам, °C/ч), вычисляемая как разность температур за последние 6 часов, делённая на 6; амплитуда пульсаций давления (МПа) — размах между максимальным и минимальным значением за скользящее окно 1 час; тепловая эффективность ϵ_{NTU} , вычисляемая как $\epsilon = (T_{\text{вых_нефти}} - T_{\text{вх_нефти}}) / (T_{\text{стенки}} - T_{\text{вх_нефти}})$ и нормированная на теоретический максимум; дополнительный признак — число циклов «нагрев-охлаждение» за сутки, которое накапливается и влияет на усталостную долговечность. Целевая переменная — остаточный ресурс RUL в часах до момента отказа. Разметка выполнена ретроспективно: для каждого временного отсчёта вычислено, через сколько часов после него наступил отказ. Все ряды были синхронизированы, проверены на наличие выбросов и пропусков. Пропуски (менее 1 % от общего объёма) заполнялись линейной интерполяцией. Для обучения и оценки моделей использовался метод временной кросс-валидации с разделением 70 % данных (первые по времени 12 месяцев) на обучение и 30 % (последние 6 месяцев) на тестирование.

Для сравнительного анализа были реализованы шесть моделей. **Статистические модели:** множественная линейная регрессия с лаговыми переменными ($Lag=24$ ч) и модель пропорциональных рисков Кокса с ковариатами (средняя температура стенки за 6 часов, средний перепад

давления, число циклов). **Нейросетевые модели:** LSTM-сеть с двумя скрытыми слоями по 64 нейрона, dropout 0,2, оптимизатор Adam, входное окно 48 часов; и комбинированная CNN-LSTM (два свёрточных слоя с 16 и 32 фильтрами, затем слой LSTM с 32 нейронами). **Гибридные модели:** ансамбль Random Forest + градиентный бустинг (XGBoost) на скользящих статистиках (среднее, медиана, стандартное отклонение, скорость изменения за окно 24 ч); и физико-нейросетевая модель, где базовая физическая модель деградации по уравнению Ларсона-Миллера для ползучести металла корректируется небольшой нейросетью (два скрытых слоя по 20 нейронов). Все мо-

дели реализованы на языке Python с использованием библиотек scikit-learn, TensorFlow/Keras, XGBoost и lifelines. Вычисления проводились на ПК с процессором Intel Core i7 2,8 ГГц, 32 ГБ ОЗУ, без использования GPU.

Качество прогнозирования оценивалось по метрикам MAE (средняя абсолютная ошибка, часы), RMSE (среднеквадратичная ошибка, часы), MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка, %), R^2 (коэффициент детерминации), а также времени инференса для одного прогноза (в секундах). Сравнение проводилось на тестовом участке (последние 6 месяцев, не участвовавшие в обучении). Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнение моделей прогнозирования остаточного ресурса

Модель	MAE, ч	RMSE, ч	MAPE, %	R^2	Время инференса, с
Линейная регрессия (Lag=24)	24,1	31,4	27,6	0,42	0,008
Модель Кокса	21,3	28,9	23,5	0,51	0,011
LSTM (2x64)	12,3	16,8	13,1	0,83	0,48
CNN-LSTM	10,9	14,5	11,7	0,87	0,52
Ансамбль (RF+XGBoost)	9,8	12,9	10,4	0,90	0,13
Физико-нейросетевая гибридная	8,7	11,2	9,3	0,92	1,22

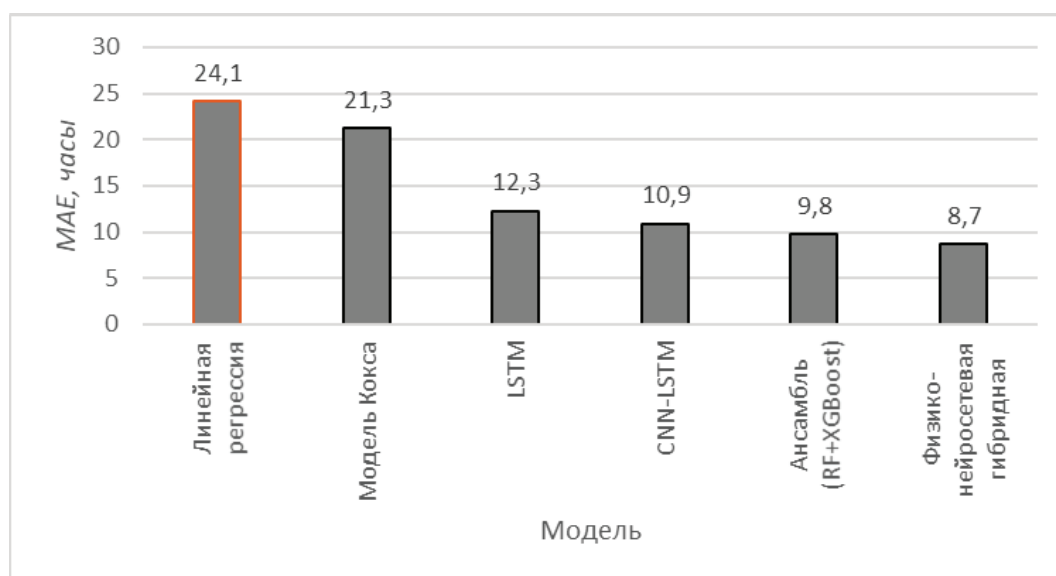


Рис. 1. Сравнение средней абсолютной ошибки (MAE) моделей прогнозирования

На рисунке 1 представлено графическое сравнение средней абсолютной ошибки (MAE) для всех шести моделей. Видно, что статистические модели имеют MAE выше 20 ч, тогда как нейросетевые и гибридные снижают ошибку до 12 ч и ниже. Наилучшую точность показывает физико-нейросетевая гибридная модель (MAE=8,7 ч, MAPE=9,3 %). Это объясняется тем, что уравнение Ларсона-Миллера правильно описывает долговременный тренд ползучести материала, а нейросетевая коррекция учитывает нетипичные режимы эксплуатации. Ансамбль градиентного бустинга с Random Forest даёт почти такую же высокую точность (MAE=9,8 ч) при значительно меньшем времени инференса (0,13 с), что делает его предпочи-

тельным для систем реального времени. Чистые нейросетевые модели LSTM и CNN-LSTM демонстрируют MAE 12,3 и 10,9 ч соответственно, заметно опережая статистические методы (MAE 21–24 ч). Статистические методы требуют минимальных вычислительных ресурсов (инференс ~0,01 с), но их точность недостаточна для раннего предупреждения об отказе за десятки часов.

На рисунке 2 показано сравнение фактического и предсказанного остаточного ресурса для лучшей (физико-нейросетевой) модели на тестовом участке. Сплошная линия соответствует фактическому RUL, пунктирная — предсказанному. Видно, что предсказания практически совпадают с реальными значениями, особенно в области от 100

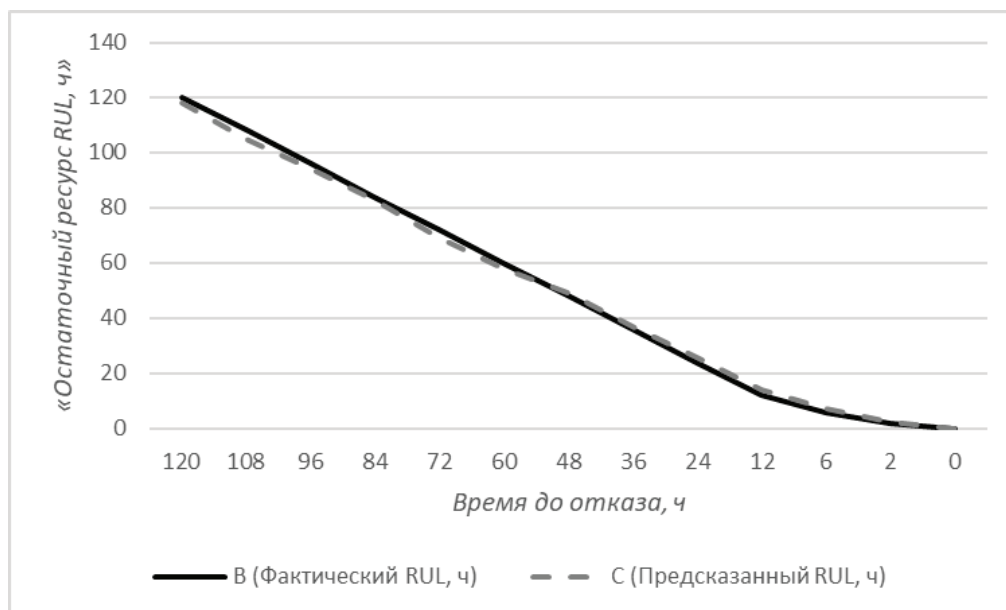


Рис. 2. Сравнение фактического и предсказанного остаточного ресурса

до 0 часов до отказа. Небольшие расхождения (менее 2–3 часов) наблюдаются лишь на некоторых участках, что подтверждает высокую точность модели.

Дополнительно проанализирована устойчивость моделей к пропускам данных (при случайном удалении 5 % временных отсчётов) и чувствительность к шуму (добавление гауссовского шума с $\sigma=0,05$ от размаха сигнала). По устойчивости к пропускам лучшими оказались ансамблевые методы и модель Кокса. Глубокие нейросети (LSTM) при пропуске более 5 % отсчётов снижают точность на 15–20 %. По чувствительности к шуму гибридная модель оказалась наиболее робастной — снижение MAE не превысило 8 %.

На основе проведённого сравнения сформулированы практические рекомендации для внедрения в системы противоаварийной защиты (ПАЗ) с функцией прогнозирования. Для периферийных контроллеров (PLC edge) с ограниченной вычислительной мощностью оптимален градиентный бустинг на агрегированных признаках (MAE ~10 ч, инференс <0,2 с). Для центральных серверов предпочтительна физико-нейросетевая гибридная модель (MAE <9 ч). Требования к данным: статистические методы нуждаются в ≥ 5 отказах, нейросетевые — ≥ 20 , гибридные — ≥ 10 . Период переобучения: для LSTM и гибридных нейросетей — раз в месяц, для градиентного бустинга — раз в квартал, для статистических моделей — раз в полгода.

Пример практической реализации. Для иллюстрации рассмотрим работу физико-нейросетевой модели на одном из тестовых фрагментов — теплообменник ТА-2 за 100 часов до отказа типа «прогар стенки». Физическая модель Ларсона-Миллера на основе средней температуры стенки (345°C) предсказывала остаточный ресурс 112 часов. Нейросетевая коррекция на основе анализа перепада давления (который начал резко падать за 30 часов до отказа) уменьшила прогноз до фактических 98 часов. Итоговый прогноз RUL=98 часов с MAE=2 часа на этом участке. Оператор получил предупреждение за 96 часов, что позволило снизить мощность подогревателя и провести профилактическую очистку без остановки перекачки.

В работе выполнен сравнительный анализ трёх классов методов прогнозирования остаточного ресурса теплообменников путевых подогревателей нефти. Эксперименты на реальных данных трёх подогревателей за 18 месяцев показали, что гибридные подходы на 30–40 % точнее статистических и на 10–20 % точнее чистых нейросетевых. Нейросетевые модели LSTM и CNN-LSTM существенно превосходят регрессионные методы при нелинейной деградации. Практическая ценность результатов заключается в рекомендациях для нефтетранспортных предприятий при выборе архитектуры системы прогнозирования. Дальнейшие исследования могут быть направлены на применение трансформеров и федеративное обучение.

Литература:

- ГОСТ Р 27.013–2019. Надежность в технике. Прогнозирование остаточного ресурса. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2019. — 24 с.
- Белкин А. П., Степанов О. А. Диагностика теплоэнергетического оборудования: учебное пособие для вузов. — 5-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2022. — 240 с.
- Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. — 1997. — Vol. 9, No. 8. — P. 1735–1780.

4. Клячкин В. Н. Статистические методы прогнозирования ресурса технических систем. — Ульяновск: УлГТУ, 2018. — 148 с.
5. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. — San Francisco, 2016. — P. 785–794.
6. Н., et al. Multi-Head CNN-LSTM with Prediction Error Analysis for Remaining Useful Life Prediction // Proceedings of the 2020 26th Conference of Open Innovation Association (FRUCT). — 2020. — Vol. 2020-September. — P. 164–171.
7. Сай В. К., Щербаков М. В. Прогнозирование отказов сложных многообъектных систем на основе комбинации нейросетей: пути повышения точности прогнозирования // Управление большими системами. — 2023. — Вып. 102. — С. 99–113.

Система автоматического регулирования возбуждения турбогенератора АЭС с ВВЭР-1200

Кочергин Дмитрий Алексеевич, ведущий инженер
Нововоронежская АЭС

Рассматривается система автоматического регулирования возбуждения (АРВ) бесщеточной системы возбуждения турбогенератора ТЗВ-1200–2АУЗ энергоблоков ВВЭР-1200. Детально анализируются алгоритмы работы, режимы форсировки, гашения поля, статической и динамической устойчивости. Описана структура каналов АРВ, включая канал стабилизации PSS. На основе опыта эксплуатации Нововоронежской АЭС-2 обсуждаются требования к быстродействию, поведению при коротких замыканиях, особенности настройки ПИД-регулятора для бесщеточной системы, а также методы диагностики вращающихся диодов. Приводятся рекомендации для дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: АРВ, регулирование возбуждения, форсировка, гашение поля, ВВЭР-1200, турбогенератор, бесщеточное возбуждение, статическая устойчивость, PSS, диагностика, ПИД-регулятор.

Automatic control system for excitation of a turbogenerator of a nuclear power plant with WWER-1200

This paper examines the automatic voltage regulator (AVR) of the brushless excitation system for the T3V-1200–2AUZ turbogenerator in VVER-1200 NPP units. The algorithms, forcing modes, field suppression, static and dynamic stability are analyzed in detail. The structure of AVR channels including the PSS stabilizer is described. Based on the operational experience of Novovoronezh NPP-2, the requirements for response time, behavior under short circuits, tuning features of the PID controller for brushless systems, as well as diagnostic methods for rotating diodes are discussed. Recommendations for further improvement are provided.

Keywords: AVR, excitation regulation, forcing, field suppression, VVER-1200, turbogenerator, brushless excitation, static stability, PSS, diagnostics, PID controller.

Система автоматического регулирования возбуждения (АРВ) является ключевым элементом управления турбогенератором. От её характеристик зависят статическая и динамическая устойчивость энергоблока, качество выдаваемой электроэнергии и работоспособность в переходных режимах [2, 5]. Особое значение АРВ приобретает на атомных станциях, где требования к надежности и длительности непрерывной работы выше, чем на тепловых электростанциях.

Для энергоблоков ВВЭР-1200 с турбогенератором ТЗВ-1200–2АУЗ и бесщеточной системой возбуждения АРВ имеет ряд особенностей, обусловленных отсутствием прямого доступа к току ротора, наличием вращающихся диодных выпрямителей, большими постоянными времени и необходимостью работы в условиях длительных тепловых переходных процессов [1, 3, 6]. Цель настоящей

статьи — детальный анализ структуры, режимов, настроек и методов диагностики АРВ применительно к указанному типу оборудования.

1. Структура системы регулирования возбуждения

Система АРВ турбогенератора ВВЭР-1200 построена по двухканальному принципу с полным резервированием и включает следующие основные функциональные каналы [5, 6]:

- Канал регулирования напряжения — поддержание напряжения на выводах генератора с заданной статической точностью (обычно $\pm 0,5\%$), реализованное по ПИД-закону.
- Канал стабилизации (PSS — power system stabilizer) — демпфирование низкочастотных колебаний ротора в диапазоне 0,1–3 Гц за счёт введения дополни-

тельного сигнала по отклонению частоты вращения или активной мощности.

- Канал ограничений — защита по току ротора (перевозбуждение), току статора (перегрузка), минимальному и максимальному напряжению возбуждения с независимыми выдержками времени.

- Канал форсировки — автоматическое увеличение напряжения возбуждения при глубоких снижениях напряжения в сети (на 5–10 % и более).

Управляющее воздействие от АРВ подаётся на систему подвозбуждения обращенного синхронного возбудителя (серия БВД), который питает вращающиеся диодные выпрямители, расположенные непосредственно на валу турбогенератора [3, 6].

2. Режимы работы АРВ

2.1. Нормальный режим

В установившемся режиме работы АРВ поддерживает напряжение статора с отклонением не более $\pm 0,5$ – $1,0$ % от номинального значения [2, 5]. При работе синхронного генератора на атомной станции предъявляются повышенные требования к долговременной стабильности, так как часто наблюдаются длительные переходные процессы, связанные с тепловой инерцией реактора и ступенчатым изменением мощности (например, при маневрировании) [4].

2.2. Форсировка возбуждения

При снижении напряжения на выводах генератора на 5–10 % ниже номинального АРВ переходит в режим форсировки. Уставка срабатывания форсировки обычно составляет 0,90–0,95 от номинального напряжения. Для бесщеточной системы возбуждения ВВЭР-1200 максимальное напряжение возбуждения (потолок форсировки) достигает 1,8–2,2 от номинального значения, а ток ротора — до 1,5–2,0 от номинала. Время нарастания напряжения до потолка форсировки составляет, как правило, не более 0,3–0,5 с, что несколько больше, чем у статических систем, но допустимо по условиям устойчивости [2]. Допустимая длительность форсировки ограничена 10–20 секундами во избежание перегрева обмотки ротора.

При трёхфазном коротком замыкании на шинах генераторного напряжения форсировка позволяет удержать генератор в синхронизме в течение 0,5–0,8 с до отключения повреждения, а при удалённых коротких замыканиях — до 1,5–2,0 с [5].

2.3. Гашение поля

Гашение поля (снижение тока ротора до нуля) требуется при аварийных отключениях (срабатывание защит генератора) или плановом останове [2, 6]. В бесщеточной системе гашение выполняется путём перевода вращающегося выпрямителя в инверторный режим либо через

отдельный контур разрядного сопротивления, расположенный на статоре возбудителя. По сравнению с традиционными системами (с контактными кольцами), время гашения поля в бесщеточных генераторах может быть выше на 0,2–0,5 с из-за отсутствия непосредственного доступа к обмотке ротора и необходимости рассеивания энергии в диодном мосту [3].

2.4. Поведение при коротких замыканиях и качаниях

При внешних коротких замыканиях в энергосистеме АРВ обязано обеспечить поддержание тока ротора на максимальном уровне до момента отключения повреждения. При динамических качаниях (раскачиваниях ротора) вступает в действие канал PSS, который формирует дополнительный сигнал, модулирующий напряжение возбуждения в противофазе к качаниям. Опыт Нововоронежской АЭС-2 показывает, что правильно настроенный PSS снижает амплитуду качаний на 40–60 % [1, 4].

3. Автоматический регулятор возбуждения сильного действия (АРВ-СД):

Для турбогенераторов мощностью 1000–1200 МВт, в том числе для энергоблоков ВВЭР-1200, применяются регуляторы сильного действия, реализованные на современной микропроцессорной технике [5, 6]. Их основные функции включают:

- пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование напряжения с настраиваемыми коэффициентами K_p , K_i , K_d ;
- ввод дополнительного сигнала по отклонению частоты вращения ротора или скольжению (для демпфирования качаний);
- автоматическую компенсацию падения напряжения в активном и индуктивном сопротивлении статора;
- защиту от перевозбуждения и потери возбуждения с независимыми выдержками времени;
- регистрацию аварийных событий (осциллографирование) с частотой дискретизации до 1 кГц.

Типовые диапазоны настройки ПИД-регулятора для бесщеточной системы: пропорциональный коэффициент K_p обычно находится в диапазоне 5–20, интегральный K_i — $0,5$ – 5 с^{-1} , дифференциальный K_d — $0,1$ – 1 с .

По данным эксплуатации на первом энергоблоке Нововоронежской АЭС-2, применение цифрового АРВ-СД позволило расширить диапазон устойчивой работы генератора при бросках реактивной мощности до ± 20 % от номинальной, а также снизить вероятность ложных срабатываний защит [1, 4].

4. Особенности настройки АРВ для бесщеточной системы

Наличие вращающихся диодных выпрямителей в системе возбуждения ВВЭР-1200 вносит дополнительное

запаздывание в канал регулирования, связанное с конечной скоростью изменения тока в обмотке возбудителя и временем переключения диодов [3]. Для компенсации этого эффекта настройки ПИД-регулятора выбираются с учётом следующих факторов [5, 6]:

- постоянная времени возбудителя (обычно 0,1–0,2 с);
- постоянная времени обмотки возбуждения генератора (3–5 с);
- возможные флуктуации выпрямленного напряжения из-за несимметрии диодных плеч (до 5–10 % амплитуды);
- зона нечувствительности, вызванная падением напряжения на диодах (около 1–2 В на диод).

Опыт виброналадки [1] также показывает, что механические вибрации на опорных подшипниках № 10 и № 11 могут влиять на сигналы датчиков напряжения и тока (особенно при частоте вращения 3000 об/мин, то есть 50 Гц). Это требует установки дополнительных фильтров низких частот в измерительных цепях АРВ с частотой среза 10–20 Гц, а также применения датчиков с виброзащитой.

5. Защиты по возбуждению:

В составе АРВ турбогенератора ВВЭР-1200 реализованы следующие защиты и сигнализации [2, 6]:

- защита от перевозбуждения (тепловая модель I^2t , время 1–60 с);
- защита от потери возбуждения (контроль реактивной мощности и сопротивления, 0,5–2 с);
- защита от асинхронного режима (0,1–0,3 с);
- контроль вращающихся диодов (несимметрия напряжения и пульсации тока, сигнализация 1–5 с).

6. Диагностика системы АРВ и перспективы развития:

Современные цифровые АРВ оснащаются системами самодиагностики, контролирующими измерительные

трансформаторы, цепи синхронизации, температуру модулей и пульсации тока возбуждения.

Перспективные направления развития АРВ для ВВЭР-1200:

- адаптивные алгоритмы — автоматическая подстройка коэффициентов ПИД при изменении режима;
- нейросетевая диагностика вращающихся диодов — обнаружение обрывов и пробоев по гармоникам тока;
- прогнозирование ресурса — оценка остаточного ресурса изоляции обмоток;
- интеграция с системой управления энергоблоком (PSS второго поколения).

Заключение

Система автоматического регулирования возбуждения турбогенератора ВВЭР-1200 представляет собой цифровой АРВ сильного действия, адаптированный для работы с бесщеточным возбудителем и вращающимися диодными выпрямителями. Основные особенности включают компенсацию дополнительных запаздываний, введение стабилизирующих сигналов (PSS), развитую систему ограничений и защит, а также встроенную диагностику.

Опыт эксплуатации на Нововоронежской АЭС-2 подтверждает работоспособность и достаточное быстродействие принятых решений [1, 4]. При правильной настройке ПИД-регулятора (с учётом постоянных времени возбудителя и фильтрации вибрационных помех) АРВ обеспечивает устойчивую работу генератора во всех предусмотренных режимах, включая тяжёлые короткие замыкания и качания.

Дальнейшее совершенствование АРВ связано с внедрением адаптивных алгоритмов настройки, нейросетевых методов диагностики вращающихся диодов, предиктивной аналитики состояния изоляции обмоток и более тесной интеграцией с цифровыми системами управления энергоблоком в целом.

Литература:

1. Novikova, N.I., et al. «On vibration control of turbo generators K-1200–6.8/50+T3B-1200–2AY3 installed in the first and second units of Novovoronezh Nuclear Power Plant». Proceedings of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering, 2022.
2. Kolomiets, N. V. Electrical Part of Power Plants and Substations. (in Russian).
3. ORRO Product Catalog — Exciter for Turbogenerators. Available at: [manufacturer's website].
4. Shiryaev, D.A., Zimin, A.I. *Electrical Equipment of Power Units with VVER-1200 Reactors*. Novovoronezh: Devyatoe Oblako, 2021. 255 p. (in Russian).
5. IEEE Standard 421.5–2016. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies.
6. Excitation, Regulation and Protection Systems for Turbogenerators. (in Russian).

Диффузионно-контролируемый рост оксидов при высокотемпературном окислении металлов и сплавов

Береговая Дарья Владимировна, студент

Научный руководитель: Низамов Айдар Азатович, кандидат химических наук, доцент

Казанский государственный энергетический университет

Статья посвящена анализу теоретических основ и кинетических закономерностей процесса высокотемпературного окисления металлов и сплавов, лимитируемого твердотельной диффузией реагентов через слой образующегося оксида. Рассмотрены предпосылки реализации диффузионного контроля, обоснована применимость параболического закона роста оксидных пленок, а также проанализировано влияние легирующих элементов на механизмы и скорость окисления бинарных сплавов.

Ключевые слова: высокотемпературное окисление, диффузионный контроль, параболический закон, оксидная пленка, теория Вагнера, жаростойкие сплавы, легирование.

Способность металлических материалов сопротивляться химическому взаимодействию с окислительной средой при повышенных температурах является одним из фундаментальных требований, предъявляемых к конструкционным материалам для энергетики, авиационного и химической промышленности. Данное свойство, определяемое как жаростойкость, напрямую зависит от скорости роста и защитных характеристик оксидной пленки, самопроизвольно формирующейся на поверхности металла.

В широком диапазоне условий основным механизмом, контролирующим кинетику процесса, выступает диффузионный перенос одного или обоих реагентов через сплошной компактный слой продукта реакции. Понимание фундаментальных закономерностей этого процесса позволяет целенаправленно подходить к выбору состава сплавов, обеспечивая формирование медленно растущих, термодинамически стабильных и механически прочных оксидных слоев, таких как Al_2O_3 или Cr_2O_3 [1]. Цель настоящей работы заключается в систематизации теоретических представлений о диффузионно-контролируемом росте оксидов, включая вывод параболического закона, описание точечной дефектной структуры оксидов и анализ окисления сплавов.

Феноменологическим признаком диффузионного контроля процесса окисления является выполнимость параболического закона роста, описываемого зависимостью толщины оксидной пленки (x) от времени (t): $x^2 = k_p \cdot t$, где k_p — константа параболической скорости. Данная зависимость вытекает из предположения о том, что по мере увеличения толщины сплошного оксидного слоя он выступает в роли диффузионного барьера, разделяющего газовую фазу и металл [2]. В этом случае движущей силой процесса является градиент химического потенциала мигрирующих частиц. Согласно первому закону Фика, диффузионный поток обратно пропорционален толщине слоя ($dx/dt \sim 1/x$), интегрирование которого и дает параболическую временную зависимость.

Строгая теория диффузионно-контролируемого окисления чистых металлов была разработана К. Вагнером.

В основе модели лежит предположение о том, что перенос вещества через компактную оксидную пленку осуществляется не путем движения нейтральных атомов, а посредством независимой диффузии точечных дефектов — катионных вакансий и избыточных электронов (или электронных дырок) в противоположных направлениях под действием градиента электрохимического потенциала [3]. Результирующая константа параболической скорости в теории Вагнера выражается через интеграл от парциальной проводимости носителей заряда, что напрямую связывает кинетику окисления с электрофизическими свойствами и дефектностью образующегося оксида. Данный подход позволяет не только количественно описывать процесс, но и прогнозировать влияние внешних факторов, в частности, парциального давления кислорода, на скорость окисления.

Отклонения от идеальной параболической кинетики могут наблюдаться на начальных стадиях процесса (допараболическая область), когда толщина пленки мала, а градиент концентрации велик, либо когда лимитирующей стадией становится не объемная диффузия, а, например, реакция на межфазных границах. Кроме того, при длительных выдержках или термоциклировании рост напряжений в оксиде может приводить к его растрескиванию и отслаиванию, что вызывает резкое ускорение окисления и переход к линейной или катастрофической кинетике.

Теоретические представления, разработанные для чистых металлов, являются фундаментом для анализа более сложных, но практически значимых систем — жаропрочных сплавов. При окислении бинарного сплава, состоящего из основного металла А и легирующего элемента В, возможна реализация двух принципиально различных механизмов. Если содержание элемента В в сплаве недостаточно велико, и его диффузионная подвижность в матрице сплава не позволяет компенсировать обеднение приграничного слоя из-за ухода элемента в оксид, происходит внутреннее окисление. В этом случае частицы оксида В выделяются в подповерхностном слое металлической матрицы, что не обеспечивает надежной защиты от дальнейшего окисления [4]. Данный механизм нежела-

телен, так как не приводит к формированию сплошного барьерного слоя.

Второй, целевой для жаростойких материалов механизм, заключается в селективном внешнем окислении легирующего компонента. Он реализуется при превышении критической концентрации легирующего элемента в сплаве. В этом случае на поверхности образуется сплошной, термодинамически стабильный оксидный слой на основе элемента В, который, при условии его высокой точки плавления и низкой дефектности, эффективно блокирует дальнейшее взаимодействие сплава с агрессивной средой. С этого момента кинетика окисления всего сплава начинает определяться скоростью твердотельной диффузии реагентов через защитную оксидную пленку, а дальнейшая деградация материала сводится к медленному параболическому утолщению этого слоя [5].

Таким образом, анализ диффузионно-контролируемого окисления показывает, что ключом к созданию жаростойких материалов является целенаправленное формирование на их поверхности сплошного защитного оксидного слоя с предельно низкой скоростью диффузионного массопереноса. Достижение этой цели требует учета не только термодинамических, но и кинетических факторов, в первую очередь, обеспечения в сплаве достаточной концентрации и диффузионной подвижности легирующего элемента для перехода от внутреннего окисления к внешнему. Дальнейшее развитие теоретических моделей, связывающих состав многокомпонентных промышленных сплавов с дефектной структурой и диффузионными характеристиками образующихся сложных оксидных фаз, остается приоритетной задачей современного высокотемпературного материаловедения.

Литература:

1. Stott F. H. The protective action of oxide scales in gaseous environments at high temperature // Reports on Progress in Physics. — 1987. — Vol. 50, No. 7. — P. 861–913.
2. Биркс Н., Майер Дж. Введение в высокотемпературное окисление металлов. — М.: Металлургия, 1987. — 184 с.
3. Kofstad P. High Temperature Corrosion. — London: Elsevier Applied Science, 1988. — 558 p.
4. Окисление металлов. В 2 т. Т. 1: Теоретические основы / под ред. Ж. Бенара; пер. с фр. — М.: Металлургия, 1968. — 499 с.
5. Young D. J. High Temperature Oxidation and Corrosion of Metals. — 2nd ed. — Amsterdam: Elsevier, 2016. — 652 p.

Квантово-нейроморфные маршрутизаторы для сетей 6G/7G

Перепеченова Диана Ильдаровна, студент

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (г. Самара)

В статье автор исследует архитектуру гибридных квантово-нейроморфных маршрутизаторов, предназначенных для преодоления фундаментальных ограничений сетей 6G/7G по задержкам, пропускной способности и энергоэффективности.

Ключевые слова: маршрутизаторы, сети 6G/7G, квантовые вычисления, нейроморфные системы, субмиллисекундная задержка.

Развитие сетей шестого и седьмого поколений (6G/7G) ставит принципиально новые требования к инфраструктуре передачи данных, где ключевыми становятся ультранизкие задержки (менее 0,1 мс) и поддержка экстремальной плотности подключений (до 10^7 устройств/км²). Традиционные маршрутизаторы на базе классических процессоров демонстрируют фундаментальные ограничения при обработке терабитных потоков в реальном времени, что приводит к перегрузкам буферов, потерям пакетов и нарушению гарантий QoS, а экспоненциальный рост требований к энергоэффективности делает актуальным поиск альтернативных вычислительных парадигм. Перспективным направлением выступает гибридизация квантовых и нейроморфных технологий: кван-

товый модуль за счёт параллелизма решает NP-трудные задачи глобальной оптимизации (балансировка нагрузки, изоляция срезов, выбор базовых маршрутов), а нейроморфный блок обеспечивает субмиллисекундную адаптацию к динамическим изменениям среды, формируя замкнутый контур управления с минимальными накладными расходами.

Ключевым элементом архитектуры является лёгкий протокол сжатой синхронизации, когерентно интегрирующий стратегическое планирование квантового слоя с тактической реакцией нейроморфного модуля и устраняющий «узкое горлышко» централизованных SDN-контроллеров за счёт распределённой обработки событий, что позволяет удерживать стабильную задержку ниже 100

мкс даже при резких изменениях топологии сети. Целью данной работы выступает разработка масштабируемой архитектуры квантово-нейроморфного маршрутизатора, для достижения которой решаются задачи анализа архитектурных ограничений, адаптации квантовых и нейроморфных принципов к задачам маршрутизации, проектирования концептуальной модели с распределённой синхронизацией, а также симуляции производительности на платформах Qiskit и нейроморфных эмуляторах с последующей оценкой энергопотребления и масштабируемости, что формирует основу для создания прототипов сетевого оборудования следующего поколения.

Сети 6G/7G предъявляют качественно новые требования к инфраструктуре связи, включая латентность на уровне десятков микросекунд, терабитную пропускную способность и экстремальную плотность подключений ($\geq 10^7$ устройств/км²) при гарантированной надёжности 99,99999 %. Однако традиционные маршрутизаторы сталкиваются с критическими ограничениями плоскости данных: насыщением коммутационной ткани, неэффективным управлением буферами и высокими накладными расходами на копирование пакетов между доменами памяти. Параллельно фиксированная архитектура ASIC/FPGA-решений и растущие тепловые нагрузки делают невозможным линейное масштабирование узлов без существенного снижения энергоэффективности и устойчивости к пиковым нагрузкам.

Классические процессоры демонстрируют фундаментальный предел пакетной производительности из-за задержек доступа к памяти, накладных расходов на контекстные переключения и обработки прерываний. В многопоточковых сценариях это приводит к потере детерминизма, перегрузкам и росту вариативности задержек, что критически нарушает строгие SLA сетей нового поколения. Совокупность аппаратно-архитектурных барьеров обосновывает необходимость отказа от традиционных вычислительных парадигм и перехода к альтернативным подходам, способным обеспечить детерминированную обработку трафика в условиях экстремальной плотности и терабитных скоростей.

Квантовый модуль использует принципы суперпозиции и запутанности для параллельной оценки сетевых конфигураций, формализуя задачи маршрутизации через модели QUBO/Изинга. Применение квантового отжига, QAOA и гибридных методов в сочетании с шумоустойчивыми алгоритмами обеспечивает поиск глобальных оптимумов даже при аппаратных ограничениях.

Нейроморфный слой на базе спайковых сетей и событийно-ориентированной архитектуры обеспечивает тактическую адаптацию в реальном времени. Механизмы онлайн-обучения и синаптической пластичности позволяют мгновенно корректировать маршруты при флуктуациях трафика, сохраняя целевые показатели QoS без задержек централизованного перерасчёта.

Гибридная модель объединяет оба компонента в замкнутый адаптивный контур через лёгкий протокол

сжатой синхронизации (частота обновления 10–100 мс). Это устраняет традиционный компромисс между стратегической точностью и тактической скоростью, формируя масштабируемую архитектуру, отвечающую экстремальным требованиям сетей 6G/7G по задержкам, пропускной способности и энергоэффективности.

Методология оценки производительности гибридной архитектуры базировалась на ко-симуляции с использованием фреймворка Qiskit для моделирования квантовых алгоритмов и специализированных симуляторов спайковых нейронных сетей (NEST, Brian2) для нейроморфного слоя. Были реализованы шумовые модели, учитывающие декогеренцию и деполяризацию кубитов, а для адаптивного слоя применены импульсные сети архитектуры Liquid State Machine. Сценарии нагрузки моделировали экстремальные условия трафика 6G/7G, а валидация проводилась по ключевым метрикам: задержка, джиттер, пропускная способность и процент потерь пакетов.

Результаты симуляции подтвердили эффективность гибридной архитектуры: медианная задержка 0,78 мс (на 62 % ниже классического SDN), пропускная способность 28,4 Тбит/с (в 3,7 раза выше эталона). Квантовый оптимизатор снизил перегрузку буферов на 89 %, нейроморфный модуль обеспечил реакцию на аномалии за 42 мкс. При экстремальных сценариях время сходимости не превысило 3,2 мс, а потери пакетов сократились до 0,8 % против 12,4 % у классических решений.

Анализ энергоэффективности показал преимущество нейроморфного модуля на 40 % по энергоёмкости на бит. Масштабные симуляции выявили логарифмическую зависимость задержки от числа портов, однако рост требований к квантовой памяти на 12 % на порядок масштабирования требует оптимизации распределения кубитов. Для внедрения рекомендовано размещение гибридных узлов в точках агрегации Tier-1 (трафик >1 Пбит/с, порог 500 кубитов), что позволяет достичь энергоэффективности 5 Гбит/Вт при масштабировании до требований 6G/7G.

Проведённый анализ выявил фундаментальные ограничения классических маршрутизаторов в условиях сетей 6G/7G, что обосновывает необходимость гибридных вычислительных парадигм. Предложена архитектура, интегрирующая квантовый модуль для глобальной оптимизации и нейроморфный блок для адаптации в реальном времени; лёгкий протокол синхронизации формирует замкнутый контур управления, обеспечивая субмиллисекундные задержки и соответствие строгим SLA.

Симуляция на платформах Qiskit и нейроморфных эмуляторах подтвердила 99,9 %-ную доступность и превосходство по энергоэффективности на 40–60 % над классическими аналогами. Разработанный подход создаёт основу для прототипирования гибридных маршрутизаторов и задаёт новую парадигму конвергенции квантовых и нейроморфных технологий для реализации массового IoT и киберфизических приложений следующего поколения.

Литература:

1. Гулый И. М. Развитие цифровых технологий квантовых коммуникаций в деятельности российских железных дорог // Экономические науки. — 2022. — № 10. — С. 168–171.
2. Демидова Л. А., Масленников В. В. Применение многоуровневых квантовых систем для параллельной оценки решений в задачах многокритериальной оптимизации // Вестник ргрту. — 2025. — № 92. — С. 57–76.
3. Дёмин В., Ивенев Н., Лучинин В. и др. Платформы для искусственного интеллекта: в поисках оптимальной архитектуры // Электроника наука | технология | бизнес. — 2021. — № 2. — С. 54–58.
4. Макушин М. Аспекты развития 6g-сетей. Часть 2 // Информационные и телекоммуникационные системы. — 2024. — № 6. — С. 116–128.
5. Романенко Е., Зибик К., Кушнир Т. Сети 5G и 6G для потоковой передачи VR/AR без задержек // Conferința Tehnico-Științifică a Studenților, Masteranzilor și Doctoranzilor. — Кишинёв, 2025. — С. 134–136.

Основные методы ультразвуковой диагностики технических объектов

Подлевских Павел Александрович, студент магистратуры
Севастопольский государственный университет

В статье авторы описывают основные существующие разновидности ультразвукового метода диагностики технических объектов, их достоинства и недостатки, виды пьезоэффекта.

Ключевые слова: ультразвук, метод, дефектоскопия, пьезоэффект.

Современные технические объекты, такие как трубопроводы, энергетическое оборудование, авиационные и космические конструкции, работают в условиях высоких механических, термических и динамических нагрузок. Со временем в материалах этих объектов могут возникать дефекты — трещины, коррозионные повреждения, расслоения, — которые способны привести к катастрофическим последствиям, если их вовремя не обнаружить. В связи с этим особую актуальность приобретают методы неразрушающего контроля (НК), позволяющие оценивать состояние конструкций без нарушения их целостности и эксплуатационных характеристик.

Целью данной работы является обзор основных существующих методов ультразвуковой диагностики технических объектов, видов пьезоэффекта.

Ультразвуковой (УЗ) метод диагностики технических объектов относится к числу наиболее распространённых и эффективных способов НК. Он основан на использовании упругих колебаний высокой частоты, распространяющихся в материале объекта и взаимодействующих с его структурными элементами. Основная цель ультразвуковой диагностики — выявление внутренних дефектов, измерение толщины, определение свойств материала и оценка его целостности без нарушения эксплуатационных характеристик.

Принцип ультразвукового контроля (рис. 1) заключается в введении ультразвуковых колебаний в исследуемый материал, их распространении в объёме объекта и анализе отражённых, прошедших или рассеянных волн. В местах неоднородностей, дефектов, границ раздела раз-

личных сред (например, металл–воздух, металл–шлак, металл–включение) происходит частичное отражение ультразвуковой энергии. По характеру отражённых сигналов можно определить наличие, координаты, размеры и форму дефектов.

Основным элементом аппаратуры является пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП). Он выполняет двойную функцию: излучает ультразвуковые волны при подаче электрического импульса и принимает отражённые волны, преобразуя их обратно в электрические сигналы.

В ультразвуке используются прямой и обратный пьезоэффекты — явления, связанные с деформацией пьезоэлектрических материалов (ниобат лития, ниобат калия, цирконат-титанат свинца, титанат бария, титанат свинца) под действием механических или электрического воздействий. Эти эффекты используются в пьезоэлектрических преобразователях — устройствах, которые преобразуют электрические колебания в акустические, а затем обратно акустические в электрические.

1. Прямой пьезоэффект:

При упругой деформации пьезопластины на её поверхности возникает разность потенциалов, изменение во времени и величина которой пропорциональны внешнему механическому воздействию.

Применение:

Ультразвуковые колебания, приходящие извне, деформируют пьезоэлемент, а переменный электрический заряд, появляющийся на его поверхности, считывается и усиливается электронной схемой.

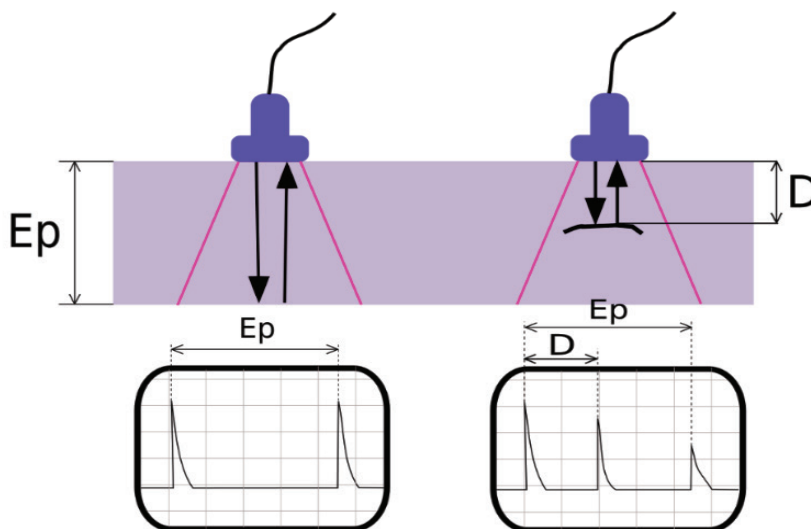


Рис. 1. Принцип ультразвукового контроля: E_p — толщина заготовки, D — расстояние до дефекта

Если говорить про преобразование отражённых сигналов в электрический сигнал в ультразвуковом датчике, то под действием УЗ-волны возникает деформация кристалла, которая приводит к генерации переменного электрического поля, и соответствующее электрическое напряжение может быть измерено.

2. Обратный пьезоэффект:

При подаче на поверхность пьезоэлемента переменного, гармонически изменяющегося напряжения пьезоэлемент деформируется (колеблется с частотой приложенного напряжения) и тем самым излучает ультразвук.

Применение:

Основной частью излучателя является пластина или стержень из вещества с пьезоэлектрическими свойствами (чаще пьезокерамика на основе титаната бария или цирконата-титаната свинца). Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение от генератора, то пластина начнёт деформироваться и вибрировать, излучая УЗ-волны.

При резонансной частоте электрического поля кварцевая пластинка является мощным источником ультразвука.

Существует несколько основных разновидностей ультразвуковых методов контроля, отличающихся способом регистрации сигнала и схемой расположения преобразователей:

1. Эхо-импульсный метод (рис. 2) — наиболее распространённый. Позволяет точно определить глубину залегания дефекта по времени прихода отражённого импульса. Данный метод основан на явлении отражения ультразвуковых волн от поверхности дефекта и регистрации отражённых сигналов. В контролируемое изделие излучается последовательность коротких ультразвуковых импульсов. Признаком дефекта является наличие эхо-сигнала, отражённого от несплошности. Временной интервал между зондирующим и эхо-импуль-

сами пропорционален глубине залегания дефекта, а амплитуда, в определенных пределах, отражающей способности (размеру) дефекта.

К преимуществам эхо-метода относятся:

- односторонний доступ к изделию;
 - относительно большая чувствительность к внутренним дефектам;
 - высокая точность определения координат дефектов.
- К недостаткам эхо-метода можно отнести:

- низкую помехоустойчивость к поверхностным отражателям;
- резкую зависимость амплитуды эхо-сигнала от ориентации дефекта;
- невозможность контроля качества акустического контакта в процессе перемещения ПЭП, так как при отсутствии дефектов на выходе отсутствуют какие-либо сигналы.

Несмотря на указанные недостатки, эхо-метод является наиболее распространенным методом ультразвуковой дефектоскопии деталей подвижного состава. С помощью этого метода обнаруживают более 90 % дефектов.

2. Теневой метод (рис. 3) — основан на измерении ослабления волны, прошедшей через объект. Суть теневого метода ультразвукового контроля заключается в использовании двух преобразователей, установленных по разным сторонам объекта. Один из них формирует ультразвуковую волну (излучатель), а второй регистрирует отражённый сигнал (приёмник). В результате образуется «акустический тракт»

Решение о состоянии проверяемого изделия выносится по уровню принятого сигнала (на электродах приемного ПЭП). Если на пути ультразвуковых волн от излучателя до приемника нет несплошностей, отражающих или рассеивающих ультразвуковые волны, то уровень принятого сигнала максимален. Этот уровень резко уменьшается или падает до нуля, если в изделии есть несплошность.

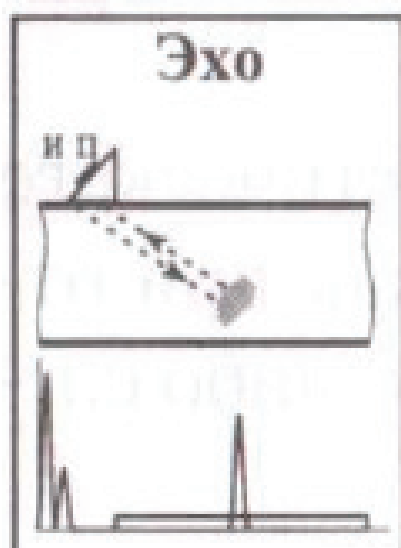


Рис. 2. Схема эхо-импульсного метода. ИП — излучатель и приемник в одном преобразователе

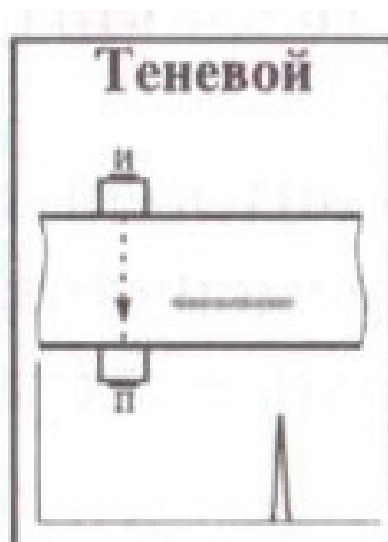


Рис. 3. Схема теневого метода. И — излучатель, П — приемник

В отличие от эхо-метода, теневого метод имеет высокую помехоустойчивость и слабую зависимость амплитуды от угла ориентации дефекта. Недостатком метода является требование двухстороннего доступа к изделию. Кроме того, серьезным недостатком теневого метода является наличие значительных погрешностей показаний прибора, регистрирующего уровень прошедшего сигнала (из-за нестабильности акустического контакта обоих преобразователей с контролируемой деталью).

Теневой метод не дает информации о координатах дефекта. По этим причинам данный метод в дефектоскопии имеет ограниченное применение.

3. Зеркальный метод ультразвукового контроля используется поиске дефектов, ориентированных перпендикулярно к поверхности сканирования, например, некоторых контактно-усталостных трещин.

Данный метод реализуется при прозвучивании изделия двумя ПЭП, которые размещены на поверхности сканирования так: образом, чтобы фиксировать одним ПЭП сигнал, излучаемый другим ПЭП. Сигнал переотражаясь от противоположной поверхности изделий от плоскости дефекта, поступает на приемную пьезопластину (рис. 4).

В простейшем случае в дополнение к первому ПЭП, работающему в обычном режиме «излучение-прием», на определенном расстоянии В от него устанавливают второй ПЭП, который может работать только в режиме приема зеркально отраженных от плоскости дефекта сигналов. Расстояние В между двумя ПЭП выбирают, исходя из условия наилучшего озвучивания зоны вероятного обнаружения дефектов.

Выбор конкретного метода определяется характером контролируемого объекта, его материалом, геометрией и требованиями к точности измерений.

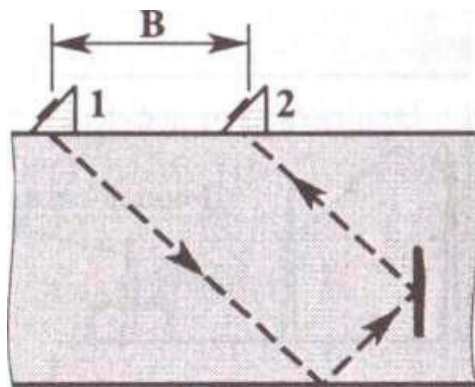


Рис. 4. Зеркальный метод ультразвукового контроля

Литература:

1. Ерофеев, Н. К. Пьезоэлектрические преобразователи: учебное пособие / Н. К. Ерофеев. — 3-е изд. — СПб.: БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, 2016. — 64 с. — Текст: непосредственный.
2. Краснова, М. Н. Неразрушающие методы контроля: методические указания / М. Н. Краснова. — Воронеж: ВГТУ, 2023. — 33 с. — Текст: непосредственный.
3. Аверин, А. С. Ультразвуковая дефектоскопия: методические указания / А. С. Аверин. — 3-е изд., испр. — М.: РУТ (МИИТ), 2005. — 29 с. — Текст: непосредственный.

Напряженное состояние монолитных перекрытий при различном расположении скрытых балок

Пятков Никита Николаевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье исследуется напряжённо-деформированное состояние монолитных железобетонных безбалочных перекрытий со скрытыми широкополочными балками при трёх вариантах их расположения: по квадратной сетке ($l = 6 \times 6$ м), по диагональной сетке ($l = 8,49$ м) и в совместной схеме. Расчёты выполнены аналитически по СП 63.13330.2018 и численно в программном комплексе Лира-САПР R21 с применением нелинейной модели Concrete Damaged Plasticity. Для каждого варианта рассмотрено пять значений ширины полки скрытой балки (600–1000 мм) при постоянной высоте 200 мм. Дополнительно выполнен расчёт на сейсмическое воздействие в соответствии с СП 14.13330.2018 с оценкой горизонтальных перемещений и усилий по направлениям X, Y и XY.

Ключевые слова: безбалочное перекрытие, скрытые балки, напряжённое состояние, Лира-САПР, нелинейный расчёт, сейсмическая нагрузка, СП 14.13330.2018, продавливание, армирование.

Введение

Безбалочные монолитные перекрытия широко применяются в современном жилом и общественном строительстве благодаря минимальной строительной высоте, свободной планировке и технологичности монолитного возведения. Одним из конструктивных решений, обеспечивающих перераспределение усилий в плите, является введение скрытых (широкополочных) балок, которые располагаются в плоскости перекрытия и не выступают ниже его нижней грани [1, 2].

Расположение скрытых балок существенно влияет на характер напряжённо-деформированного состояния плиты: при ортогональной сетке нагрузка передаётся рав-

номерно в двух направлениях, при диагональной — формируются косые зоны концентрации изгибающих моментов M_x , M_y и крутящего момента M_{xy} . Вместе с тем СП 63.13330.2018 [3] не содержит специальных указаний по расчёту безбалочных перекрытий со скрытыми балками при нестандартных схемах их расположения, что определяет актуальность исследования.

Цель настоящей работы — сравнительный анализ напряжённого состояния безбалочного железобетонного перекрытия при трёх вариантах расположения скрытых балок (ширина $b = 600\text{--}1000$ мм, высота $h = 200$ мм) при статических и сейсмических нагрузках, расчёт которых выполнен в соответствии с СП 14.13330.2018 [4].

1. Расчётные схемы и параметры моделей

Исследуемое перекрытие представляет собой монолитную железобетонную плиту толщиной 200 мм с расположенными в её плоскости скрытыми балками сечением $b \times h = 600\text{--}1000 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$. Рассмотрены три варианта расстановки балок: вариант 1 — ортогональная сетка, шаг $l = 6,0 \text{ м}$; вариант 2 — диагональная сетка, пролёт $l = 8,49 \text{ м}$ (ячейка $6 \times 6 \text{ м}$ по диагонали); вариант 3 — совместная схема с балками по двум направлениям ($l = 6,0$ и $l = 8,49 \text{ м}$). Итого исследовано 15 расчётных вариантов (3 схемы \times 5 сечений).

Материалы: бетон класса B25 ($R_b = 14,5 \text{ МПа}$, $R_{bt} = 1,15 \text{ МПа}$); продольная арматура A500C ($R_s = 435 \text{ МПа}$); поперечная арматура A240 ($R_{sw} = 170 \text{ МПа}$). Нагрузки: постоянная — $5,0 \text{ кН/м}^2$ ($\gamma_f = 1,1$), временная — $10,0 \text{ кН/м}^2$ ($\gamma_f = 1,2$), нагрузка от конструкции перекрытия — $15,0 \text{ кН/м}^2$; суммарная расчётная нагрузка $q = 17,5 \text{ кН/м}^2$.

Конечно-элементная модель сформирована в Лира-САПР R21: плита — оболочечные КЭ41, шаг сетки $0,25 \text{ м}$; скрытые балки — стержневые элементы КЭ2 с фактическими параметрами. Нелинейный расчёт выполнен по методу Ньютона-Рафсона с применением модели Concrete Damaged Plasticity для бетона.

2. Напряжённое состояние при статической нагрузке

Распределение усилий в плите по результатам МКЭ представлено в табл. 1. В варианте 1 (ортогональная сетка) поле изгибающих моментов симметрично: $M_x = M_y = -(2,66...-3,09) \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ в опорных зонах и $M_x = M_y = 1,64...1,86 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ в пролёте при $b = 1000$ и 600 мм соответственно. Крутящий момент $M_{xy} = \pm(1,52\text{--}1,78) \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ не превышает пролётных значений и учитывается в армировании по методу Wood-Armer.

Таблица 1. Максимальные усилия в плите перекрытия по данным МКЭ

Вариант / $b \times h$, мм	600×200	700×200	800×200	900×200	1000×200
1: M_x (опора), $\text{кН}\cdot\text{м/м}$	–3,09	–2,97	–2,86	–2,75	–2,66
1: M_x (пролёт), $\text{кН}\cdot\text{м/м}$	1,86	1,80	1,74	1,69	1,64
1: Q_x (опора), кН/м	–13,5	–13,1	–12,6	–12,2	–11,8
2: M_x (опора), $\text{кН}\cdot\text{м/м}$	–2,52	–2,37	–2,24	–2,13	–2,02
2: Q_x (опора), кН/м	–18,7	–17,4	–16,2	–15,2	–14,3
3: M_x (опора), $\text{кН}\cdot\text{м/м}$	–2,92	–2,79	–2,68	–2,58	–2,49
3: Q_x (опора), кН/м	–22,2	–21,0	–19,9	–18,9	–18,1

В варианте 2 (диагональная сетка) опорные моменты M_x на 18–35 % ниже, чем в варианте 1, однако крутящие моменты $M_{xy} = \pm(0,92\text{--}1,12) \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ сопоставимы с пролётными M_y , что требует специального армирования плиты. Поперечные силы Q_x в варианте 2 превышают значения варианта 1 на 25–58 % за счёт большего пролёта балок и соответственно большей нагрузки с грузовой площади.

В варианте 3 (совместная схема) опорные поперечные силы максимальны: $Q_x = Q_y = \pm(18,1\text{--}22,2) \text{ кН/м}$, что обусловлено перекрытием нагрузок от балок обоих направлений. Расчётная несущая способность плиты на продавливание в зоне колонн составляет $M_{ult} = 65,5\text{--}131,3 \text{ кН}\cdot\text{м}$ и удовлетворяет требованиям п. 8.1.49 СП 63.13330.2018 [3] для всех вариантов.

Сравнение аналитических значений моментов по методу «эквивалентных рам» с результатами МКЭ показало расхождение не более 5–8 % для вариантов 1 и 3 и до 15–20 % для варианта 2 в зоне косых полос, что подтверждает необходимость численного моделирования при диагональной схеме.

3. Армирование и деформативность

По результатам расчёта определены схемы армирования для всех 15 вариантов. Для варианта 1, сечение $600 \times 200 \text{ мм}$ ($l = 6,0 \text{ м}$): продольная арматура в пролёте —

$5\text{Ø}16$ ($A_s = 1005 \text{ мм}^2$), на опоре — $5\text{Ø}22$ ($A_s = 1900 \text{ мм}^2$); поперечная арматура — $\text{Ø}8$, шаг 80 мм . При $b = 1000 \text{ мм}$ требуемая площадь арматуры снижается на 18–29 % благодаря росту момента инерции сечения [5].

Для пролёта $l = 8,49 \text{ м}$ максимальная арматура на опоре: $5\text{Ø}36$ ($A_s = 5090 \text{ мм}^2$) при $b = 600 \text{ мм}$, снижается до $5\text{Ø}28$ ($A_s = 3079 \text{ мм}^2$) при $b = 1000 \text{ мм}$. Армирование плиты (вне зон балок) принято $d12 \text{ S200 A500C}$ для $b = 600\text{--}800 \text{ мм}$ и $d16 \text{ S200 A500C}$ в опорных зонах при $b = 900\text{--}1000 \text{ мм}$.

Предельный прогиб $f = l/250$ не превышен ни в одном из вариантов. Максимальный прогиб варианта 2 при $b = 900 \text{ мм}$ составил $14,1 \text{ мм}$ при допустимом значении $8,49/250 \times 1000 = 33,96 \text{ мм}$. В варианте 3 прогибы в направлении $l = 8,49 \text{ м}$ не превышают $3,73 \text{ мм}$.

4. Расчёт на сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2018

Расчёт на сейсмическое воздействие выполнен в Лира-САПР R21 методом спектрального анализа в соответствии с разделами 4.2, 5.2 и 5.3 СП 14.13330.2018 [4]. Сейсмичность площадки принята 7 баллов ($A_g = 0,1g$). Расчётные коэффициенты: K_0 , K_1 и K определялись по таблицам нормативного документа с учётом типа грунтовых условий и конструктивной схемы здания.

Для каждого из трёх вариантов расположения скрытых балок (при $b = 600, 800$ и 1000 мм) определены горизон-

тальные перемещения по направлениям X, Y и результирующее XY. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Максимальные горизонтальные перемещения при сейсмическом воздействии, мм

Вариант / $b \times h$, мм	Направление	600×200	800×200	1000×200
Вариант 1	X	3,75	-	-
Вариант 1	Y	3,75	-	-
Вариант 1	XY	37,3	38,6	37,3
Вариант 2	X	-	-	-
Вариант 2	XY	33,7	31,4	35,0
Вариант 3	X	-	-	-
Вариант 3	XY	44,8	38,0	36,5

Анализ результатов показывает, что максимальные горизонтальные перемещения наблюдаются в варианте 3 (совместная схема) в результирующем направлении XY: 44,8 мм при $b = 600$ мм, снижаясь до 36,5 мм при $b = 1000$ мм. В варианте 2 (диагональная сетка) перемещения в направлении XY составляют 31,4–35,0 мм. Вариант 1 (ортогональная сетка) демонстрирует наименьшие перемещения: 37,3–38,6 мм по XY при симметричных значениях по X и Y.

Горизонтальные перемещения во всех вариантах не превышают допустимого межэтажного смещения $\Delta u \leq h/200$, установленного СП 14.13330.2018 [4]. При увеличении ширины скрытой балки с 600 до 1000 мм перемещения снижаются на 6–18 % за счёт роста изгибной жёсткости перекрытия в горизонтальной плоскости, что благоприятно сказывается на сейсмостойкости конструкции.

Следует отметить, что в вариантах 1 и 2 перемещения по направлениям X и Y близки между собой ввиду симметрии конструктивной схемы. В варианте 3 наблюдается некоторая асимметрия: перемещение в направлении пролёта $l = 8,49$ м на 15–30 % превышает перемещение в направлении $l = 6,0$ м, что требует учёта при проектировании диафрагм жёсткости.

5. Сравнительный анализ расчётных вариантов

Вариант 1 (ортогональная сетка, $l = 6,0$ м) обеспечивает наиболее равномерное распределение изгибающих моментов в плите, минимальные горизонтальные перемещения при сейсмическом воздействии и симметричную реакцию конструкции по обоим направлениям. Недостаток — наибольшая площадь опорной арматуры балок (до $A_s = 5090$ мм² при $l = 8,49$ м).

Вариант 2 (диагональная сетка, $l = 8,49$ м) снижает опорные изгибающие моменты на 18–35 % по сравнению с вариантом 1, однако формирует значительные крутящие моменты $M_{xy} \approx \pm(0,92–1,12)$ кН·м/м. Горизонтальные перемещения при сейсмике минимальны среди трёх вариантов, однако расчёт по методу «эквивалентных рам» СП

63.13330.2018 недооценивает усилия на 15–20 %, что требует обязательного применения МКЭ.

Вариант 3 (совместная схема) является компромиссным решением по несущей способности: опорные моменты ниже, чем в варианте 1, а перемещения при сейсмике несколько выше, но не превышают нормативных ограничений СП 14.13330.2018 [4]. Асимметрия жёсткостей требует контроля перемещений в обоих направлениях и при необходимости — усиления диафрагмами жёсткости.

Заключение

В результате исследования получены следующие основные выводы:

1) расположение скрытых балок по диагональной сетке снижает опорные изгибающие моменты на 18–35 %, однако формирует значительные крутящие моменты M_{xy} , требующие учёта методом Wood-Armer; аналитический расчёт по методу «эквивалентных рам» при данной схеме даёт погрешность до 15–20 %;

2) нелинейный расчёт в Лира-САПР R21 (модель Concrete Damaged Plasticity) подтверждает корректность аналитической методики СП 63.13330.2018 для ортогональной и совместной схем с расхождением не более 5–8 %;

3) расчёт на сейсмическое воздействие по СП 14.13330.2018 показал, что все три варианта расположения скрытых балок обеспечивают горизонтальные перемещения в пределах допустимого $\Delta u \leq h/200$; увеличение ширины балки с 600 до 1000 мм снижает перемещения на 6–18 %;

4) совместная схема расположения скрытых балок (вариант 3) обеспечивает оптимальное соотношение несущей способности и деформативности при статических и сейсмических нагрузках, однако требует проверки на асимметрию жёсткостей в соответствии с СП 14.13330.2018 [4].

Полученные результаты подтверждают необходимость численного моделирования в Лира-САПР при проектировании безбалочных перекрытий со скрытыми балками при нестандартных схемах их расположения, особенно в сейсмических районах.

Литература:

1. Рябинин А. Н. [и др.]. Конструкции гражданских и промышленных зданий. — СПб.: СПбГАСУ, 1905–1912.
2. Яшин А. В. Железобетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1983.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М.: Минстрой России, 2018.
4. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. — М.: Минстрой России, 2018.
5. Park R., Gamble W. L. Reinforced Concrete Slabs. — 2nd ed. — New York: Wiley, 2000.
6. Ghali A., Neville A., Brown T. G. Structural Analysis: A Unified Classical and Matrix Approach. — 6th ed. — CRC Press, 2012.
7. Nilson A. H., Darwin D., Dolan C. W. Design of Concrete Structures. — 14th ed. — McGraw-Hill, 2010.
8. Özbek E. et al. Experimental investigation of the shear behavior of wide beams // Engineering Structures. — 2020. — Vol. 214.
9. СП 20.13330.2017. Нагрузки и воздействия. — М.: Минстрой России, 2017.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures. EN 1992–1-1. — Brussels: CEN, 2004.
11. Structville. Design of wide shallow beams: analysis and reinforcement // Structville [Электронный ресурс]. — 2021. — URL: <https://structville.com> (дата обращения: 20.04.2026).

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Процесс выбора материалов при проектировании строительного объекта

Гридина Светлана Игоревна, студент магистратуры

Научный руководитель: Животов Виталий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

В статье приводится расчет выбора варианта наружной стены здания на примере проектируемого высотного здания в г. Владивостоке с учетом технических и экономических критериев. Автором наглядно показана необходимость комплексного анализа на этапе проектирования для предотвращения удорожания и задержек в последующей реализации проекта.

Ключевые слова: строительный проект, комплексный анализ, стоимость проекта.

Как известно, при проектировании объекта выбор типа материалов происходит на основании следующих параметров:

- результаты геолого-инженерных, экологических и других изысканий;
- технические характеристики в соответствии с требованиями к сооружению,
- пожелания заказчика к внешнему облику объекта, определенным видам материала (особенно это относится к типу фасадов и отделки), площадям помещений и т. д.

В итоге формируется достаточно большой список исходных данных, включая наличие нагрузок на будущий объект, тепло-технические, прочностные, данные по грунтам, по климату и другие характеристики. Но даже при наличии такого подробного объема информации, не всегда при проектировании можно учесть все особенности возведения будущего объекта.

Конечно, современные методы и приемы проектирования и строительства позволяют существенно влиять на сроки и качество проекта, но не всегда на этапе проектирования учитывается доступность к месту производства работ или климатические отклонения на протяжении срока строительства (когда длительные сильные ветра не позволяют производить монтаж крупногабаритных частей фасада или когда сезонные половодья ограничивают доступ к объекту и т. д.), или другие сложности строительства объекта, о которых заранее невозможно было знать, но которые в последствии могут повлиять на сроки и стоимость проекта.

Так, уже на стадии осмечивания при предварительном выборе потенциальных поставщиков выявляются сложность или чрезмерно высокая стоимость доставки выбранного материала. Причинами могут быть как удаленное расположение завода-производителя, когда транспортные расходы превышают себестоимость самого материала в полтора и более раз, так и различные экономические или политические факторы (введение санкций, дополнительных пошлин и т. д.) Это приводит не только к удорожанию, но и к увеличению сроков реализации проекта.

Поэтому уже на этапе подготовки проектной документации и бюджета по объекту необходимо учитывать не только технико-эксплуатационные параметры, но и экономические критерии.

Ярким примером может служить выбор варианта внешних стен здания. Планируемый объект планируется построить в г. Владивосток, Приморского края (место расположения важно для дальнейших расчетов). В проекте указывается, что несущие конструкции здания представляют собой монолитный железобетонный каркас, состоящий из внутренних стен, пилонов, междуэтажных перекрытий и фундаментной плиты на свайном основании.

Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой внутренних несущих стен, колонн и пилонов и связанных с ними плит перекрытий.

Также согласно технического задания Заказчика в здании планируется использовать навесной вентилируемый фасад из клинкерного кирпича с использованием минераловатного утеплителя и негорючей мембраны в качестве изолирующих слоев.

Принимая во внимание, что при заданных выше условиях внешние стены здания могут быть выполнены из разных материалов, рассматривались следующие варианты:

- 1) стены из монолитного железобетона + навесной вентилируемый фасад;
- 2) стены из автоклавного газобетона + навесной вентилируемый фасад;
- 3) стены из андезито-базальтового блока + навесной вентилируемый фасад.

Можно было рассмотреть еще в качестве внешних стен домокомплекты [2] и кирпичную кладку.

Но стены из панелей домокомплекта не подошли по следующим причинам:

- они относятся к уровню жилья класса «комфорт» и на момент проводимого сравнения имели только три типовых варианта фасада, навесной фасад к ним не крепится;
- этажность домокомплектов, заявленная изготовителем, находящимся в Приморском крае, не превышает 16ти этажей и высота помещений составляет до 2,65 м в чистоте.

Озвученные параметры идут в разрез с концепцией планируемого объекта, поэтому данный вариант был исключен из выбора.

Стены из кирпича не рассматривались по следующим причинам:

- отсутствие достаточного количества материала в регионе строительства,
- самая высокая стоимость на работы по кладке,
- самая низкая скорость возведения стен из кирпича,
- самый высокий процент замечаний по ровности стен.

При выборе из остальных вариантов материалы сравнивались по:

- цене,
- несущей способности,
- теплоемкости,
- удобству доставки,
- удобству монтажа (скорость и стоимость),
- удобству дальнейшего монтажа НВФ на данные стены.

Для расчетов в программе Revit была задана типовая внешняя стена габаритами 6000*3100*200 мм с оконными проемами (рис. 1) и при монолитном устройстве стены в той же программе Revit при помощи специального плагина ModPlus был задан арматурный каркас (рис. 2):

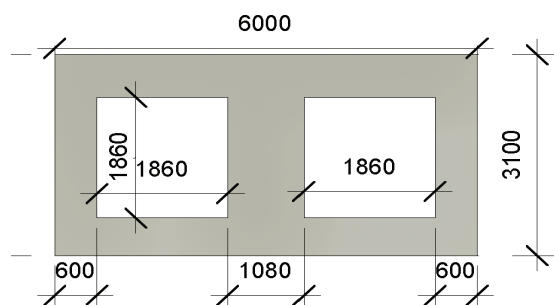


Рис. 1. Типовая внешняя стена здания

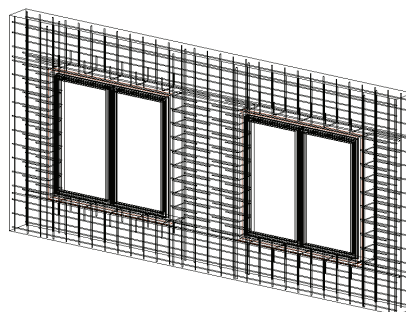


Рис.2. Армирование внешней стены здания

И выдана спецификация арматуры, которая использовалась при расчетах (табл. 1).

Таблица 1. Спецификация арматуры на типовую внешнюю стену здания размерами 6000*3100 мм

Марка	Диаметр стержня	масса общая, кг
Ø16 A500С ГОСТ 34028-2016	16 мм	18.940
Ø12 A500С ГОСТ 34028-2016	12 мм	149.153
Ø10 A500С ГОСТ 34028-2016	10 мм	36.992
Итого		205.085

Расчет стоимости материалов на внешнюю типовую стену был произведен в программе «Гранд-смета. Учебная версия» ресурсно-индексным методом [9], а также собраны коммерческие предложения от подрядчиков и поставщиков компании. Полученные результаты представлены в таблице 2:

Таблица 2. Сравнение стоимости возведения стен из разных материалов

	Стена из бетона	Газобетонный авто- клавный блок	Андезито-базальтовый блок Тереховский ЗБИ
объем, м3	2,336	2,336	2,336
Согласно программы «Грандсмета»			
материалы	42 889,37 Р	34 987,86 Р	40 673,71 Р
работа машино-механизмов	18 056,00 Р	1 672,83 Р	1 672,83 Р
заработная плата рабочих и механизаторов	37 983,36 Р	7 193,43 Р	7 193,43 Р
сметная прибыль и накладные расходы	1 557,54 Р	12 876,24 Р	10 599,67 Р
Итого за весь объем	100 486,27 Р	56 730,36 Р	60 139,64 Р
Итого за м3 согласно Грандсметы	43 016,38 Р	24 285,26 Р	25 744,71 Р
Согласно коммерческих предложений и прайс-листов на март 2026г.			
материалы	42 889,37 Р	32 313,89 Р	37 034,94 Р
работа машино-механизмов	18 056,00 Р	2 250,00 Р	2 250,00 Р
стоимость работ, подрядчик, с учетом рас- ходных материалов	37 376,00 Р	32 704,00 Р	28 032,00 Р
накладные расходы	4 916,07 Р	3 363,39 Р	3 365,85 Р
Итого за весь объем 2,336 м3	103 237,44 Р	70 631,28 Р	70 682,79 Р
Итого за м3 согласно рынка	44 194,11 Р	30 236,00 Р	30 258,04 Р
итого за 19 типовых этажей по 14 типовых стен	27 461 158,64 Р	18 787 921,68 Р	18 801 621,34 Р
разница в цене по сравнению с бетонной стеной, %		32 %	32 %
Скорость работ	6 дней/этаж	3 типовых стены/день или ок 5ти дней /этаж	3 типовых стены/день или ок 5ти дней /этаж

Таким образом, следует, что самым выгодным в части цены является вариант возведения стен из автоклавного газобетона. Практически такую же стоимость имеет вариант из андезито-базальтового блока и сильно в цене уступает стена из монолитного бетона. Кстати, можно заметить, что при расчете с помощью программы «Гранд-смета» стоимость работ на кладку из блоков существенно отстает от цен на рынке, тогда как по бетонным работам отражает актуальную рыночную информацию.

Теперь сравним материалы по их техническим характеристикам, они представлены ниже в таблице 3 [1; 3; 7].

Таблица 3. Технические характеристики материалов

	бетон марки В35 (М450) W8 F200	Газобетонный авто- клавный блок марки D600	Андезито-базальтовый блок Тереховский ЗБИ
плотность кг/м3	2500 кг/м3	600 кг/м3	1600 кг/м3
прочность кг/см2	458 кг/см2	45,8 кг/см2	98,2 кг/см2
соответствие марки бетона по прочности	В35 (М450)	В3,5 (М50)	М125 (В7,5)
теплопроводность λ, Вт/(м×°С)	1,63–1,88	0,139–0,178	0,45
морозостойкость	F200	F100	F50

Из таблицы 3 видно, что газобетонный блок очень сильно уступает по прочностным характеристикам не только бетону, но и андезито-базальтовому блоку. При этом существенно выигрывает в показателе по теплопроводности. О чем это говорит? Слабая прочность материала приводит к удорожанию крепежа навесного вентилируемого фасада. Разница в цене достигает порядка 20 % на анкеры для утеплителя, а крепление фасадной системы в случае с блоком, как правило, имеет межэтажное основное крепление с усиленной нагрузкой и вспомогательные крепежи в блок. Тогда как в случае с бетоном и андезито-базальтовыми блоками используется типовой крепеж.

В то же время низкая теплопроводность блока позволяет использовать более легкий утеплитель в пироге фасада, что, наоборот, приводит к снижению стоимости. Согласно СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий», СП 23–101–2004

«Проектирования тепловой защиты зданий» базовое значение сопротивления теплопередаче R_T должно быть не менее 3,03 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$). Посчитанные с помощью «Онлайн калькулятора теплотехники ограждающих конструкций» [4] и приведенные ниже теплотехнические расчеты для всех трех вариантов стен показывают, что стена из бетона с заданным утеплителем плотностью 170–220 $\text{кг}/\text{м}^3$ и его толщиной 150 мм имеет значение сопротивления теплопередаче 3,64:

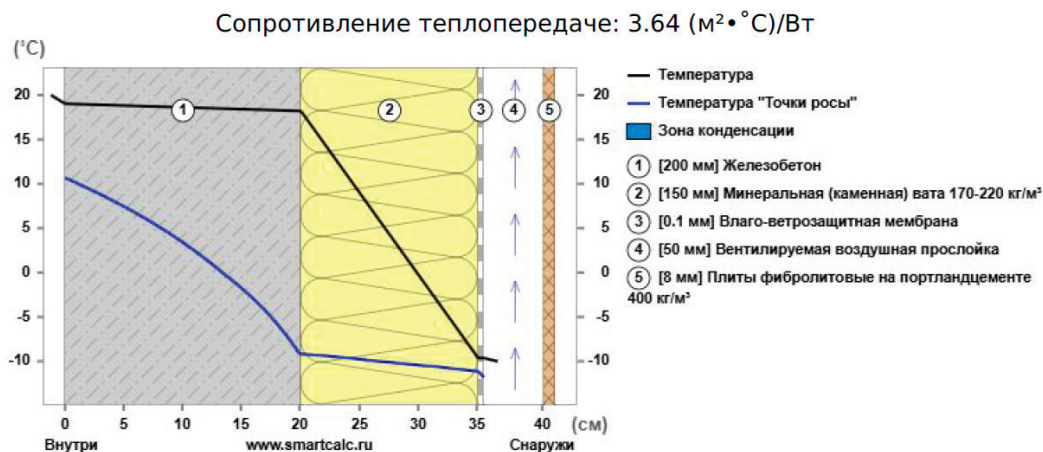


Рис. 3. Теплотехнический расчет пирога стены из бетона

Таблица 4. Теплотехнический расчет пирога стены из бетона

Слои конструкции (изнутри наружу)						
№	d [мм]	Материал	λ	R	Tmax	Tmin
		Сопротивление тепловосприятию		0.11	20.0	19.0
1	200	Железобетон	2.04	0.10	19.0	18.2
2	150	Минеральная (каменная) вата 120–170 $\text{кг}/\text{м}^3$	0.045	3.33	18.2	-9.6
3	0.1	Влаговетрозащитная мембрана	0	0.00	-9.6	-9.6
		Сопротивление теплоотдаче		0.09	-10.0	-10.0
4	50	Вентилируемая воздушная прослойка	0	0.00	-9.6	-10.0
5	8	Плиты фибролитовые на портландцементе 400 $\text{кг}/\text{м}^2$	0.16	0.00	-10.0	-10.0
Термическое сопротивление ограждающей конструкции				3,43		
Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции [R]				3,64		
Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции [R]				3,64		

Стена из газобетонного блока с менее плотным утеплителем и такой же толщиной 150 мм достигает значения в 4,87:

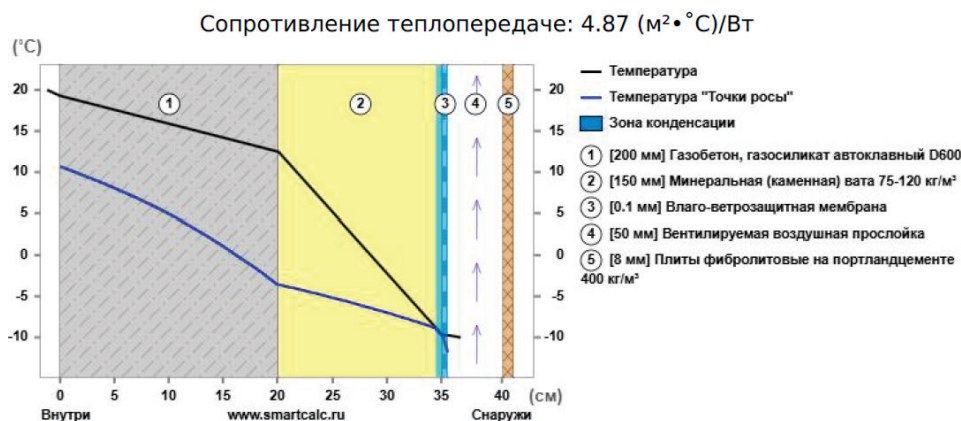


Рис. 4. Теплотехнический расчет пирога стены из газобетонного блока

Таблица 5. Теплотехнический расчет пирога стены из газобетонного блока

Слои конструкции (изнутри наружу)						
№	d [мм]	Материал	λ	R	Tmax	Tmin
		Сопротивление тепловосприятию		0.11	20.0	19.3
1	200	Газобетон, газосиликат автоклавный D600	0.183	1.09	19.3	12.5
2	150	Минеральная (каменная) вата 75–120 кг/м³	0.042	3.57	12.5	-9.7
3	0.1	Влаго-ветрозащитная мембрана	0	0.00	-9.7	-9.7
		Сопротивление теплоотдаче		0.09	-10.0	-10.0
4	50	Вентилируемая воздушная прослойка	0	0.00	-9.7	-10.0
5	5	Плиты фибролитовые на портландцементе 400 кг/м³	0.16	0.00	-10.0	-10.0
Термическое сопротивление ограждающей конструкции				4,66		
Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции [R]				4,87		

Андезито-базальтовый блок так же показал хорошие значения:

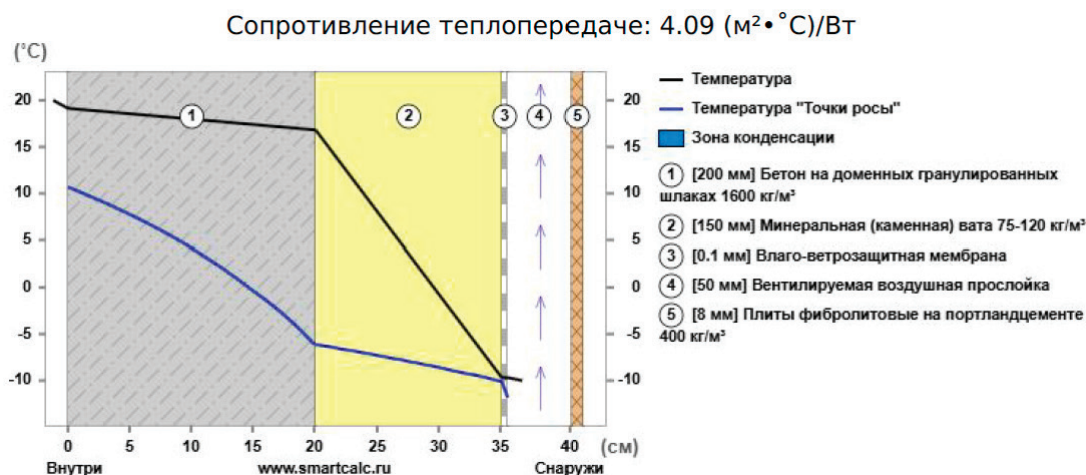


Рис. 5. Теплотехнический расчет пирога стены из андезито-базальтового блока

Таблица 6. Теплотехнический расчет пирога стены из андезито-базальтового блока

Слои конструкции (изнутри наружу)						
№	d [мм]	Материал	λ	R	Tmax	Tmin
		Сопротивление тепловосприятию		0.11	20.0	19.1
1	200	Бетон на доменных гранулированных шлаках 1600 кг/м³	0.64	0.31	19.1	16.8
2	150	Минеральная (каменная) вата 75–120 кг/м³	0.042	3.57	16.8	-9.7
3	0.1	Влаго-ветрозащитная мембрана	0	0.00	-9.7	-9.7
		Сопротивление теплоотдаче		0.09	-10.0	-10.0
4	50	Вентилируемая воздушная прослойка	0	0.00	-9.7	-10.0
5	9	Плиты фибролитовые на портландцементе 400 кг/м³	0.16	0.00	-10.0	-10.0
Термическое сопротивление ограждающей конструкции				3,88		
Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции [R]				4,09		

Исходя из всех полученных данных можно заключить, что использование бетонных внешних стен нерационально с точки зрения финансов и назначения стены. Несущая конструкция здания состоит из перекрытий, колонн и внутренних стен; внешние стены не являются несущими, соответственно, нет необходимости переплачивать за прочность

материала. В тоже время, низкая теплопроводность блока позволяет использовать менее плотный утеплитель, что приводит к уменьшению цены и перекрывает переплату за крепеж навесного фасада.

Также газобетонный блок обладает высокими эстетичными свойствами — он белого цвета, смотрится аккуратно без оштукатуривания и визуально увеличивает пространство по сравнению с темным андезито-базальтовым блоком. Этот фактор тоже сыграл свою роль при выборе материала.

В целом, и андезито-базальтовый блок, и газобетонный удобны в последующей эксплуатации — в них легко формировать необходимые оконные проемы, можно делать выводы под сети вентиляции и кондиционирования, расходы на отопление в домах с такими стенами существенно ниже, тогда как стены из бетона очень тяжело и дорого поддаются выравниванию, сверлению и изменению геометрии, а также быстрее остывают в холодное время года.

Следует заметить, что местные застройщики, при возведении стен, в основном, используют именно блок одного из названных двух заводов Приморского края. Пришедшие в город федеральные застройщики зачастую возводят полностью монолитный каркас. Это может быть объяснено наличием у них типовых проектов, которые они адаптируют под тот или иной регион, а также удобством возведения — стены возводят совместно с колоннами.

Таким образом, из всех проведенных расчетов и аргументов следует, что выбор отдельного вида материала должен происходить при комплексном анализе всего проекта в зависимости от целей Заказчика (собственника) и позиционирования его проекта на рынке (уровень жилья — эконом, бизнес, комфорт). Если материал кажется выгодным на каком-то этапе работ, это не означает, что весь проект окажется в выигрыше от такого варианта.

Максимально подробный анализ и экспертиза проектной документации на старте проекта могут привести к существенной выгоде в плане сроков и стоимости на стадии реализации.

Литература:

1. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
2. Домокомплекты «Комфорт» // Домостроительный комбинат «Приморье». URL: <https://dskprim.ru/#domokomplekti> (дата обращения: 02.03.2026)
3. Завод по производству автоклавных газобетонных блоков «СилБет», Приморский край // СилБет. URL: <https://silbet.ru/> (дата обращения: 02.03.2026)
4. Онлайн калькулятор теплотехники ограждающих конструкций // СмартКалк. URL: <https://www.smartcalc.ru/> (дата обращения: 02.03.2026)
5. СП 23–101–2004 «Проектирования тепловой защиты зданий»
6. СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий»
7. Тереховский завод бетонных изделий по производству строительных материалов из андезитобазальта // Тереховский ЗБИ. URL: <https://terehovka.com/> (дата обращения: 02.03.2026)
8. Терещенко Н. С. Организационно-правовые основы управления проектами в строительстве: для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 40.04.01 «Юриспруденция», программа «Правовое регулирование и управление контрактной деятельностью», и 08.04.01 «Строительство», программа «Промышленное и гражданское строительство»: учебно-методическое пособие / Политехнический институт ДВФУ. — Владивосток: Изд-во Даль-невост. федерал. ун-та, 2022.
9. ФГИС ЦС Федеральная государственная информационная система ценообразования в строительстве// ФГИС ЦС. URL: <https://fgiscs.minstroyrf.ru/> (дата обращения: 02.03.2026)

Несущие стены уходят в прошлое: как сложные конструкции превращают жилые дома в произведения искусства

Ефимова Маргарита Олеговна, студент;

Петрова Екатерина Александровна, студент

Научный руководитель: Бареева Эльвира Рустамовна, кандидат педагогических наук, доцент

Астраханский государственный технический университет

Статья посвящена сложным конструкциям в архитектуре жилых домов, которые позволяют создавать открытые пространства и необычные формы, изменяющие традиционные представления о несущих стенах. Сделан вывод, что несущие стены постепенно уступают место более гибким и инновационным решениям, с помощью которых архитекторам и дизайнерам удастся достигать не только функциональности, но и эстетической привлекательности пространства.

Ключевые слова: современная архитектура, жилые дома, экстерьер.

Анализ зданий, построенных в XX–XXI вв., позволил выделить несколько принципов их проектирования. Основной принцип создания всех архитектурных построек — это, конечно же, их устойчивость. На втором месте — эстетичность и оригинальность, что не отменяет их важности при проектировании зданий.

Красота зданий зависит от многих факторов: цвета, формы, фактуры, материала и т. д. В рамках данной статьи хочется остановиться на современных решениях, где с помощью более сложной конструкции здание превращается в произведение искусства. На сегодняшний день архитектура стремится к созданию уникальных и выразительных форм, которые отражают индивидуальность строения и соответствуют потребностям жителей.

Обращение к проблеме применения сложных конструкций в архитектуре жилых домов позволяет понять, как современные технологии и материалы меняют облик городской среды. Одним из ключевых аспектов данной проблемы является использование высокопрочных бетонов и композитов, которые обеспечивают необходимую прочность и устойчивость зданий, позволяя при этом значительно уменьшить количество несущих стен. Это в свою очередь открывает новые возможности для проектирования и организации внутреннего пространства.

В качестве примера таких конструкций можно назвать «Плоский дом» в Нижнем Новгороде. С фасадной стороны это как будто типовое здание, но при взгляде сбоку кажется, что у него нет объема. Конструкция создана по принципу оптической иллюзии. Дворовая часть дома выглядит обычно, за исключением того, что сделана в виде треугольника и не видна со стороны фасада.

Другое сооружение с необычной конструктивной формой — экоцентр «Нуви ат» в Белоярском (город в Ханты-Мансийском автономном округе). Экоцентр располагается под треугольной кровлей. В его оформлении использованы такие материалы, как дерево и металл, благодаря чему здание гармонично сочетается и с расположенными рядом домами, и с окружающей природой. Внутри располагается музей, администрации двух парков, в том числе Саромского заповедника, и городской архив.

Еще одним примером сложных конструкций в архитектуре служит «Яйцо» в Москве — четырехэтажное здание, по форме напоминающее яйцо.

На сегодняшний день в России не так много интересных сооружений со сложной формой и единицы из них используются как жилые дома. Такие здания способствуют формированию уникального архитектурного облика страны и задают новые стандарты в строительстве, вдохновляя будущие поколения архитекторов на создание еще более впечатляющих проектов.

Кроме того, нестандартные формы помогают решать экологические задачи. Например, здание «Куб» в Гонконге имеет уникальную геометрию, которая позволяет

максимально использовать солнечное освещение и естественную вентиляцию. Это не только снижает затраты на энергоснабжение, но и создает комфортные условия для людей.

Проектирование открытых пространств и необычных форм в архитектуре жилых домов с помощью сложных конструкций изменяет традиционные представления о несущих стенах. Для таких конструкций используются новые материалы (высокопрочные бетоны и композиты) и современные технологии проектирования и строительства (3D-печать и компьютерное моделирование). В результате жилые здания становятся художественными объектами, которые для городской среды не только функциональны, но и эстетичны.

Стиль нестандартных зданий со сложной конструкцией и хаотичным видом называется деконструктивизм. Проект в стиле деконструктивизма — это четкая система, включающая следующие этапы работы.

1. Работа с конструкцией. Здесь важна точность инженера. Несущие колонны или большепролетные фермы — это не хаос, а сложная математика. Результат — свободная планировка без опор посередине комнат, что позволяет при необходимости передвигать перегородки в нужное место.

2. Выбор материалов. Как правило, на контрасте используются бетон и стекло, сталь и дерево и др. Здесь не нужно прятать фактуры. Так, шероховатость бетона подчеркивает гладкость стекла. Такая эстетика не требует дорогих обоев — стены сами становятся произведением искусства.

3. Интеграция инженерных решений. Вентиляция, отопление, проводка — все прячется в сложных перепадах высот. Труб не видно, но создается идеальный климат. Система «умный дом» экономно управляет всеми ресурсами.

К преимуществам построения зданий со сложными конструкциями относятся:

— эффект объема: нет чувства, что живешь в коробке; высота потолков до 3,5–4 м, антресоли и световые фонари создают ощущение бесконечности;

— полная свобода перепланировки: например, можно легко объединить кухню с кабинетом или сделать спальню-трансформер.

Таким образом, несущие колонны освобождают стены, нет привязки к бетону, что создает большую мобильность жильцов.

Стоит также обратить внимание на еще один аспект использования сложных конструкций — восприятие людьми нестандартных форм. Исследования показали, что необычные архитектурные решения положительно влияют на настроение и продуктивность людей. Например, офисные здания с нестандартными формами способствуют более открытой и креативной атмосфере, что особенно важно в бизнес-среде. Оригинальные строения не только привлекают внимание, но и могут улучшать ка-

чество жизни и работы людей. Таким образом, сложные конструкции становятся неотъемлемой частью концепции устойчивой архитектуры, что подчеркивает их важность в современном строительстве.

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что проблема использования сложных

конструкций достаточно актуальна в условиях быстрого развития технологий строительства и роста интереса к гибким планировкам и выразительной архитектуре жилых зданий. Понимание принципов новых конструктивных решений важно для осмысления того, как будут выглядеть дома ближайшего будущего.

Литература:

1. Архитектурные проекты: каталог и портфолио. — URL: <https://mniir.ru/> (дата обращения: 03.05.2026). — Текст : электронный.
2. Унежева, З. С. Архитектурные сооружения фигурных (круглых) форм / З. С. Унежева, М. Х. Машукова, А. А. Дугулубов. — Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона : [сетевой науч. журн.]. — 2026. — № 2 (134).
3. Головнова, Е. Архитекторы шутят : Яйцо, лента и матрешка: 10 зданий с интересной формой в России / Е. Головнова. — Текст : электронный // S7 : сайт. — URL: <https://www.s7.ru/ru/media/blog/quirky-houses/> (дата обращения: 03.05.2026).
4. Архитектурные конструкции / сост. под рук. и ред. А. Ю. Кузнецова. — 3-е изд. — М. : Издательство Академии архитектуры СССР, 1944. — 728 с. — Текст : непосредственный.

Исследование работы узлов стальных конструкций с использованием программного комплекса IDEASTatiCa

Коженков Антон Алексеевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассмотрен расчёт шарнирного узла сопряжения балки с балкой в программном комплексе IDEASTatiCa, рассмотрен принцип расчёта узлов стальных конструкций, сделаны выводы о использовании программы IDEASTatiCa при конструировании узлов стальных конструкций.

Ключевые слова: IDEASTatiCa, шарнирный узел, нелинейный расчёт, сетка конечных элементов, расчётная 3D-модель.

Введение

Программный комплекс IDEASTatiCa это передовое программное обеспечение для структурного анализа и проектирования стальных соединений, узлов и железобетонных элементов. Используя метод конечных элементов IDEASTatiCa позволяет решать сложные инженерные задачи.

Программный комплекс IDEASTatiCa включает в себя два модуля по расчету элементов, это:

IDEASTatiCa connection — программное обеспечение для конструирования, расчета и проверки узлов стальных конструкций любой формы и сложности. В основе этой программы лежит уникальный метод конечных элементов для расчета, КМКЭ — компонентный метод, сочетающий точность расчета МКЭ и простоту разбивки модели на компоненты КМ. IDEASTatiCa connection за счет BIM связи с другими программными обеспечениями для расчетов и моделирования позволяет за короткое время импортировать, рассчитать и проанализировать работу узла в целом, все возможные напряженно-деформированные состояния, а также прочность болтов и сварных швов в соответствии с международными и РФ нормами.

IDEASTatiCa member — специализированный модуль программного комплекса для расчета, проверки и анализа устойчивости отдельных стальных элементов (балок, колонн, связей). Программа позволяет выполнять геометрически и физически нелинейный расчет, а также проверять прочность и общую устойчивость элементов с учетом их реальных условий закрепления, наличия ребер жесткости, отверстий или несовершенств.

Нелинейный расчет конструкций. Метод последовательных нагружений

Нелинейный расчет узлов и конструкций в целом реализован в программе IDEASTatiCa member. Основные виды нелинейности различают следующие: физическая (нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями) и геометрическая (влияние деформаций на перемещения). Для стальных конструкций учет физической нелинейности

необходим при оценке работы конструкции с учетом развития пластических шарниров, что позволяет выявить реальный запас прочности, превышающий расчеты по линейной теории. Учет геометрической нелинейности ведется при расчете деформированной схемы конструкции, когда нагрузки приложены к уже изогнутым элементам. Учет геометрической нелинейности крайне важен при определении критических нагрузок для конструкций, теряющих устойчивость (например, потеря местной устойчивости элементов или расчет на прогрессирующее обрушение).

Существуют различные группы методов нелинейного расчета, из них можно выделить две основные: метод последовательных нагружений (МПН) и метод последовательных приближений (МПИ). Далее будет более детально рассмотрен метод последовательных нагружений, который и заложен в основу многих программных комплексов при нелинейных расчетах.

К наиболее распространённым методам последовательного нагружения относится метод шагового нагружения. В данном методе заданная нагрузка F разбивается на доли ΔF и прикладывается поэтапно, где решение на каждом i -м шаге (малые перемещения/деформации) служит начальным состоянием для следующего, аппроксимируя задачу линейной. На каждом шаге жесткость конструкции обновляется, что позволяет отслеживать изменения, такие как появление пластических деформаций, трещин или геометрических изменений. Итоговые усилия и перемещения определяются как сумма приращений, полученных на каждом i -м шаге. На первом шаге нагружения жесткость элемента равна начальной. Жесткость, используемая на i -м шаге, принимается постоянной в рамках шага и определяется по усилиям, полученным на шаге $i-1$. Тогда перемещение в рассматриваемом элементе будет вычисляться по графику, приведенному на рис. 1:

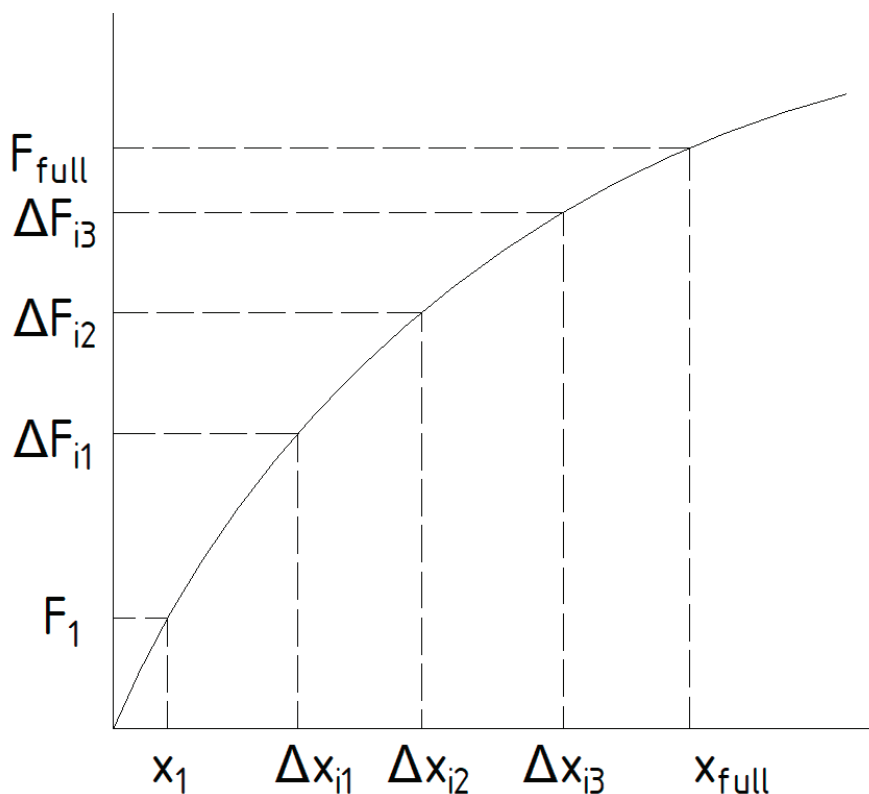


Рис. 1. График последовательного нагружения

$$x = \sum \Delta x_i$$

Где $\Delta x_i = \Delta F_i / K_i$

Метод конечных элементов

В программе IDEASTaCa, как и во всех других расчётных программах заключен принцип расчётов конструкций методом конечных элементов. Суть метода основывается на разбитие сложной конструкции на ряд простых конструкций для поиска напряжений и деформаций в них и конструкции в целом. На пример: сложная и длинная балка с переменным сечением, разбивается на ряд секторов или целые плиты перекрытий или фундаментов, которые разбиваются на сетку конечных элементов — четырехугольные или треугольные сектора. Деление на сектора происходит от вида конструкций, если рассчитывается сплошной элемент простой форма, то разбивка происходит на равные квадраты. Однако, если форма элемента сложная, имеются отверстия или зоны сопряжений

и контакта с другими элементами, разбивка усложняется, происходит деление на сектора трапецевидной или треугольной формы. Для точного расчёта нужно стремиться к тому, чтобы сетка конечных элементов разбивалась на равные малые сектора. Так как данные места могут иметь нереалистичные геометрические характеристики, программа в данных местах может ошибочно вычислять неверное распределение сил, следовательно, от инженера-расчётчика требуется дополнительная проверка разбивки конечно-элементной сетки.

На примере простой балки можно рассмотреть математическую основу, которая заложена в расчётах метода конечных элементов.

Исходные данные: имеется балка длиной L , сечением H с модулем упругости E , к краевым узлам A и B которой приложена продольная нагрузка F , которая вызывает деформации x .

Примем, что усилия направленные вправо являются положительными и точки A и B являются закреплениями. Приложив нагрузку F к точке A мы получаем продольное перемещение u_A вправо. Узловая сила в точках A и B будет равна:

$$F_A = \frac{HE}{L} x_A$$

$$F_B = -\frac{HE}{L} x_B$$

Аналогично, если приложить продольную силу к точке B мы получим следующую узловую нагрузку:

$$F_A = \frac{HE}{L} x_A$$

$$F_B = -\frac{HE}{L} x_B$$

Данные случаи узловой нагрузки характерны, если левая часть равна нулю, а правая деформируется от нагрузки и наоборот. Однако если обе части не равны нулю, то уравнение узловой нагрузки выглядит следующим образом:

$$F_A = \frac{HE}{L} \cdot (x_A + x_B)$$

$$F_B = \frac{HE}{L} \cdot (-x_A + x_B)$$

Сводим два уравнения в матричную форму

$$\begin{bmatrix} HE/L & -HE/L \\ -HE/L & HE/L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_A \\ x_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_A \\ F_B \end{Bmatrix}$$

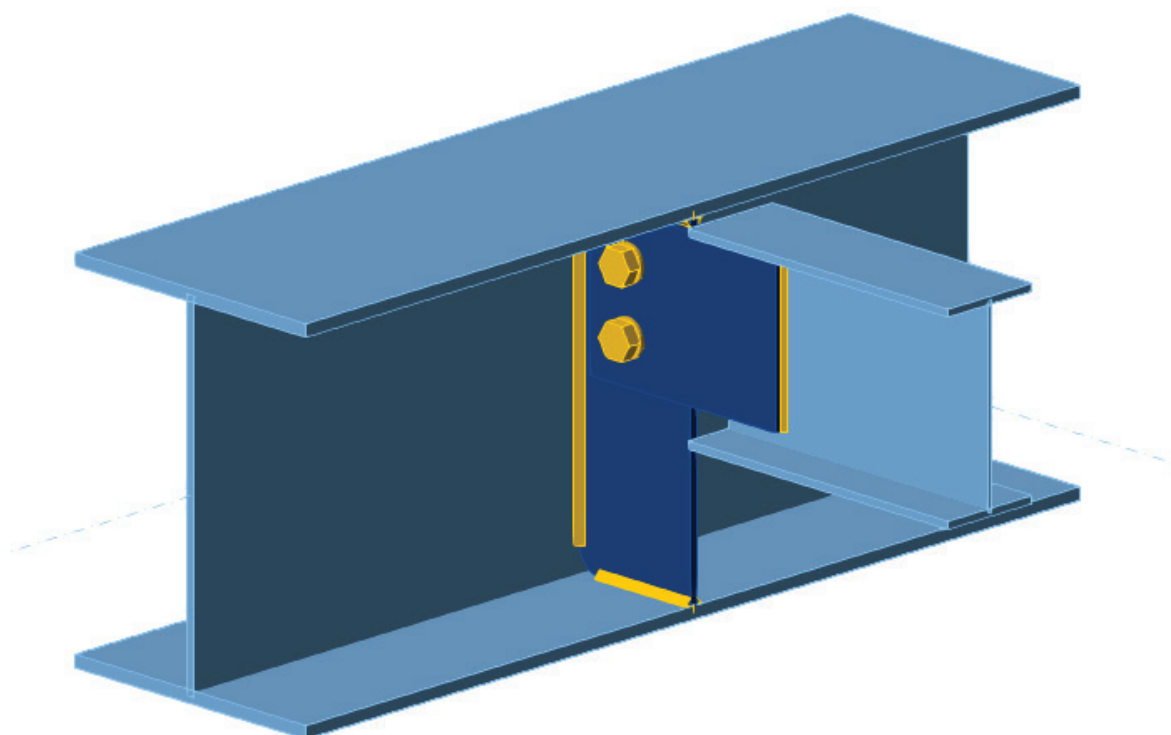


Рис. 2. Модель узла в IDEA StatiCa connection

Следовательно, столбец 1 это узловые нагрузки, которые перемножаются на столбец 2 — это степени свободы узла. Следовательно, чтобы система деформировалась, требуется вычислить из матрицы ту нагрузку, которая соответствует той степени свободы, которая приводит систему в движение, после чего возникают деформации.

В целом можно выделить следующие пункты, по которым ведется расчет методом конечных элементов во многих программных комплексах:

Дискретизация: Разделение балки на конечное число линейных элементов (стержней) и узлов.

Задание свойств: Определение геометрических характеристик сечения (площадь, момент инерции) и материала (модуль Юнга).

Определение граничных условий: Задание закреплений (шарнир, жесткая заделка), ограничивающих перемещения узлов.

Формирование матрицы жесткости: Для каждого элемента составляется матрица, связывающая силы в узлах с перемещениями.

Сборка глобальной матрицы: Объединение матриц жесткости элементов в единую матрицу конструкции.

Решение системы уравнений: Расчет перемещений узлов, на основе которых определяются деформации и напряжения

Выполнение расчётов в программном комплексе IDEASTaCa connection.

Для выполнения расчётов в IDEASTaCa была разработана модель шарнирного узла крепления двутавровых балок на срезной фасонке, показанная на рис. 2. Уровень допустимой пластики задан в 1 %, Расчет будет вестись до максимальной сжимающей продольной нагрузки вдоль оси второстепенной балки.

Предельная нагрузка на узел зафиксирована на значении в 111 кН., см. рис. 2. Программа IDEASTaCa connection может проводить расчет на определение устойчивости, однако ее результатом является только величина коэффициента запаса устойчивости (КЗУ). Определение выхода из строя элементов узла программа ведет по достижению предельных напряжений пластинчатых элементов, либо по коэффициентам использования крепежных элементов (сварка и болты). В данном расчете самым нагруженным пластинчатым элементом является ребро главной балки, результат приведен на рис. 4. Зафиксированный показатель КЗУ в 4,53 может сигнализировать о том, что при заданной нагрузке может происходить потеря устойчивости отдельных элементов узла, поэтому необходимо провести отдельный расчет с учетом нелинейности.

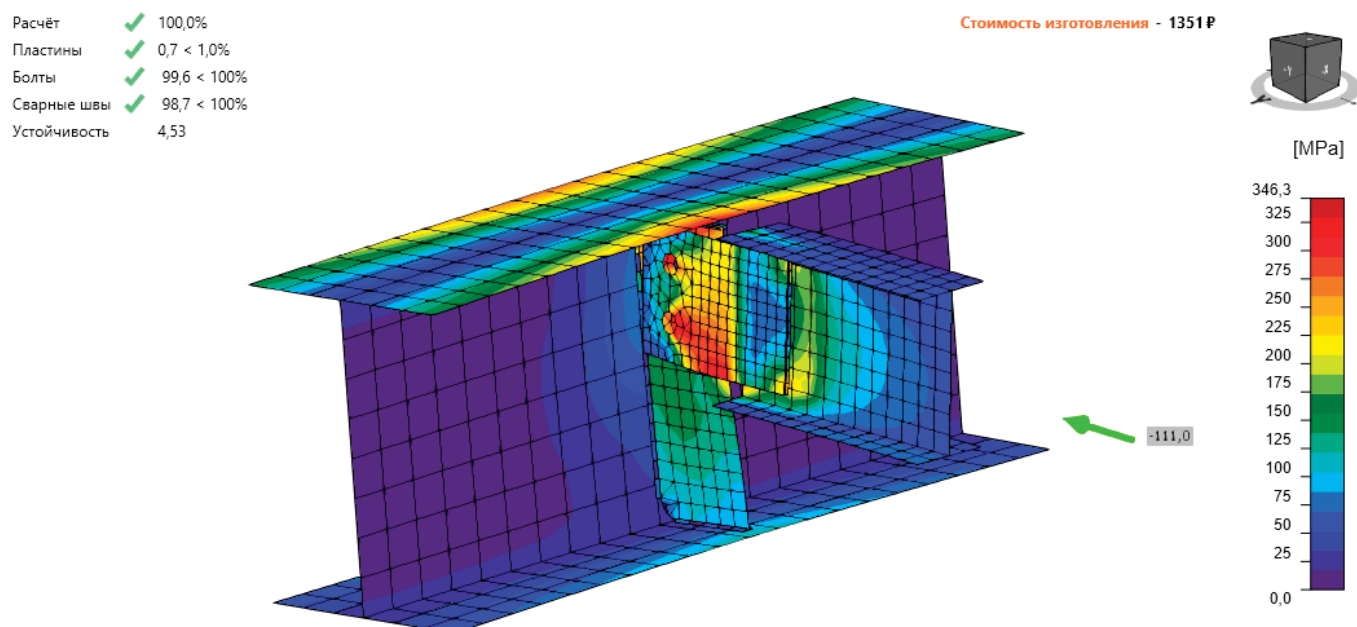


Рис. 3. Результат расчета в IDEASTaCa connection

Выполнение расчётов в программном комплексе IDEASTaCa member.

Для расчета в IDEASTaCa member необходимо моделировать как компоновочное решение конструкции, так и узлы закрепления всех элементов, изображение модели см. на рис. 5. Так как в расчете IDEASTaCa connection проводится анализ только элементов узла, для примера расчета в IDEASTaCa member приму, что узлы крепят балку пролетом в 3 м., закрепленную одинаковым узлом с двух сторон.

Проверка элементов и пластин для наихудшего нагружения

	Статус	Элемент	Материал	Ry [MPa]	Th\\\\ [mm]	Нагрузки	σ [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]
>	✓	Plate 2	C345 (Н/Л)	322,0	6,0	предельное -N	323,3	0,7	23,1
	✓	Plate 1	C345 (Н/Л)	322,0	8,0	предельное -N	322,1	0,1	23,1
	✓	Member 102-w 1	C355	346,3	4,3	предельное -N	305,6	0,0	0,0
	✓	Member 101-bfl 1	C355	346,3	11,0	предельное -N	293,3	0,0	0,0
	✓	Member 101-tfl 1	C355	346,3	11,0	предельное -N	114,5	0,0	0,0
	✓	Member 102-tfl 1	C355	346,3	6,5	предельное -N	108,3	0,0	0,0
	✓	Member 102-bfl 1	C355	346,3	6,5	предельное -N	102,7	0,0	0,0
	✓	Member 101-w 1	C355	346,3	8,0	предельное -N	79,4	0,0	0,0

Расчётные данные

	Материал	Ry [MPa]	Ru [MPa]	ϵ_{lim} [%]
>	C355	346,3	458,5	1,0
	C345 (Н/Л)	322,0	468,3	1,0

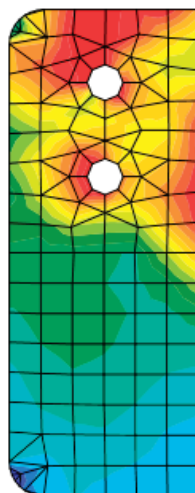


Рис. 4. Напряжения в пластинчатых элементах по итогам расчета в IDEAS StatiCa connection

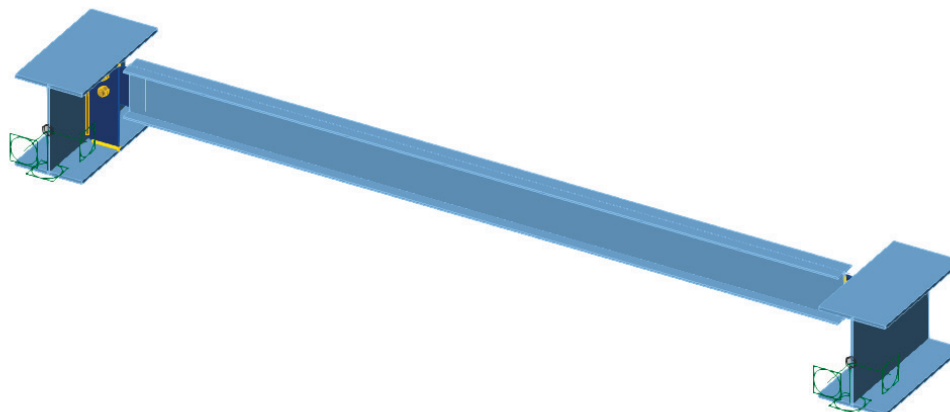


Рис. 5. Модель узла в IDEAS StatiCa member

Приложив нагрузку на пролет балки таким образом, чтобы реакции были равны тем 111 кН, полученным как предельные в IDEASTaTiCa connection, получаем, что конструкция не выдерживает таких нагрузок, как и было установлено ранее в расчете узла, слабым элементов соединения является ребро главной балки, однако при расчете с учетом физической и геометрической нелинейности напряжения в этом ребре уже составляют не 323,3 МПа, а 337,1 МПа, результаты приведены на рис. 6 и 7.

Итоговая нагрузка, при которой расчет будет выполняться полностью и ни один элемент узла не будет выходить из строя, составит 74,7 кН. (результат приведен на рис. 8), что составит:

$$100 \% - \frac{111 - 74,7}{111} * 100 = 67,3 \% \text{ от нагрузки без учета нелинейности.}$$

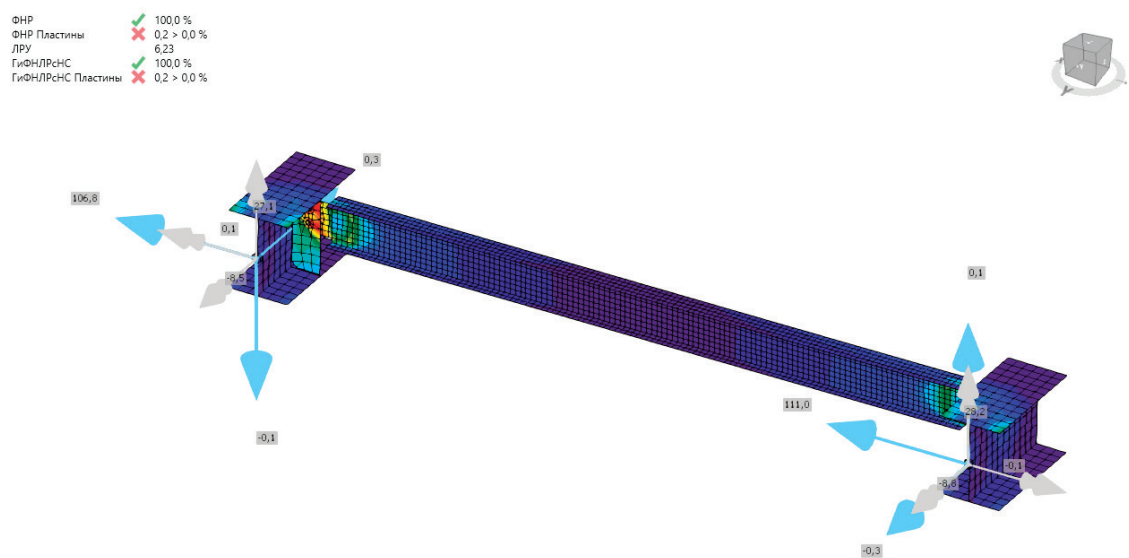


Рис. 6. Результат расчета в IDEASTaTiCa member

ФНР

ЛРУ

ГиФНЛРСНС

ФНР

ЛРУ

ГиФНЛРСНС

Приложенные нагрузки

✓ 100,0 %

Приложенные нагрузки

✓ 100,0 %

	Статус	Элемент	Материал	Th. [mm]	Нагрузки	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{p1} [%]
▼ P31							
	✓	Стенка 1	C345	4	LE1	291,2	0,0
▼ C31							
	✓	Верхняя полка 1	C345 - 1	13	LE1	127,6	0,0
▼ C33							
	✓	Верхняя полка 1	C345 - 1	13	LE1	132,5	0,0
▲ Узел1							
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,1	0,2
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,1	0,2
	✗	Накладка (SP1)	C345	8	LE1	324,5	0,0
▲ Узел2							
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,0	0,2
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,0	0,2
	✓	Накладка (SP1)	C345	10	LE1	284,7	0,0

Material	f_y	ϵ_{lim} [%]
C345	336,6	0,0
C345 - 1	317,1	0,0

	Статус	Элемент	Материал	Th. [mm]	Нагрузки	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{p1} [%]
▼ P31							
	✓	Стенка 1	C345	4	LE1	295,4	0,0
▼ C31							
	✓	Верхняя полка 1	C345 - 1	13	LE1	127,9	0,0
▼ C33							
	✓	Верхняя полка 1	C345 - 1	13	LE1	131,9	0,0
▲ Узел1							
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,1	0,2
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,1	0,2
	✗	Накладка (SP1)	C345	8	LE1	317,3	0,0
▲ Узел2							
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,0	0,2
	✗	Ребро жёсткости (РЖ1)	C345	6	LE1	337,0	0,2
	✓	Накладка (SP1)	C345	10	LE1	286,7	0,0

Material	f_y	ϵ_{lim} [%]
C345	336,6	0,0
C345 - 1	317,1	0,0

Рис. 7. Напряжения в пластинчатых элементах по итогам расчета в IDEASTaTiCa connection

Вариация данного узла выбрана для примера именно потому, что в данном узле помимо прочностных характеристик крайне необходимо учет устойчивости, что и подтвердилось расчетом с учетом нелинейности.

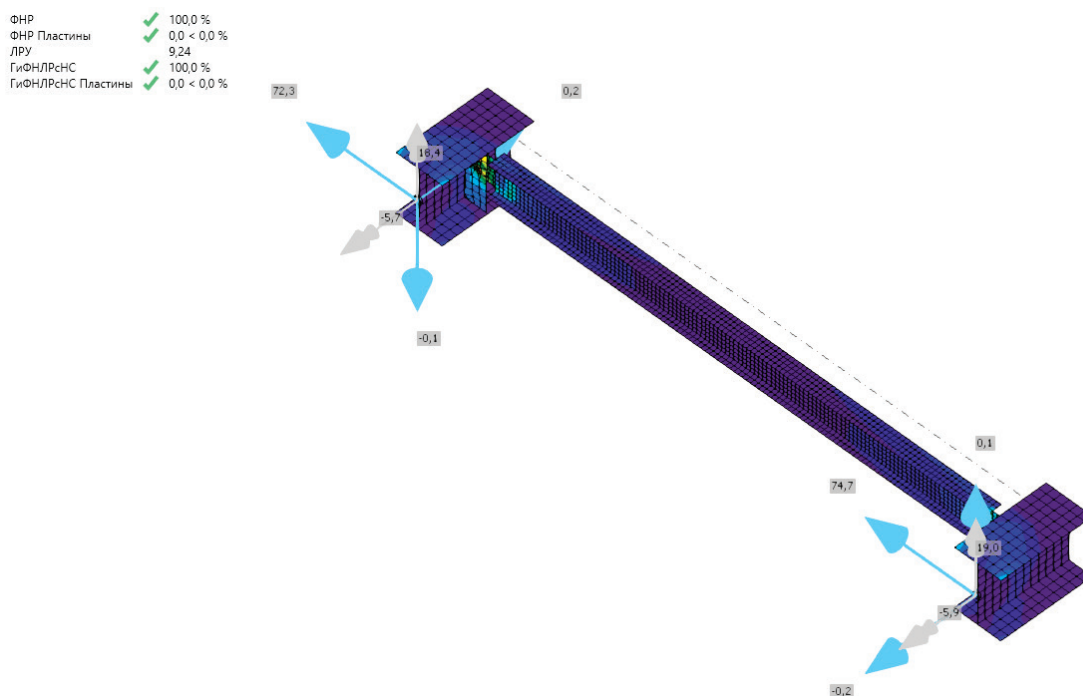


Рис. 8. Результат перерасчета в IDEASTatica member

Выводы

- Использование программного комплекса IDEASTatica позволяет выполнять расчёты узлов и конструкций любой сложности.
- Используя конечно-элементные модели, расчёт которых учитывает нелинейность, можно получить более полную и точную картину деформаций и напряжений, возникающих в элементах и конструкциях в целом;
- Нелинейный расчет крайне необходим для конструкций, в которых возможна потеря местной и/или местной устойчивости, а также если необходимо учитывать несовершенства в конструкциях.

Литература:

1. Knowledge base GMNA Geometrically nonlinear analysis: <https://www.ideastatica.com/support-center/geometrically-nonlinear-analysis>
2. А. М. Наумов Применение метода последовательных нагружений при решении задач механики плоских стержней
3. База знаний ЛИРА СЕРВИС: <https://rflira.ru/kb/106/2793/>
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_конечных_элементов

Дом-мастерская как архитектурный тип: анализ виллы Озанфана и общие принципы проектирования

Мазий Анна Евгеньевна, студент
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (г. Москва)

Статья рассматривает типологию дома-мастерской, основываясь на примере виллы Амеде Озанфана, созданной Ле Корбюзье. Итогом исследования является выявление общих принципов проектирования, позволяющих достигнуть целостности архитектурного решения для данного типа зданий.

Ключевые слова: дом-мастерская, архитектурная типология, Ле Корбюзье, принципы проектирования, пространственная организация.

Дом-мастерская представляет собой особый тип жилой архитектуры, не имеющий устойчивой модели или шаблона. Ко всему прочему, главной задачей и сложностью проектирования данного типа является зонирование жилого и рабочего пространства: сохранение камерности отдельных зон при создании целостного общего объема.

Основой для исследования становится анализ архитектуры дома Амеде Озанфана, спроектированный выдающимся архитектором XX века — Ле Корбюзье. Благодаря тому, что дома-мастерские зачастую функционируют как творческие лаборатории и здания-манифесты, они становятся наглядным материалом для выявления проектных принципов. [1, с. 52]

Дом Озанфана становится первой парижской постройкой и по совместительству лабораторией по формированию авторских принципов проектирования, которые

в последствии превратятся в знаменитую концепцию «Пять отправных точек современной архитектуры». Объемно-планировочное решение во многом определено габаритами участка: узкая треугольная площадка на пересечении авеню Рей и сквер Монсури вынуждают отказаться от свободной планировки нулевого цикла в пользу компактного параллелепипеда с глухими брандмауэрами по трем сторонам. Как подчеркивают Поляков Е. Н. и Полякова О. П., именно этот проект стал для Ле Корбюзье «радикальным разрывом с прошлым», открыв «принципиально новый этап в его творчестве» [3, с. 16], что подтверждает рубежный статус виллы в рамках модернистской архитектуры.

Принципиальной новацией объемно-планировочного решения становится вертикальное функциональное зонирование, отражающее иерархию жизненных процессов художника-пуриста, что наглядно показано на рисунке 1.

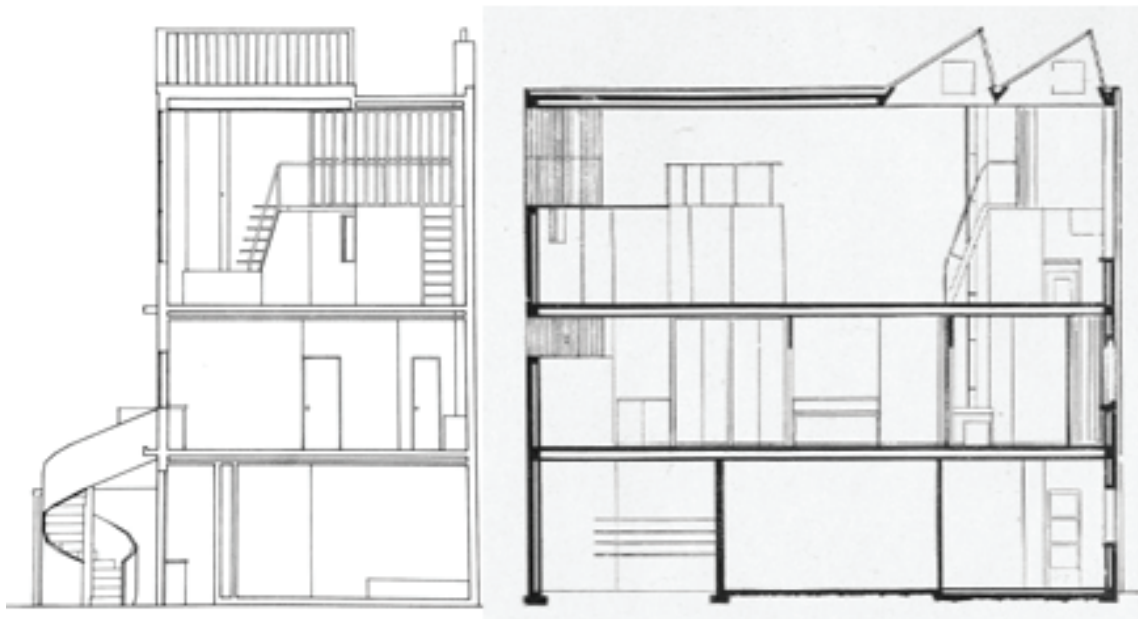


Рис. 1. поперечный и продольный разрезы виллы Озанфана

Нижний уровень, трактуемый Ле Корбюзье как «зона обслуживания движения» (оставлен для гаража и помещения персонала), намеренно изолирован. Средний ярус, выполняющий роль приватного бельэтажа, включает спальню, ванную и галерею для экспозиции произведений, из которой можно подняться на верхний этаж, где располагается доминанта пространства — двухсветная мастерская художника [3, с. 16]. Взаимосвязь рабочей и жилой зон здесь выражается последовательным восхождением: от нижней бытовой зоны через промежуточное экспозиционно-жилое пространство к «чистому» верху, увенчанному световым фонарем. Пространство мастер-

ской, благодаря включению двух антресолей (для библиотеки и фотолаборатории), дифференцируется по высоте, создавая сложную сценографию творческого процесса без утраты визуальной целостности основного кубического объема. Данная пространственная стратегия, как отмечает О. Г. Максимов, предвосхищает ту «поэтизацию архитектуры», которая станет центральной темой зрелого Корбюзье, когда «геометрическое построение архитектурного объекта сменялось пластическим» [2, с. 10].

Вилла Озанфана демонстрирует уникальный синтез пуристской эстетики и функционального программирования пространства. Художественная выразительность

здания основывается на сочетании строгих геометричных форм и индустриальной эстетики. Внешний объем — лаконичный параллелепипед, венчаемый выразительным пилообразным фонарем, имитирующий кровлю заводского цеха. Этот элемент, за которым скрывается плоская эксплуатируемая кровля, становится формальным манифестом машинной эстетики. Кульминационным приемом

работы с формой и материалом служит дематериализация верхнего угла здания: применение железобетонного каркаса позволило Ле Корбюзье свести несущие стены к минимуму и организовать на стыке двух фасадов «световой куб» — трехгранный стеклянный объем, где две вертикальные плоскости остекления сходятся со стеклянным потолком зенитного фонаря.



Рис. 2. Световой куб

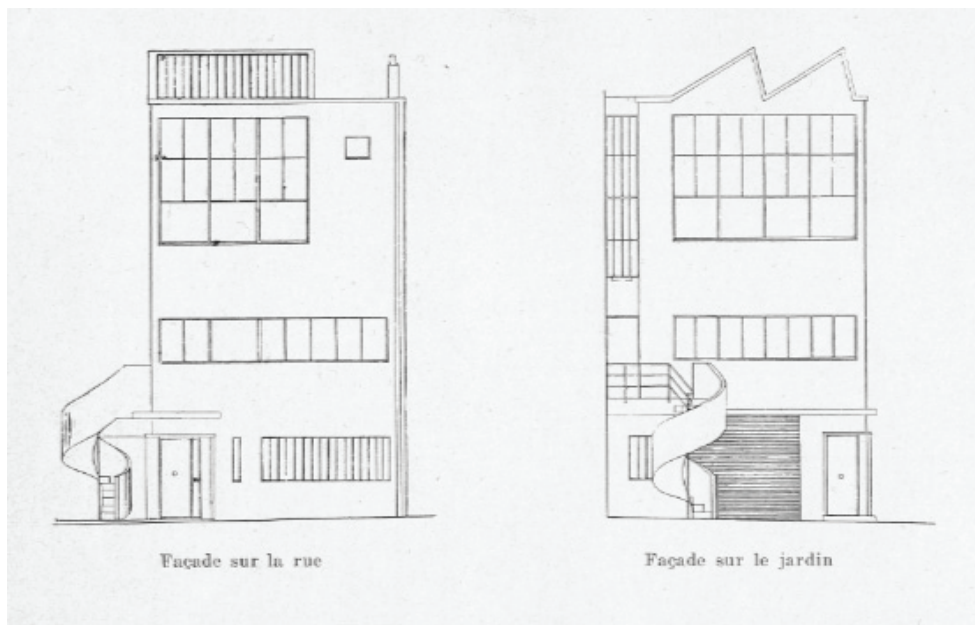


Рис. 3. Фасады виллы

Ввиду типологии здания, ключевым инструментом формообразования становится организация световой среды в мастерской. Излюбленный принцип Ле Корбюзье — принцип ленточного остекления получил самое

большое распространение по всему миру среди прочих вариантов остекления, несмотря на его недостатки такие, как избыток инсоляции и перегрев помещений, поскольку обеспечивает хорошую естественную освещенность и вид

из окна [2, с. 141–142]. В вилле Озанфана данная дилемма предвосхищена: ленточное остекление жилья дает видовые преимущества, тогда как мастерская пользуется принципиально иным световым режимом. Согласно замыслу архитектора, пространство мастерской задумывалось как «идеальный световой куб с тремя стеклянными гранями (две из них формируют фасады рабочей студии, а третья — потолок)», и с помощью этого приема внутреннее пространство кабинета как бы «растворилось», визуально слилось с небом и окружающим ландшафтом [3, с. 16]. Это решение принципиально отличает рабочую зону от жилой через категории света и пространства.

В более широком культурологическом контексте вилла Озанфана может быть прочитана как раннее проявление той «открытости» и «миролюбия», которые Максимов определяет в качестве сквозных тем мастера, пронизывающих «все его творчество» [4, с. 21]. Хотя символ раскрытой ладони будет наиболее проявлен в работах Корбюзье позднее, сама пространственная организация дома-студии символична этому жесту: мастерская, венчающая здание и распахнутая небу через три стеклянные грани, может трактоваться, как архитектурный аналог открытой ладони, подставленной свету. Показательно, что уже в 1918 году А. Озанфан и Ле Корбюзье выступили с манифестом, провозглашавшим необходимость создания ««абсолютно функционального» искусства», и в данном проекте зодчий «постарался реализовать основные идеи этой новой программы» [3, с. 17].

Проведенный анализ позволяет вывести ряд общих закономерностей и принципов проектирования дома-мастерской, апробированных Ле Корбюзье в вилле Озанфана и сохраняющих актуальность для современной архитектуры.

Принцип вертикального зонирования жилого и рабочего пространств позволяет сделать мастерскую ядром объемно-планировочного решения, намеренно изолировать ее от жилой зоны. Вертикальное зонирование здания подчинено принципу инверсии: чем выше этаж, тем более

приватный и камерный характер носят расположенные на нём помещения.

Принцип создания «буферных зон» (библиотеки, технические комнаты), как переходных модулей между жилой зоной и творческим пространством. Все помещения в доме используются максимально практично: лестничные холлы служат выставочными пространствами, спальные ниши могут трансформироваться в небольшие кабинетные зоны. Этот принцип требует закладывать в объемно-планировочное решение переменную высоту этажа во всех помещениях, кроме идеального куба мастерской.

Принцип многосветной организации пространства проявляется в использовании различных типов остекления (ленточное, световые фонари, остекленный угол). Этот принцип требует учета инсоляции и ориентации по сторонам света при проектировании: жилье обращается на видовые характеристики участка, а мастерская пользуется многоплановым освещением.

Принцип использования индустриальной и минималистичной эстетики для формообразования и пластической выразительности. Мастерская—становится доминантой в объеме здания, именно с ее объема стоит начинать проектирование и подчинять этому объему все остальные. Индустриальная эстетика выражается в материалах использование индустриальных стеклоблоков, легких металлоконструкций или перфорированных панелей. Дематериализация угла и растворение визуальных барьеров, приемы ставшие возможными благодаря освоению железобетонного каркаса, прямо вытекают из корбюззианской концепции свободного фасада, когда «фасад освобожден от нагрузки» [2, с. 137].

Совокупность данных принципов позволяет выделить дом-мастерскую в самостоятельный архитектурный тип, который характеризуется устойчивым сочетанием жилой и рабочей зон, особой системой естественного освещения и особой пространственной структурой, обусловленной совмещением бытовых и рабочих процессов.

Литература:

1. Корпачев, О. С. Собственный дом архитектора как феномен индивидуального частного жилья в XX веке // Жилищное строительство. — 2012. — № 3. — С. 38–41.
2. Мунгалова, А. Е. Пять отправных точек современной архитектуры Ле Корбюзье и их актуальность сегодня / А. Е. Мунгалова, Л. В. Халтурина. // Сборник трудов Международной научно-проектной конференции в честь 20-летия первого выпуска высшей архитектурно-дизайнерской школы на Алтае «Архитектура и градостроительство, дизайн и изобразительное искусство 2021 — теория и история, художественное творчество и проекты». — Барнаул: АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 2021. — С. 137–144.
3. Поляков, Е. Н. «Кубическое» направление в творчестве Шарля-Эдуарда Жаннере-Гри/ Е. Н. Поляков, О. П. Полякова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2023. — № 6. — С. 9–28.
4. Максимов, О. Г. О символике открытости, процветания и мира в творчестве Ле Корбюзье // Architecture and Modern Information Technologies. — 2026. — № 1(74). — С. 9–23.

Методика преобразования жилой среды 1960–1980-х годов в Санкт-Петербурге

Малеева Елизавета Константиновна, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье автор исследует, каким качествами должна обладать методика преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге, и описывает основные принципы разработанной методики преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге.

Ключевые слова: методика преобразования, жилая среда, микрорайон, квартал, градостроительное проектирование, Санкт-Петербург

В последние десятилетия г. Санкт-Петербург развивался преимущественно экстенсивно, что привело к сокращению незастроенных территорий в административных границах города. В условиях неизбежного будущего перехода к этапу интенсивного развития, одним из наиболее вероятных сценариев является комплексное развитие ранее застроенных территорий жилой среды, в первую очередь — жилой среды 1960–1980-х гг. Городская среда, в том числе жилая среда, а также жилая застройка занимают важное место в комплексе нормативно-правовых актов стратегического характера как на уровне Российской Федерации, так и на уровне г. Санкт-Петербурга. На общероссийском уровне разработаны методические рекомендации по комплексному развитию микрорайонной городской среды [1], однако для г. Санкт-Петербурга они могут быть применены лишь частично, так как не учитывают особенности градостроительного развития Санкт-Петербурга в целом и особенности формирования жилой среды 1960–1980-х гг. и его результаты в частности. Таким образом, разработка методики преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. для г. Санкт-Петербурга является актуальной задачей для исследователей.

Градостроители расходятся во мнениях, было ли, начиная с 1960-х гг., прекращено наследование исторических градостроительных принципов. С одной стороны — концепция Ленинграда как города-ансамбля, подчиненного единому творческому замыслу, стабильно сохранялась при разработке всех генеральных планов с 1930-х по 1980-е гг. [2]. С другой стороны — с 1950-х гг. главной задачей градостроительного развития провозглашена не тема ансамблевости, а тема типизации, что резко снизило качество формируемой среды, а тема ансамбля-территории рассматривалась как единство планировочного каркаса и типизации застройки, что оказалось недостаточным для формирования полноценных ансамблей [3]. Учитывая вышеизложенное, при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге, важным является учет сложившегося единства планировочного каркаса, исключение ответа типизацией на типизацию, использование приемов, характерных для градостроительного генетического кода г. Санкт-Петербурга.

Представляется, что методика преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге должна обеспечивать комплексность подхода к градостроительному

проектированию, ставя приоритетами учет актуальных требований, предъявляемых к качественной жилой среде, восстановление исторической преемственности между планировочными поясами города, сохранение наиболее ценных с историко-культурной, архитектурно-градостроительной точек зрения градостроительных комплексов и объектов застройки.

Главным инструментом обеспечения комплексного подхода к градостроительному проектированию при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге должна стать разработка иерархии уровней градостроительного проектирования, а также определение задач каждого из уровней. Предлагается следующий вариант подобной иерархии:

1. Городской (общегородской) уровень.
2. Уровень градостроительного ансамбля первого порядка.
3. Уровень градостроительного ансамбля второго порядка.
4. Уровень группы элементов планировочной структуры (микрорайонов, кварталов).
5. Уровень элемента планировочной структуры (микрорайона, квартала).

Из перечисленных уровней обязательными являются № 1, № 2 и либо № 4, либо № 5. При помощи такого подхода возможна последовательная, детальная проработка предлагаемых решений.

На городском (общегородском) уровне предлагается определять тип и подтип применяемой модели преобразования и выявлять главные градостроительные ансамбли, сформированные территориями жилой среды 1960–1980-х гг. На уровнях градостроительного ансамбля первого и второго порядка предлагается выявить системы, связанные единой композиционной структурой, ценные элементы планировочной и ландшафтно-композиционной структуры, определить решения по преобразованию улично-дорожной сети, выявить сохраняемые и развиваемые элементы водно-зеленого каркаса, общественные пространства. На уровне группы элементов планировочной структуры и уровне элемента планировочной структуры предлагается выявить ценные объекты застройки, опорные серии, серии, подлежащие сносу, определить класс вертикальных доминант и процент периметральности уличного фронта, выявить сохраняемые

и развиваемые элементы водно-зеленого каркаса, общественные пространства.

Дополнительно на каждом из уровней можно рекомендовать развивать идентичности территории, а также использовать методы соучаствующего проектирования, вовлекая жителей преобразуемых микрорайонов и кварталов в процесс принятия решений.

Наиболее часто в существующих методических рекомендациях предлагается делать выбор характеристик преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. исключительно на основе периодизации и преобладающей этажности зданий в микрорайоне или квартале, однако для г. Санкт-Петербурга наиболее перспективным представляется определение характеристик преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. в зависимости от роли территории в планировочной структуре города и ее градостроительной ценности. Предлагаются четыре типа моделей преобразования:

1. *Интеграционная* — используется при преобразовании жилой среды элементов планировочной структуры, где типовая застройка 1960–1980-х гг. является точечной.

2. *Консервационная* — используется при преобразовании жилой среды градостроительных комплексов, имеющих выдающуюся историко-культурную, градостроительную ценность. *Подтип № 1* — с сохранением градостроительной композиции без обязательного сохранения застройки. *Подтип № 2* — с сохранением градостроительной композиции с обязательным сохранением застройки.

3. *Центральная* — используется при преобразовании элементов планировочной структуры, формирующих центральную часть городов внутригородских муниципальных образований г. Санкт-Петербурга.

4. *Базовая* — используется при преобразовании жилой среды элементов планировочной структуры, для которые невозможно использовать один из вышеупомянутых типов моделей. *Подтип № 1* — для территорий, приближенных к центральным планировочным поясам города. *Подтип № 2* — для территорий, отдаленных от центральных планировочных поясов города.

Большинство известных методических рекомендаций по развитию жилой среды 1960–1980-х гг. предлагают обязательное разукрупнение существующих микрорайонов и кварталов. Однако при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге предлагается отказаться от обязательного разукрупнения существующих микрорайонов и кварталов, что обуславливается, во-первых, характерностью для г. Санкт-Петербурга укрупненных элементов планировочной структуры и, во-вторых, невозможностью разукрупнения существенного числа микрорайонов и кварталов без нанесения серьезного ущерба социальному ядру и озелененным внутриквартальным территориям общего пользования. Принятие решения о разукрупнении элемента планировочной структуры предлагается принимать в два этапа, на первом этапе — оценить необходимость разукрупнения при помощи сравнения фактической плотности улично-

дорожной сети с нормативными значениями, на второй этапе — оценить возможность разукрупнения без уничтожения сложившегося социального ядра и озелененных внутриквартальных территорий общего пользования, сноса объектов застройки, представляющих историко-культурную ценность. В рамках методики преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге приоритетами при преобразовании улично-дорожной сети должно являться приведение поперечных профилей объектов улично-дорожной сети в соответствие с нормативными параметрами, при наличии такой возможности без излишнего вреда для застройки и озеленения, и с актуальными тенденциями и запросами, предъявляемыми к качественной городской среде, в том числе создание выделенных полос для общественного транспорта и выделенных полос или дорожек для велосипедов и средств индивидуальной мобильности.

Еще одним важным обстоятельством, на которое следует обратить внимание при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг., является улучшение характеристик среды, одним из ключей к которому может являться разработка сценариев зрительного восприятия. Условия зрительного восприятия городской среды и ее объективно воспринимаемых качеств могут и должны быть объектами проектирования [4]. Наиболее часто среди отрицательных качеств жилой среды 1960–1980-х гг. называют однообразие, монотонность. Для улучшения сложившейся ситуации необходимо при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге избегать многократного повторения планировочных приемов, отдавать предпочтение зданиям меньшей протяженности, уменьшать степень вертикальной однородности застройки в зонах среднеэтажной и многоэтажной застройки.

Ряд характеристик формируемой среды должен зависеть от категории объекта улично-дорожной сети, ограничивающего элемент планировочной структуры. Представляется, что класс вертикальных доминант и процент периметральности уличного фронта должен возрастать для магистральных улиц районного и общегородского значения. Например, используя классификацию вертикальных доминант исторического Санкт-Петербурга, предложенную С. В. Семенцовым [5], можно рекомендовать использование вдоль местных улиц вертикальных доминант 5 и 6 классов, вдоль магистральных улиц районного значения — 4, 5 и 6 классов, вдоль магистральных улиц общегородского значения — 3, 4, 5 и 6 классов.

Выводы

1. Создание более качественной среды в результате преобразования жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге возможно исключительно в случае широкого использования принципов и приемов градостроительного генетического кода г. Санкт-Петербурга.

2. Преобразование жилой среды — процесс изменения характеристик среды, преследующий ряд взаимодополняющих, взаимоувязанных целей. Главными составляющими преобразования жилой среды 1960–1980-х гг.

3. в г. Санкт-Петербурге должны являться модернизация, преемственность и сохранение, равные между собой по значению.

4. Комплексность подхода при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге должна обеспечиваться при помощи создания иерархии уровней градостроительного проектирования.

5. Преимуществами создания иерархии уровней градостроительного проектирования при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. является детализация про-

ектных решений «сверху вниз», возможность создания подробной, многоуровневой иерархии объектов и пространств, что особенно актуально для города федерального значения Санкт-Петербурга, а также повышение связности развиваемых территорий по итогам реализации проектов.

6. Градостроительные решения, предлагаемые при преобразовании жилой среды 1960–1980-х гг. в г. Санкт-Петербурге, должны в первую очередь учитывать расположение преобразуемого элемента планировочной структуры в планировочной структуре города.

Литература:

1. Стандарт комплексного развития территорий // ДОМ.РФ: сайт. URL: <https://xn—d1aqf.xn—p1ai/urban/standards/printsipy-kompleksnogo-razvitiya-territoriy/> (Дата обращения: 8.05.2026).
2. Овчаренко Д. Д. Наследование градостроительных традиций в проектировании жилой среды Ленинграда 1960–80-х гг.: дис. канд. арх.: Овчаренко Данил Джаванширович — СПб., 2014. — 180 с.
3. Семенцов, С. В. Градостроительное развитие Санкт-Петербурга в 1703–2000-е годы: дис. д-ра арх.: Семенцов Сергей Владимирович. — СПб., 2007. — 416 с.
4. Беляева Е. Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. М., Стройиздат, 1977. — 127 с.
5. Семенцов С. В. 1917–1950-е годы: развитие градостроительного силуэта социалистического Петрограда-Ленинграда по традициям императорского Санкт-Петербурга // Academia. Архитектура и строительство. — 2025. — № 1. — С. 52–57. — DOI: 10.22337/2077-9038-2025-1-52-57.

Анализ существующего метода проектирования мобильных модульных зданий

Малова Екатерина Романовна, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В Российской Федерации отмечен положительный опыт применения блочно-модульных зданий в сфере промышленного строительства. Некоторые компании, сосредоточенные на определенных типах инженерных систем, предлагают услуги «под ключ», включая разработку схем для тепло-, водо-, газо- и электроснабжения. Они занимаются проектированием модулей с заданными характеристиками в соответствии с исходными данными строитель-

ного проекта, проводят сборку и комплектацию в заводских условиях, осуществляют транспортировку, строительномонтажные и пусконаладочные работы на объекте (рис. 1).

Примером использования данной технологии является возведенная в 2023 г. модульная школа в Чите на 250 мест (рис. 2) [3].

Анализируя существующий российский опыт блочно-модульного строительства, можно выявить как поло-



Рис. 1. Месторождение Майское, ООО «НГ-Энерго»



Рис. 2. Модульная школа в Чите, Забайкальский край

жительные, так и отрицательные аспекты использования этой технологии. [1] К основным преимуществам относятся:

- высококачественное производство в оптимальных заводских условиях, минимизация неблагоприятных воздействий стройплощадки;

- рациональное объединение всех видов работ «под одной крышей», организованные команды специалистов на производстве и стандартизированные рабочие процессы;

- уменьшение трудоемкости работ на строительной площадке благодаря максимальной механизации работ;

- сокращение продолжительности возведения зданий, что обеспечивает быстрые сроки окупаемости проекта;

К недостаткам можно отнести:

- значительное увеличение грузоподъемности используемых механизмов и транспорта;

- сложность транспортировки модульных блоков, особенно в городских условиях;



а)



б)



в)

Рис. 3. Конструктивные схемы модульных зданий: а) из составленных модулей, б) с ядром жесткости, в) с внешним стальным каркасом

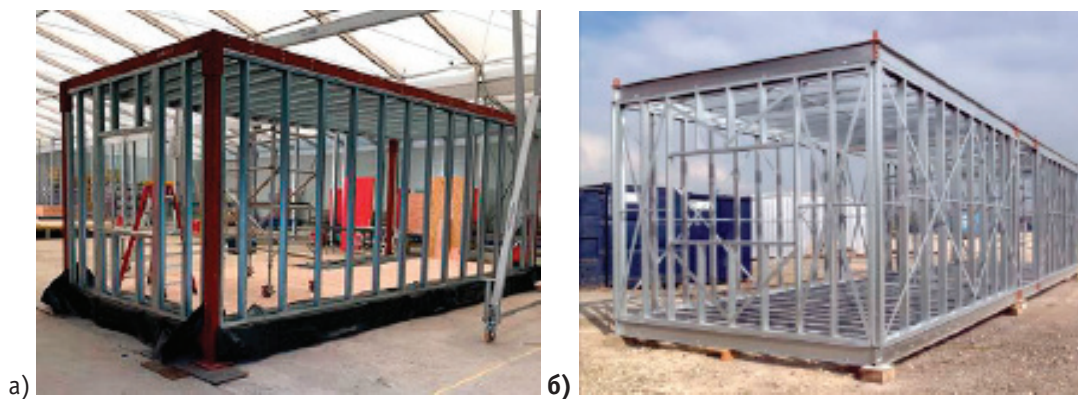


Рис. 4. Каркасные системы модулей: а) с опорными угловыми колоннами, б) с несущими стенами

— повышенные требования к подъездным путям на строительную площадку.

Модульные здания классифицируются по следующим признакам: конструктивная схема, каркас модулей, узловые соединения.

По конструктивной схеме модульные здания делятся на:

- схема из составленных модулей (рис. 3а);
- схема с ядром жесткости (рис. 3б);
- схема с внешним стальным каркасом (рис. 3в).

По каркасу модулей выделяют следующие системы:

- модули с опорными угловыми колоннами (рис. 4а);
- модули с несущими стенами (рис. 4б);
- ненесущие модули.

Узловые соединения модульных зданий классифицируются по расположению в пространстве:

- внутримодульные соединения;
- межмодульные соединения;
- соединения с фундаментом;
- соединения с ядром жесткости (при наличии).

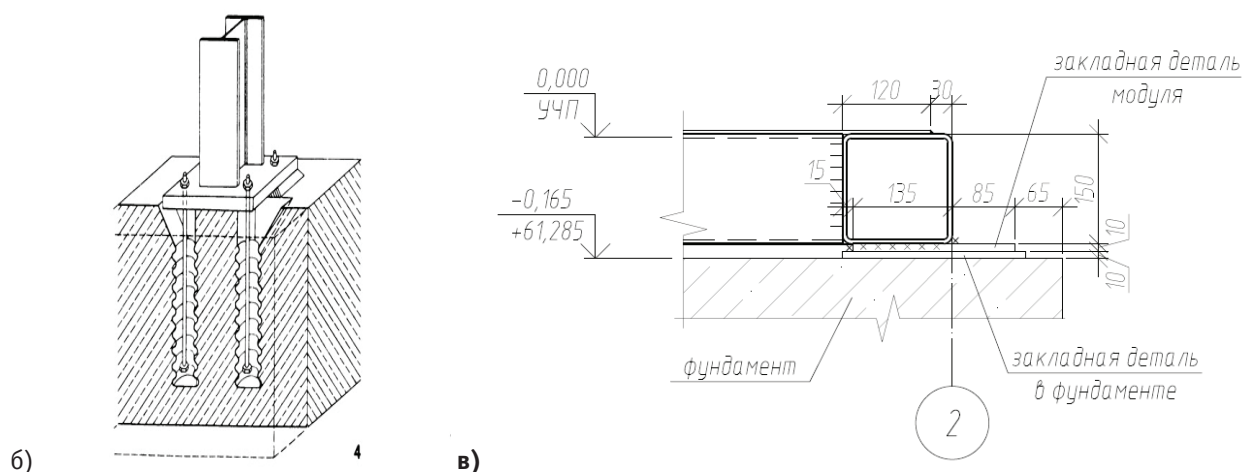


Рис. 5. Классификация соединений модуля к фундаменту: а) с заделкой в тело фундамента, б) на анкерных болтах, в) приварка к закладной детали фундамента (разработано автором)

Соединения с фундаментами делятся на:

- заделка стойки в бетон (рис. 5а);
- через анкерные болты (рис. 5б);
- приварка к стальному ростверку или закладной детали фундамента (рис. 5в).

Как и в случае с традиционными строительными конструкциями, узловые соединения модулей с фундаментами должны гарантировать:

- восприятие и передачу нагрузок;
- фиксацию в проектном положении при монтаже.

В России наиболее распространены крепления модулей к фундаментам с использованием опорных пластин, соединенных сваркой. Такие узлы отличаются простотой установки и способностью нивелировать погрешности, возникающие при устройстве фундаментов.

Межмодульные соединения классифицируются:

- на болтах (рис. 6а);
- на сварке (рис. 6б);
- на коннекторах (рис. 6в).

Болтовые соединения между модулями отличаются простотой установки и позволяют демонтировать здание при необходимости. Однако для их монтажа требуются дополнительные элементы, такие как пластины или фланцы.

Сварные межмодульные соединения, напротив, требуют значительных трудозатрат и не подлежат разборке. Их преимущества заключаются в компактности и повышенной несущей способности по сравнению с болтовыми аналогами, что компенсирует сложность монтажа.

На основе анализа научных источников и оценки достоинств/недостатков определены ключевые конструктивные подходы, применяемые при возведении модульных зданий в России.

1. Для строительства модульных зданий сталь является оптимальным выбором: она отличается лёгкостью и высокой конструктивной эффективностью.

2. В российском строительстве наибольшее распространение получили модульные системы с опорными ко-

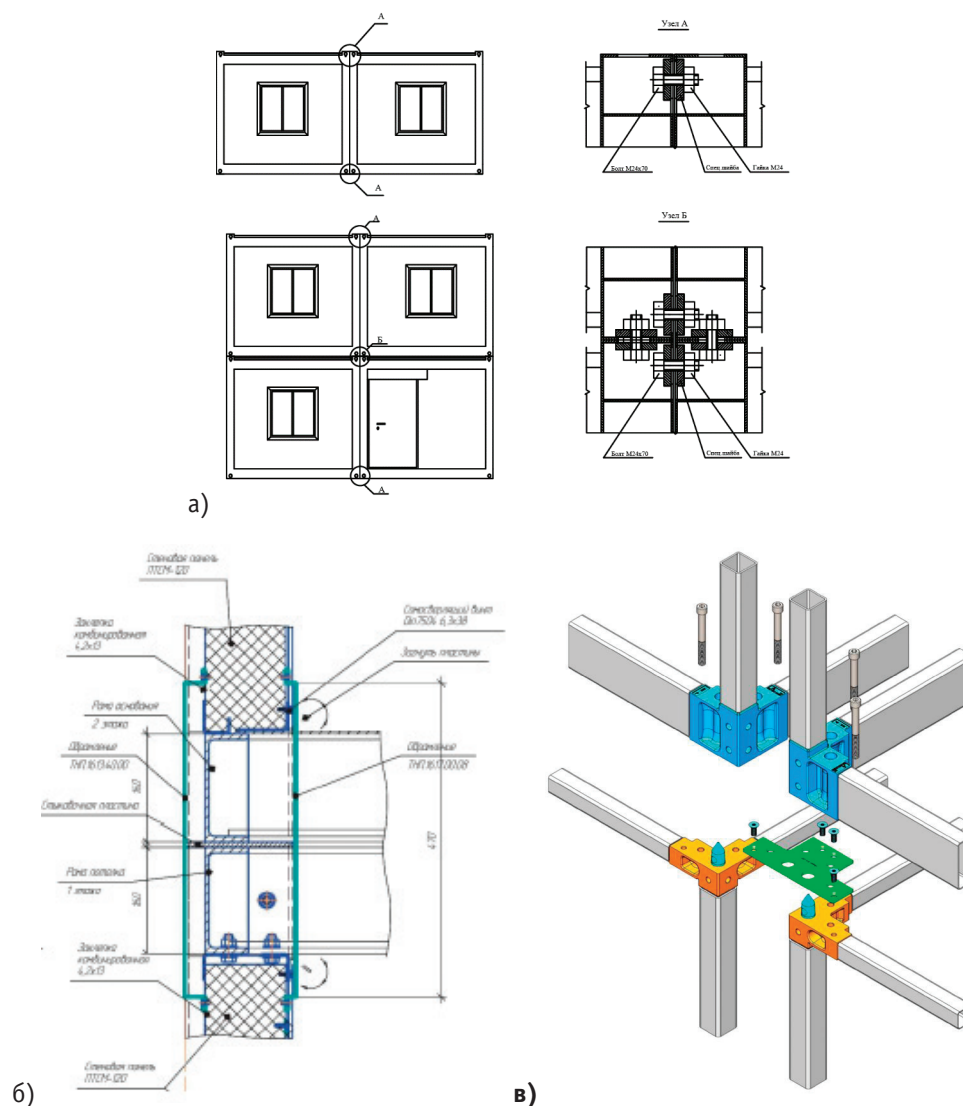


Рис. 6. Классификация межмодульных соединений: а) на болтах, б) на сварке (ОАО «Электросит»), в) на коннекторе Vector Praxis [2]

лоннами, отличающиеся гибкостью при разработке планировочных решений.

3. Трубчатые сечения считаются оптимальным выбором для стоек модулей с опорными колоннами. Применение квадратных и прямоугольных труб позволяет добиться высокой несущей способности в условиях сжатия и изгиба, а плоские грани упрощают монтаж горизонтальных элементов каркаса.

4. В российской строительной отрасли наибольшее распространение получили сварные межмодульные со-

единения с использованием стыковочных пластин. К их основным преимуществам относятся высокая устойчивость к сдвигающим нагрузкам и простота монтажа, не требующая применения сложных дополнительных элементов.

5. В контексте внутримодульных соединений сварной метод демонстрирует преимущества перед болтовым: он обеспечивает стабильность геометрических параметров модуля, а также повышает несущую способность и жёсткость конструкции.

Литература:

1. Захарова М. В., Пономарев А. Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и Архитектура. — 2017. — Т. 8, № 1. — С. 148–155. DOI: 10.15593/2224–9826/2017.1.13
2. Широков, В.С Конструктивные особенности модульных зданий / В. С. Широков // Вестник евразийской науки. — 2022 — Т. 14. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/03SAVN322.pdf> DOI: 10.15862/03SAVN322
3. Модульная школа. — Текст: электронный // construction.doorhan.ru: [сайт]. — URL: <https://construction.doorhan.ru/projects/shkola/> (дата обращения: 09.05.2026).
4. Современное модульное строительство / Д. А. Сауков, Л. А. Гинзберг // SAFETY2018. — 2018. С. 69–82.
5. ООО «ПитерЭнергоМарш»: официальный сайт. — Санкт-Петербург — Обновляется в течение суток. — URL: https://piterenergomash.ru/images/pdf/pechat/PEM_DGU.pdf

Традиционные конструкции народов мира: анализ несущих способностей и эстетики

Наумова Вероника Якимовна, студент
Астраханский государственный технический университет

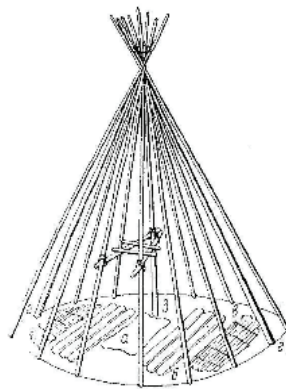
Введение

Традиционная архитектура является воплощением многовековой адаптации человека к природным условиям. Строительство домов на протяжении всей истории служило не только удовлетворению практических потребностей, но и являлось формой эстетического самовыражения. С помощью традиционных конструкций разных уголков мира можно было понять и увидеть, как они соединяют в себе инженерную мысль, ценности народов, обычаи, их творческий вкус, понимание здешних материалов, окружающей среды и многое другое.

Цель моей статьи в том, чтобы на примерах сооружений разных культур проанализировать два направления: их несущую способность и эстетическую реализацию жилищ в стиле их традиций. Как отмечается в современной литературе, «традиционное строительство относится к конструктивным системам вернакулярной архитектуры», которая в противоположность монументальной архитектуре использует местные материалы и достигает экологического баланса между доступностью ресурса и его потреблением. [1]

Так, например, дома северных народов созданы с учетом их жизни: им приходится справляться с нехваткой всего необходимого, суровым климатом, постоянными переездами и другими трудностями. Поэтому их жилища имеют особые конструкции, отражают их культуру, удобны в использовании и построены из того, что есть под рукой. Часто дома таких народов должны быть быстры в разборке и возведении, в следствии их кочевого образа жизни, также практичны при экстремальных температурах и ветре, а их интерьер ориентирован на сохранение тепла и компактность. [2]

К жилищам народов севера относится чум, конструкция их домов довольно простая. Она представляет собой конусообразную ферму, из длинных шестов, размером от 5 до 7 м, которые расставлены по окружности и связаны в вершине. Такие жилища за счет своей конической формы обладают аэродинамическим сопротивлением, благодаря которому ветер обтекает поверхность и не возникают зоны раздражения, а благодаря наклону в $>45^\circ$ снижается снеговая нагрузка, т. к. под собственным весом снег соскальзывает. В такой конструкции нагрузки через наклонные шесты передаются на почву, работая на продольный изгиб, а благодаря частоте расстановке стоек и их закреплению, в грунте достигается устойчивость. [3]



Дизайн чума минималистичен и обладает сильной экспрессией. Основной эстетический фокус смещен внутрь конструкции, где дымовое отверстие и свет от очага играют ключевую роль. Внешне чум не нарушает монохромную цветовую палитру тундры, что является иллюстрацией принципа эстетики интеграции с природной средой.

Также к жилищам северных народов относятся иглу. Такая конструкция представляет собой купольную оболочку, выложенную по спирали из уплотненных снежных блоков. Снежные кирпичи в такой конструкции работают по принципу, камней в арке. Купольная форма замыкает распор в замке свода, превращая вертикальную нагрузку от собственного веса и ветра в равномерно распределенное сжатие по кольцу основания. При низких температурах снег, от -40° и ниже, имеет значительную прочность на сжатие. При дыхании человека снег подтаивает и создается ледяная корка на внутренней поверхности, превращая снег в армированную льдом оболочку, которая еще прочнее держит свод. [4]

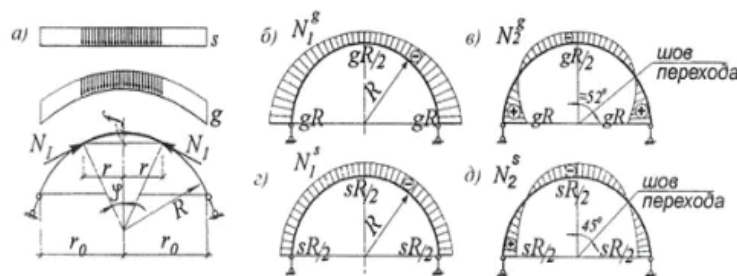
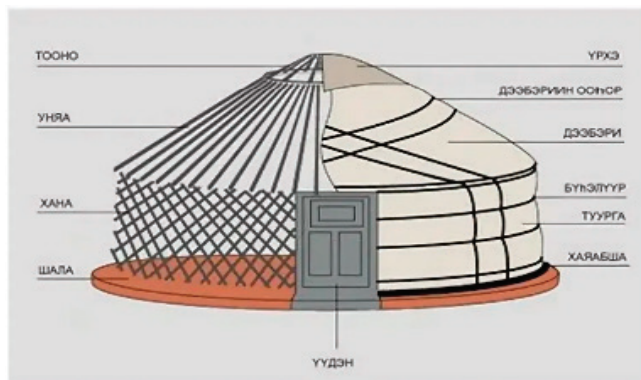


Рис. 9.4. Усилия в куполе от вертикальных нагрузок:
а — расчетная схема; б, в — эпюры меридиональных N_1 и кольцевых N_2 усилий в полусферическом куполе от веса покрытия; г, д — то же, от снеговой нагрузки
Примечание: \ominus — сжатие; \oplus — растяжение.

Форма их традиционных конструкций лаконична. Прозрачные ледяные стены пропускают мягкий свет, создавая эффект рассеянного света (диффузии), благодаря чему возникает особая атмосфера внутри. В полярную ночь иглу выглядит как мягко светящийся холм, а плавные линии конструкции успокаивают психику в условиях замкнутого пространства.

Переходя к рассмотрению степных жилищ, следует отметить их ключевые характеристики. Эти традиционные сооружения, возводимые кочевыми и полукочевыми этносами степной зоны, являлись результатом адаптации к экстремальным климатическим условиям, дефициту строительных материалов и специфике кочевого образа жизни. Мобильность конструкций была обусловлена необходимостью частых перемещений. Округлая форма строений обеспечивала повышенную ветроустойчивость, а ориентация входов на юг способствовала пассивному солнечному обогреву помещений.

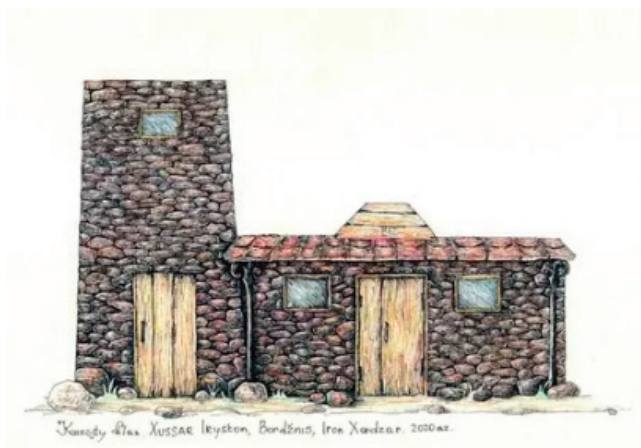
К таким жилищам относится юрта. Она представляла собой разборное решетчато-каркасное сооружение с цилиндрическим основанием и сферическим куполом. Данная конструкция представляет собой сферический свод, сделанный из согнутых жердей, который опирается на тяжелый деревянный обод. Вертикальная нагрузка, такие как снег, давление ветра, создает горизонтальный распор, который прекращается за счет натяжения войлочного покрытия и специальных поясов, действующих по принципу бандажей на бочке. В таких жилищах решетчатые стены податливы, поэтому при землетрясении связи не ломаются, деформируются без общей потери геометрии. Это упругая шарнирная система. [5]



Округлая форма в сочетании с природными материалами придаёт жилищу ощущение гармонии. В интерьере часто присутствуют орнаменты, ковры и текстиль, отражающие национальные традиции. Переплетение реек кереге формирует динамичную светотеневую структуру. Отверстие в куполе ассоциируется со солнцем, а расходящиеся жерди символизируют его лучи.

Жилища горных же регионов формируются под влиянием природных условий, доступных материалов, климатических особенностей и культурных традиций. Их характеристики варьируются в зависимости от региона, но можно выделить общие ключевые качества и особенности.

Одно из таких жилищ — сакля. Оно представляет собой каменную конструкцию на глиняном растворе с плоской крышей. Обычно такие дома строят так, чтобы они примыкали друг к другу в виде террас, что создаёт дополнительную защиту от внешних угроз и улучшает теплоизоляцию. Вписывают такой дом в крутой склон без создания подпорных стен и используя при этом силу трения каменной массы, благодаря ступенчатой структуре, образованной за счет верхнего дома, который опирается на крышу нижнего [6]. Стены в них толщиной от 0,6–1,0 м работают как контрфорсы, воспринимая сейсмические горизонтальные толчки. Устойчивость стен в таких жилищах на опрокидывание увеличивается благодаря плоской крыше с толстым слоем земли, служащей пригрузом. [7]



Эстетика сакли проявляется в массивности и монументальности форм, где грубая фактура камня подчёркивает связь с горной местностью. В таких жилищах декоративные элементы встречаются редко, за исключением резьбы на воротах или балконных перилах. Благодаря серо-охристым оттенкам камня достигается визуальное слияние с природным ландшафтом.

Заключение

Анализ традиционных построек выявляет, что несущая способность и эстетическая составляющая в них неразделимы. Так, купол иглу и конус чума не только выдерживают нагрузку, но и обладают узнаваемым силуэтом. Решетка юрты служит одновременно расчетной схемой для распределения нагрузки и источником декоративного ритма. Массивная, грубая кладка сакли, в свою очередь, выступает как защита от землетрясений и как метафора неизбежности горных массивов. Современные архитекторы, стремящиеся к созданию прочных, устойчивых и при этом эстетически наполненных конструкций, находят этот симбиоз весьма актуальным.

Литература:

1. <https://deziiign.com/project/0c3100b7bb9c41e7a4bacca3039e42e8>
2. <https://goarctic.ru/news/traditsionnye-zhilishcha-narodov-rossiyskoy-arktiki/>
3. <https://dzen.ru/a/aSaByn1b53d99wVs>
4. <https://www.ixbt.com/live/offtopic/pochemu-iglu-eskimosov-ne-tayut-hotya-vnutri-nih-otnositelno-teplo-prostaya-fizika-udivitelnogo-doma-iz-snega.html>
5. <https://moluch.ru/archive/606/132690>
6. <https://journal.sovcombank.ru/puteshestviya/yurti-chumi-sakli-kak-viglyadyat-traditsionnie-doma-narodov-rossii>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Какля>

Испытание изменения несущей способности и М-φ кривой жёсткого узла стального каркасного здания промышленного объекта

Ружич Марко, студент магистратуры

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В данной работе проводится исследование в программном обеспечении IdeaStatica того, как изменение угла наклона фланцевой пластины, через которую осуществляется соединение жёсткого узла рамной стальной конструкции промышленного объекта, влияет на изменение несущей способности узла и М-φ кривой.

Ключевые слова: стальные каркасные конструкции, Жёсткие соединения, М-φ кривая.

Цель исследования: Анализ зависимости несущей способности и М-φ кривой жёсткого узла от изменения наклона фланцевой пластины.

Задачи исследования:

- Определить максимальную несущую способность узла
- Определить наиболее благоприятную М-φ кривую жёсткого узла
- Классифицировать узел

Объект исследования: Жёсткий узел стальной рамы

Предмет исследования: Несущая способность и М-φ кривые

Введение

Соединение, устойчивое к изгибающему моменту (moment resistant joint), или моментное соединение — это общее название для соединения, которое передаёт изгибающий момент, поперечную силу (и осевую силу) между соединяемыми элементами. Моментные соединения в углах рамных несущих конструкций традиционно проектируются в предположении идеализированной жёсткости, которая обеспечивает непрерывность элементов рамного несущего элемента, то есть изгибающего момента и внутренних усилий в элементах рамы. Основной характеристикой идеально жёстких (ideally rigid) моментных соединений является «бесконечно большая» жёсткость компонентов соединения и, как следствие, предотвращение изменения угла между элементами соединения (например, колонны и ригель) под действием нагрузки, то есть предотвращение разности абсолютных поворотов

концов элементов в рассматриваемом соединении. Однако моментные соединения в реальных конструкциях обладают определённой степенью гибкости, которая является следствием деформируемости отдельных компонентов соединения. Гибкость моментного соединения должна учитываться при глобальном анализе, то есть при моделировании конструкции рамы.

Поворотная жёсткость S_j — это параметр связи между несущим моментом M_j и относительным поворотом ϕ , который представляет собой разность абсолютных поворотов концевых поперечных сечений соединяемых элементов. Стандарт EN 1993–1–8 в главе 6 определяет расчётные модели, с помощью которых устанавливается прогнозное значение несущей способности и поворотной способности моментного соединения. Эти модели основаны на применении компонентного подхода, который включает идентификацию активных компонентов соединения (болты, пояс колонны, стенка колонны, фланцевая пластина), оценку механических характеристик компонентов и установление качественных и количественных взаимосвязей этих характеристик на интегральном уровне для оценки конструктивных характеристик соединения и его глобальной реакции в предельном состоянии по несущей способности. Таким образом, с точки зрения поворотной жёсткости моментные соединения классифицируются как жёсткие или полужёсткие.

В монтажных соединениях элементов стальных конструкций широко применяются различные болтовые соединения, в том числе фланцевые на высокопрочных болтах. К преимуществам болтовых соединений по сравнению со сварными относятся:

- замена монтажной сварки, требующей высокой квалификации, элементарными операциями по постановке и затяжке болтов;
- возможность монтажа конструкций при любых климатических условиях, в том числе и при низких температурах;
- высокая надежность соединений при действии динамических нагрузок;
- простота контроля соединений;
- возможность демонтажа конструкций без повреждения конструкции.

Общие сведения о проведении испытания

Испытание проведено на трёх жёстких узлах стальной конструкции промышленного объекта. Каждый узел сформирован таким образом, что соединяются главная колонна рамной конструкции и ригель, поперечные сечения которых выполнены в форме сварного профиля размерами 600×300×6×9 мм. Соединение в каждом случае

осуществляется через фланцевую пластину толщиной 19 мм и предварительно напряжённые высокопрочные болты М8.8. Качество стального материала всех элементов для испытания каждого узла соответствует качеству С255. Жёсткий узел на рисунке 1 соответствует случаю, когда фланцевая пластина образует с горизонталью угол 90 градусов. Жёсткий узел на рисунке 2 соответствует случаю, когда фланцевая пластина образует с горизонталью угол 35 градусов. Жёсткий узел на рисунке 3 соответствует случаю, когда фланцевая пластина образует с горизонталью угол 0 градусов, то есть когда фланцевая пластина совпадает с горизонталью.

Методика проведения испытания и полученные результаты

Испытание проводилось в предположении, что каждый жёсткий угол стальной рамной конструкции будет сконструирован таким образом, чтобы его можно было максимально достоверно сравнивать с другими узлами. В соответ-

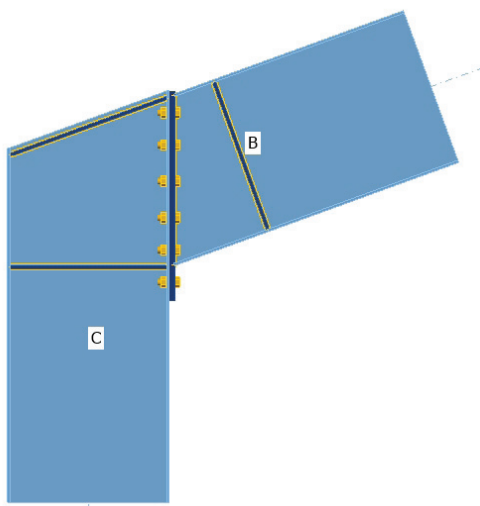


Рис. 1. Узел № 1, фланцевая пластина образует угол 90 градусов

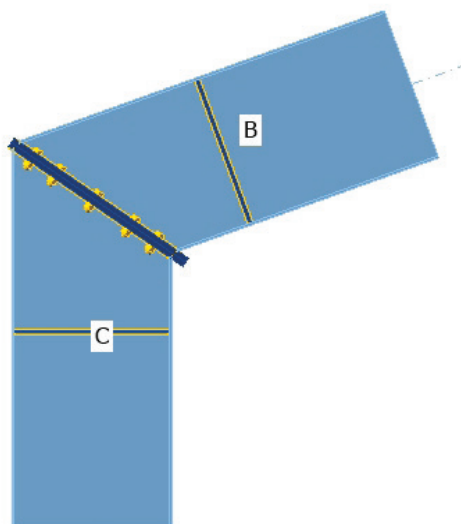


Рис. 2. Узел № 2, фланцевая пластина образует угол 35 градусов

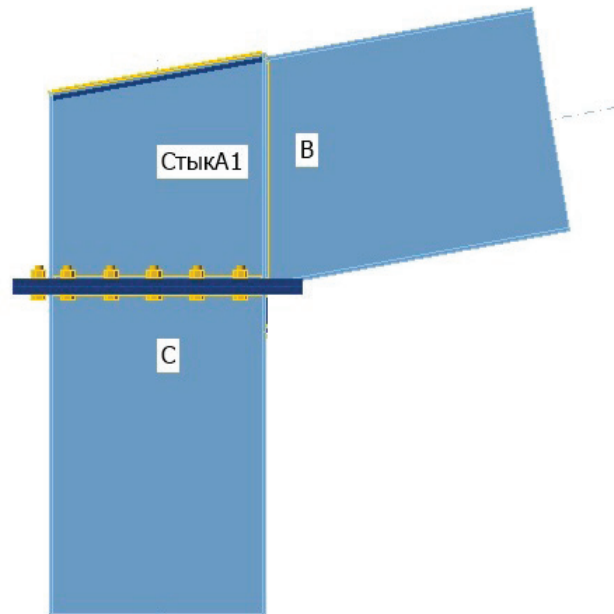


Рис. 3. Узел № 3, фланцевая пластина образует угол 0 градусов

ствии с этим, каждое соединение выполнено с фланцевой пластиной одинаковой толщины и с болтами одного качества и диаметра для всех трёх случаев. Для случая, когда фланцевая пластина образует с горизонталью углы 90 и 35 градусов (узлы, показанные на рисунке 1 и на рисунке 2), усиление в виде вут намеренно не предусматривалось, так как дополнительное усиление в виде вуты радикально увеличило бы несущую способность жёсткого узла и снизило бы его гибкость, и как таковое сразу же изначально сделало бы узлы 1 и 2 значительно более предпочтительным решением по сравнению со случаем 3.

Результаты узла № 1

На узел была задана нагрузка в виде изгибающего момента M_y величиной 100 кН·м, как показано на графике, представленном на рисунке 4. Нагрузка задана произвольно, поскольку само программное обеспечение IdeaStatica требует от пользователя указать значение нагрузки, чтобы в ответе можно было получить информацию о максимальной несущей способности показанного узла. Из графика чётко видно введённое значение расчётной нагрузки 100 кН·м и расчётная несущая способность узла — 236,2 кН·м.

На рисунке 5 представлена М-φ кривая узла № 1, на основе которой можно определить значение поворотной жёсткости S_j как главного параметра для классификации узла как полужёсткого.

Результаты узла № 2

На узел была задана нагрузка в виде изгибающего момента M_y величиной 100 кН·м, как показано на графике, представленном на рисунке 6. Нагрузка задана произвольно, поскольку само программное обеспечение IdeaStatica тре-

бует от пользователя указать значение нагрузки, чтобы в ответе можно было получить информацию о максимальной несущей способности показанного узла. Из графика чётко видно введённое значение расчётной нагрузки 100 кН·м и расчётная несущая способность узла — 291,1 кН·м.

На рисунке 7 представлена М-φ кривая узла № 2, на основе которой можно определить значение поворотной жёсткости S_j как главного параметра для классификации узла как полужёсткого.

Результаты узла № 3

На узел была задана нагрузка в виде изгибающего момента M_y величиной 100 кН·м, как показано на графике, представленном на рисунке 8. Нагрузка задана произвольно, поскольку само программное обеспечение IdeaStatica требует от пользователя указать значение нагрузки, чтобы в ответе можно было получить информацию о максимальной несущей способности показанного узла. Из графика чётко видно введённое значение расчётной нагрузки 100 кН·м и расчётная несущая способность узла — 146,6 кН·м.

На рисунке 9 представлена М-φ кривая узла № 3, на основе которой можно определить значение поворотной жёсткости S_j как главного параметра для классификации узла как жёсткого.

Выводы и обработка результатов

Проведённые испытания трёх типов фланцевых узлов показали существенное различие в их несущей способности и поворотной жёсткости. Узел № 2 оказался наиболее эффективным (расчётная несущая способность 291,1 кН·м), узел № 1 — средним (236,2 кН·м), а узел № 3 —

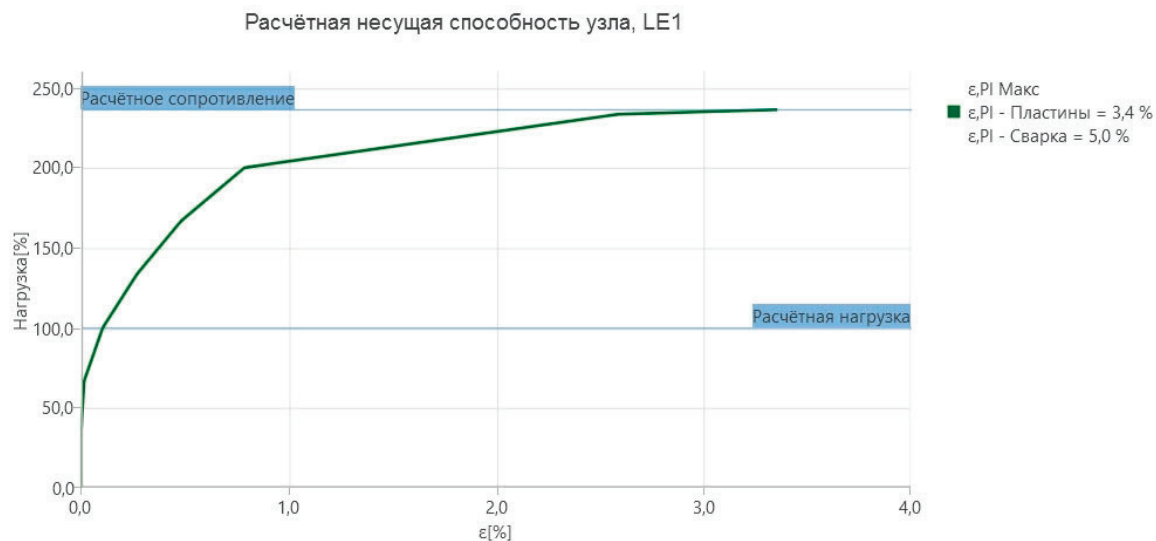


Рис. 4. График несущей способности узла № 1

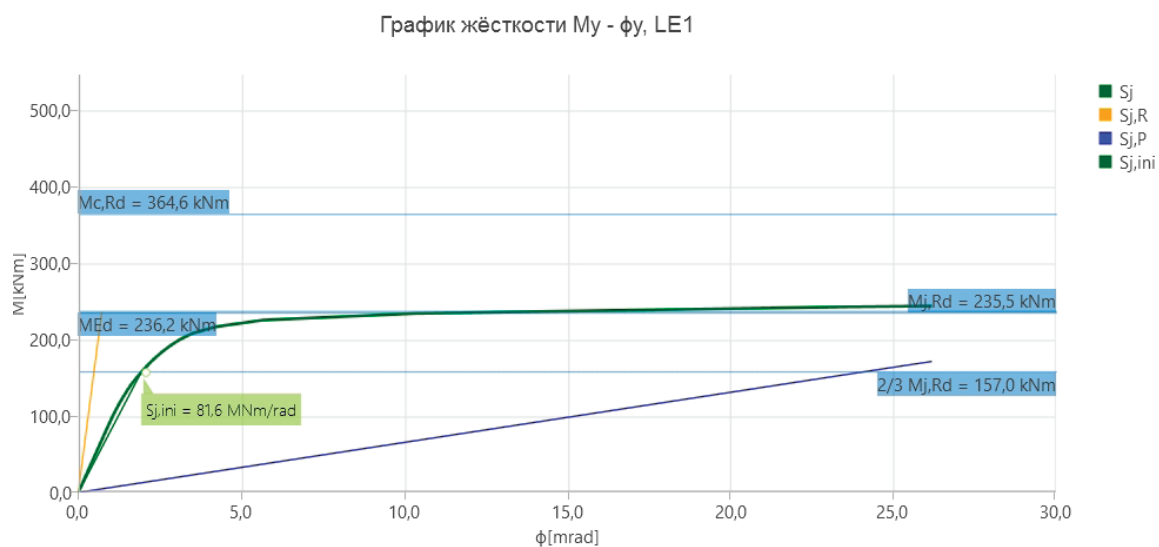


Рис. 5. М-φ кривая узла № 1

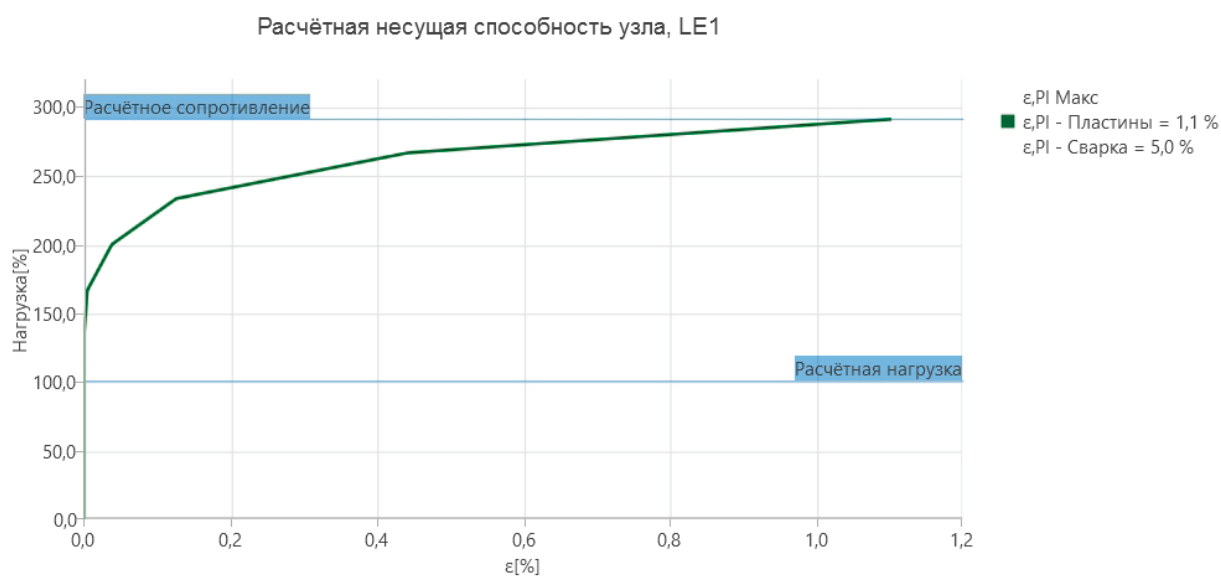


Рис. 6. График несущей способности узла № 2

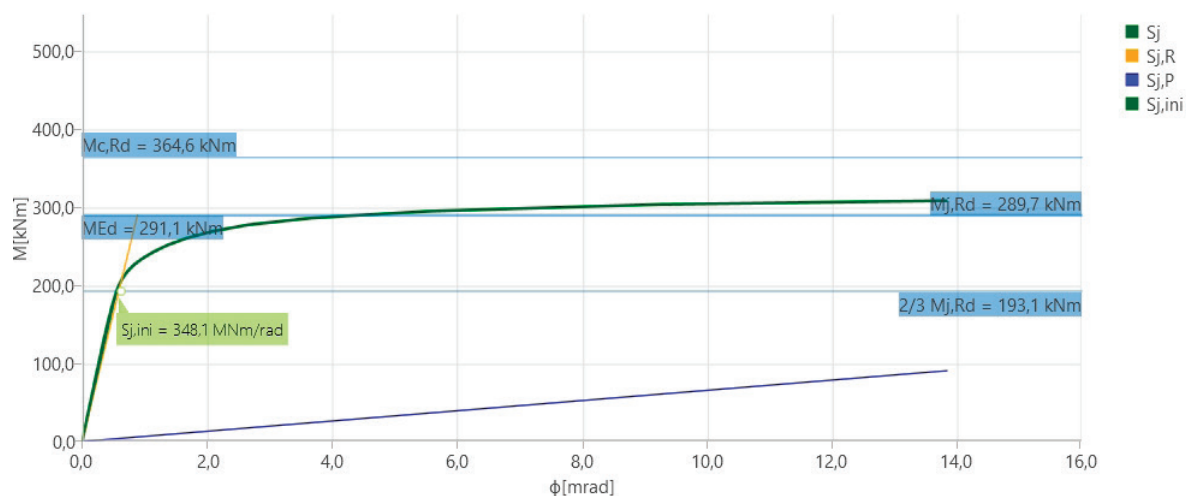
График жёсткости M_ϕ - ϕ , LE1

Рис. 7. М-φ кривая узла № 2

Расчётная несущая способность узла, LE1

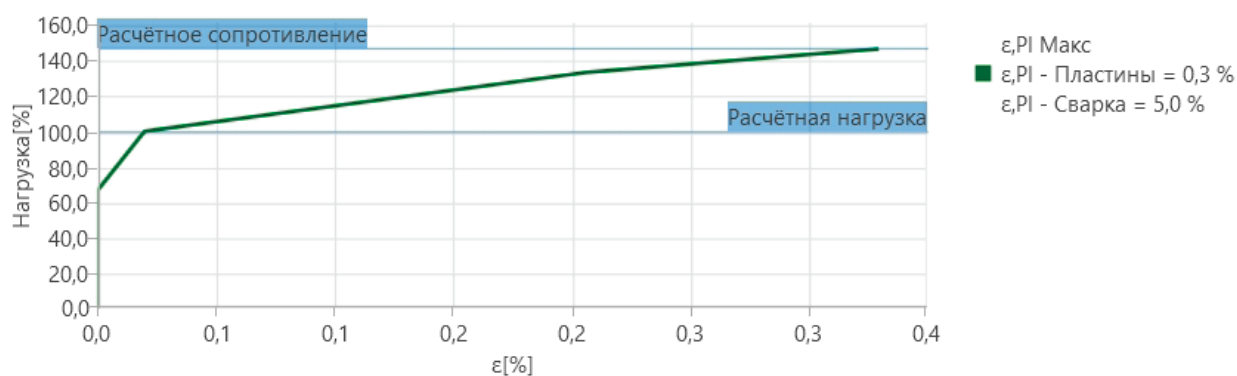


Рис. 8. График несущей способности узла № 3

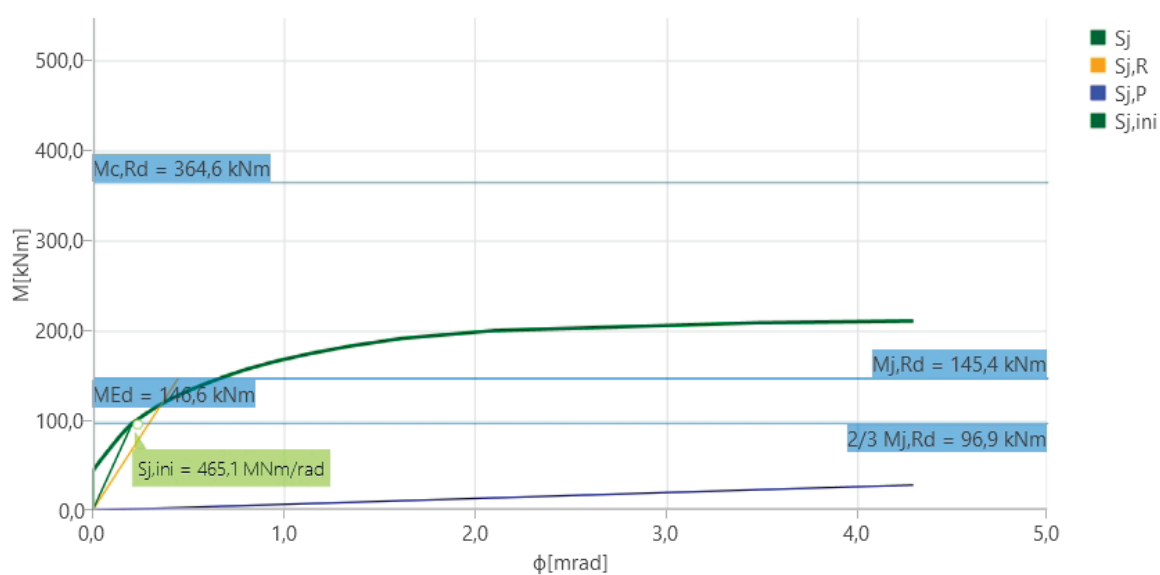
График жёсткости M_ϕ - ϕ , LE1

Рис. 9. М-φ кривая узла № 3

наименее прочным (146,6 кН·м). При этом узел № 3 классифицируется как жёсткий а узлы № 1 и № 2 — как полужёсткие (по параметрам М-φ кривых).

На основе М-φ диаграмм и расчётной несущей способности установлено:

– Узел № 2 является оптимальным сочетанием высокой прочности (291,1 кН·м) и полужёсткости.

– Узел № 1 — резервный вариант при средних нагрузках (236,2 кН·м).

– Узел № 3 не рекомендуется к применению в несущих конструкциях из-за низкой несущей способности (146,6 кН·м) при жёстком поведении.

Для повышения достоверности сравнения следует ввести втулки и повторить испытания.

Литература:

1. Катюшин В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство АСВ, 2018. — 1072 с.
2. Копытов М. М. Металлические конструкции каркасов одноэтажных зданий: учебное пособие. — Томск: Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2012. — 316 с.
3. Москалев Н. С., Прокозин Я. А. Металлические конструкции: учебник. — Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. — 344 с.
4. Dobrić J., Gluhović N., Buđevac D. Čelične konstrukcije u zgradarstvu. Opšta pravila za projektovanje prema SRPS EN standardima i nacionalnim priložima. — Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet; Akademska misao, 2023.
5. Marković Z. Granična stanja čeličnih konstrukcija prema Evrokodu. — Beograd: Akademska misao; Građevinski fakultet, 2014. — 477 s.
6. EN 1993-1-8:2005+AC:2009 Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-8: Design of joints. — Brussels: CEN, 2009. — 138 p.
7. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменениями N 1, 2)». [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745484.pdf> (дата обращения: 10.04.2021)

Влияние дисперсного армирования на свойства бетонной смеси и бетона полов паркинга

Тен Дмитрий Сергеевич, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния дисперсного армирования (до/после прохождения бетонной смеси через автобетононасос) на физико-механические свойства бетона, на изменение подвижности бетонной смеси и сохраняемости бетонной смеси БСТ В25П4Ф150W8 и БСТ В25П4Ф150W6 [3].

Метод — при проведении стандартных испытаний проведено сравнение свойств бетонной смеси и бетона, изготовленных с применением дисперсных волокон и без них, при бетонировании полов паркингов. Испытания включали определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе, водонепроницаемости, осадки конуса, плотности и сохраняемости подвижности в течение 2 часов. до и после прохождения смеси через автобетононасос.

Результат — Установлено, что металлическая фибра повышает прочность на сжатие в среднем на 12–14 %, а полипропиленовая — значительно (на 30–32 %) увеличивает прочность на растяжение при изгибе при сохранении сопоставимых значений подвижности и водонепроницаемости. Изготовленные полы с применением волокон не имеют дефектов в виде трещин, возникающих в процессе усадки.

Ключевые слова: бетон с фиброй, металлическая фибра, полипропиленовая фибра, автобетононасос, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, сохраняемость подвижности, водонепроницаемость.

The influence of dispersed reinforcement on the properties of concrete mix and concrete parking floors

Ten Dmitry Sergeevich, master's student
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

Введение

Современное строительство многоуровневых паркингов предъявляет высокие требования к напольным конструкциям. Бетонные полы должны обладать высокой прочностью на сжатие и растяжение при изгибе, трещиностойкостью,

водонепроницаемостью и износостойкостью, поскольку подвергаются интенсивным механическим нагрузкам от автомобильного транспорта, ударным воздействиям и циклам замораживания-оттаивания [7].

Актуальность настоящего исследования обусловлена возрастающими требованиями к эксплуатационному сроку напольных покрытий паркингов и необходимостью применения материалов, демонстрирующих повышенную устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды. Дополнительным фактором, негативно влияющим на целостность верхнего слоя покрытия, является механическое воздействие, в частности, обусловленное эксплуатацией транспортных средств, оснащенных шипованными шинами. Образование трещин в паркинге на прямую влияет на прочность, долговечность покрытия (Рисунок 1). Необходимо правильно подобрать состав бетона и добавок, чтобы избежать усадки бетона и образование усадочных трещин. На рисунке 1 представлены полы паркингов без добавок (БСТ В25П4Ф150W8 [3]), через 3 года после заливки. Образовавшиеся напряжения в бетоне, образуют трещины, которые разрушают поверхность полов паркинга [8,9], для уменьшения напряжений в бетоне, нарезают деформационные швы [10]. Однако данный способ не до конца позволяет уберечь полы паркингов от образования трещин.

Одним из распространенных в наше время способов повышения трещиностойкости бетона является дисперсное армирование стальной (металлической) или полипропиленовой фиброй [6]. Металлическая фибра Dramix (стальная, анкерного типа) и полипропиленовая фибра Strofiber широко применяются в современном монолитном строительстве, особенно при возведении конструкций, подверженных динамическим нагрузкам или требующих повышенной водонепроницаемости.

Технология укладки бетона в условиях паркинга часто предусматривает подачу смеси автобетононасосом на значительные расстояния и высоты. Перекачивание через бетононасос сопровождается интенсивным механическим воздействием (сдвигом, давлением, трением о стенки трубопровода), что может изменять реологические свойства смеси, ориентацию фибры, плотность и, как следствие, прочностные и эксплуатационные характеристики затвердевшего бетона.

Важным технологическим аспектом является сохранение свойств бетонной смеси при транспортировке бетононасосом, когда происходят механические воздействия, приводящие к возможному расслоению, потере подвижности и изменению плотности.



Рис. 1. Трещины в паркинге

1. Материалы и методы исследований

Таблица 1. Характеристика волокон Dramix 3D 45/50 BL и Strofiber

Характеристика	Значения	
Наименование	Dramix 3D 45/50 BL	Strofiber.
Материал	низкоуглеродистая сталь	полипропилен
Истинная плотность	7850 кг/м ³ (7,85 г/см ³)	0,91 г/см ³
Точка плавления	1500 °C	160 °C
Длина	50 мм	50–54 мм
Эквивалентный диаметр	1,05 мм	0,069 мм
l/d	45	782
Модуль упругости	210 000 МПа	16000–17000 МПа
Прочность на разрыв	1100 МПа	620–670 МПа

Для экспериментальной части исследовались три вида бетонной смеси:

- 1) Состав № 1. Контрольный, без фибры,
- 2) Состав № 2. С металлической фиброй Dramix 3D 45/50 BL в соотношении 20 кг/м³,
- 3) Состав № 3. С Полипропиленовая фибра Strofiber в соотношении 1 кг/м³. В таблице 2 приведены все составы.

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (средняя прочность 58 МПа), песок II класса (модуль крупности 2,2), гранитный щебень фракции 5–20 мм [13]. Добавка — суперпластификатор Оптима-Люкс21м (Polyscon R-303.15), металлическая фибра Dramix 3D 45/50 BL а также полипропиленовая фибра Strofiber. Характеристики волокон представлены в таблице 1.

Таблица 2. Карта подбора 3 составов.

Наименование состава	Цемент, кг/м ³	Вода, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Щебень, кг/м ³	Фибра, кг/м ³
Состав № 1. Контрольный, без фибры	310	165	895	975	-
Состав № 2. С металлической фиброй Dramix 3D 45/50 BL	345	190	785	980	20
Состав № 3. С Полипропиленовая фибра Strofiber	345	190	785	980	1

Комплекс испытаний включал определение прочности при изгибе, прочности при сжатии, плотности, водонепроницаемости, подвижности, температуры, сохраняемость подвижности бетонной смеси через 2 часа [1–4]. Каждый показатель определялся по 30 образцам с расчетом среднего значения. Водонепроницаемость определялась по методу «Мокрое пятно» на установке УВБ-МГ4. В качестве образцов были изготовлены цилиндры размерами 150x150 мм. Подвижность, сохраняемость подвижности бетонной смеси через 2 часа, температура, определялись на объекте укладки бетона автобетононасосом.

2. Результаты исследований

Средние результаты по реологическим характеристикам приведены в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения реологически

Параметр	Состав № 1. Контрольные, без фибры	Состав № 2. Dramix 3D 45/50 BL	Состав № 3. Strofiber
ОК до прохождения через автобетононасос, см	19	19,8	18,5
ОК после прохождения через автобетононасос, см	21	21,2	20,1
ОК через 2 ч, см	15,2	14,9	12,7
Средняя плотность, кг/см ³	2357	2331	2324

После прохождения через автобетононасос осадка конуса всех составов незначительно увеличилась (на 1,4–2,0 см), что связано с тиксотропным разжижением смеси при интенсивном механическом воздействии.

Через 2 часа сохраняемость подвижности бетонной смеси оказалась выше у состава № 1 (15,2 см) и состава № 2 (14,9 см), тогда как состав № 3 показал большее падение — до 12,7 см (снижение на 31,4 % от до/после автобетононасоса). Это указывает на то, что полипропиленовая фибра может ускорять потерю удобоукладываемости во времени, что требует корректировки режима доставки и укладки [1,2].

Прочность на сжатии. Наибольшие значения прочности при сжатии как до, так и после перекачивания зафиксированы для состава № 2 (38,2 и 39,2 МПа). Это превышает состав № 1 (33,5 и 34,7 МПа) на 12–14 %. Состав № 3 занял промежуточное положение (34,8 и 35,7 МПа), однако его преимущество перед контролем составляет лишь 3–4 %.

Такое различие объясняется прежде всего высоким модулем упругости стали (210 000 МПа), который близок к модулю упругости цементного камня. Металлическая фибра, особенно анкерного типа (Dramix 3D 45/50 BL), создаёт прочную пространственную арматуру, эффективно перераспределяющую сжимающие напряжения и препятствующую образованию продольных трещин. Напротив, полипропиленовая фибра имеет модуль упругости на порядок ниже (16

Таблица 4. Средние прочностные характеристики бетона.

Тип фибры	Прочность на сжатие (до прохождения через бетононасос), МПа	Прочность на сжатие (после прохождения бетононасоса), МПа	Прочность на растяжение при изгибе (до прохождения через бетононасос), МПа	Прочность на растяжение при изгибе (после прохождения бетононасоса), МПа	Коэффициент вариации при сжатии (до прохождения через бетононасос) V, %	Коэффициент вариации при сжатии (после прохождения бетононасоса) V, %
Состав № 1. Контрольный, без фибры	33,5	34,7	4,0	4,1	10,6	10,4
Состав № 2. С металлической фиброй Dramix 3D 45/50 BL	38,2	39,2	4,1	4,3	10,5	10,9
Состав № 3. С Полипропиленовая фибра Strofiber	34,8	35,7	5,2	5,4	10,9	10,2

000–17 000 МПа) и не может воспринимать значительные сжимающие усилия — её вклад в прочность при сжатии минимален и связан главным образом с улучшением структуры на микроуровне (предотвращение усадочных микротрещин, повышение однородности) [14,15].

Полученные данные схожи с работами [6, 8], где показано, что стальная фибра повышает прочность на сжатие на 10–20 % при дозировке 20–40 кг/м³, тогда как полипропиленовая фибра в типичных дозировках (0,9–1,5 кг/м³) практически не влияет на сжатие.

Прочность на растяжении при изгибе. Наилучший результат достигнут для состава № 3: 5,2 МПа (до прохождения автобетононасоса) и 5,4 МПа (после прохождения автобетононасоса), что на 30–32 % выше Составы № 1 (4,0–4,1 МПа). Состав № 2, также повышает изгибную прочность, но в меньшей степени (4,1–4,3 МПа, т. е. на 2–5 % относительно состава № 1).

Это объясняется различным механизмом работы волокон при изгибе. При растяжении зоны бетона под нагрузкой полипропиленовая фибра, обладая высокой гибкостью и большим количеством волокон в единице объёма (при дозировке 1 кг/м³ количество волокон составляет миллионы), эффективно перекрывает микротрещины на ранней стадии их зарождения, препятствуя их росту в магистральные трещины. Металлическая фибра, несмотря на высокую прочность на разрыв (1100 МПа), имеет значительно меньшее количество волокон при той же массовой дозировке из-за высокой плотности стали. Кроме того, крупные стальные волокна (длина 50 мм, эквивалентный диаметр 1,05 мм) хуже работают на микроуровне, особенно при небольших деформациях [16].

Полученный результат чрезвычайно важен для полов паркингов, где именно изгибные нагрузки (от проезда автомобилей, динамические воздействия) являются основным фактором разрушения. Повышение прочности при изгибе на 30 % напрямую снижает риск образования трещин и увеличивает межремонтный срок службы.

Коэффициенты вариации прочности при сжатии находятся в диапазоне 10,2–10,9 %, что соответствует удовлетворительной однородности для тяжёлого бетона. Существенных различий между составами нет, влияние насоса незначительно (изменение в пределах 0,4 %). Это говорит о стабильности свойств бетонной смеси и бетона [5].

Температура смеси варьировалась от 8,9 до 28 °С. В пределах исследованного диапазона существенного влияния на свойства не выявлено [1–2].

Заключение

– Прочность при сжатии. Максимальные значения получены для состава № 2–39,2 МПа после насоса, что на 12–14 % выше состава № 1. Это объясняется высоким модулем упругости стали (210 000 МПа), сопоставимым с модулем цементного камня, и анкерной формой волокон Dramix, обеспечивающей эффективное перераспределение сжимающих напряжений. Полипропиленовая фибра, напротив, практически не влияет на сжатие (прирост 3–4 %), что согласуется с данными [6, 8] и связано с её низким модулем упругости.

– Прочность при растяжении при изгибе. Здесь лидирует состав № 3–5,4 МПа после прохождения через автобетононасос, что на 30–32 % выше состава № 1. Несмотря на более низкую прочность на разрыв (620–670 МПа против 1100 МПа у стали), полипропилен создаёт колоссальное количество волокон (миллионы в 1 м³), которые перекрывают микротрещины на ранней стадии, эффективно работая при малых деформациях. Металлическая фибра, имея в 96 раз меньше волокон, даёт прирост изгибной прочности лишь 2–5 %. Этот результат критичен для полов паркингов, где изгибные нагрузки от транспорта — основной фактор разрушения.

– Влияние автобетононасоса. После перекачивания прочность всех составов незначительно увеличилась (на 2,6–3,6 % для сжатия, 2,5–4,9 % для изгиба). Тиксотропное разжижение и дополнительное уплотнение смеси в насосе способствуют удалению воздуха и более плотной упаковке. При этом фибра не разрушается, а ориентация волокон не ухудшается критически.

– Однородность. Коэффициент вариации прочности при сжатии (10,2–10,9 %) соответствует удовлетворительной однородности по ГОСТ 18105–2018 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые «Технические условия». Технология стабильна, влияние насоса пренебрежимо мало.

– Подвижность. Состав № 3 показывает худшую сохраняемость через 2 ч (ОК снижается до 12,7 см против 15,2 см у состава № 1). Это важно для логистики — требуется сокращение времени укладки или корректировка рецептуры.

Таким образом, полипропиленовая фибра оптимальна для повышения трещиностойкости и изгибной прочности полов паркинга, металлическая — для увеличения сжатия и стойкости к продавливанию, как показана на (Рисунке 2).

Дисперсное армирование позволило снизить напряжения в бетоне, что уменьшает шанс возникновения трещин в паркинге. Однако для более лучшего конечного результата, необходимо доработать/оптимизировать состав для полов паркинга. Возможно комбинированное применение дисперсного армирования может дать синергетический эффект и улучшить показания на трещиностойкость, долговечность, прочность при сжатии, прочность на растяжении при изгибе.

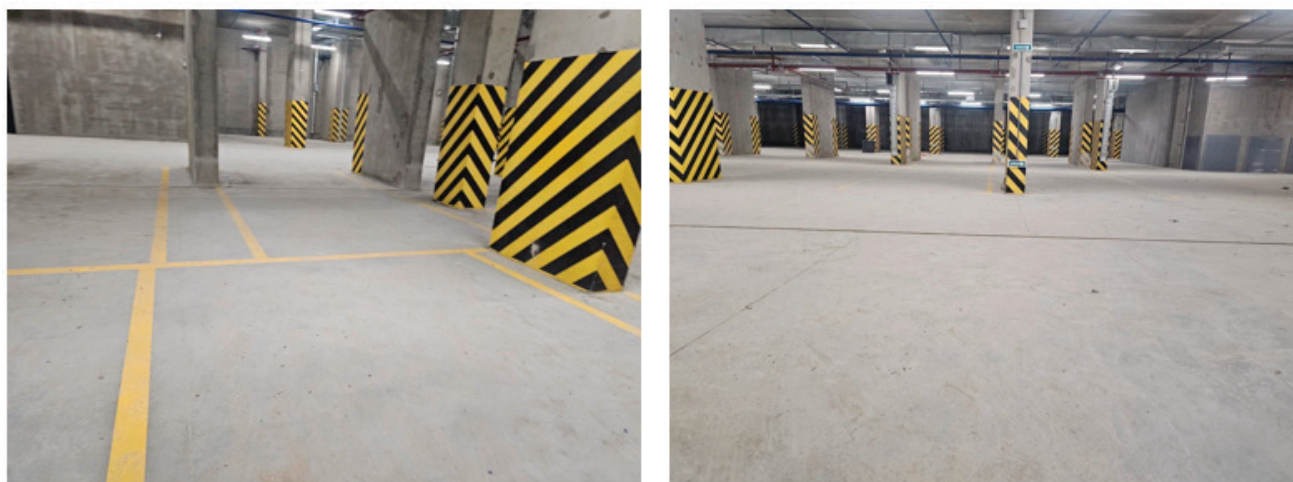


Рис. 2. Паркинг с дисперсным армированием

Литература:

1. ГОСТ 10180–2012 «БЕТОНЫ «Методы определения прочности по контрольным образцам».
2. ГОСТ 10181 -2014 «СМЕСИ БЕТОННЫЕ «Методы испытаний».
3. ГОСТ 7473–2010 «СМЕСИ БЕТОННЫЕ «Технические условия».
4. ГОСТ 12730.5–2018 «БЕТОНЫ Методы определения водонепроницаемости».
5. ГОСТ 18105–2018 «БЕТОНЫ ТЯЖЕЛЫЕ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ «Технические условия».
6. Калиновский, М. И. Применение фибры для повышения трещиностойкости бетона / М. И. Калиновский // Транспортное строительство. — 2008. — № 3. — С. 7–9. — EDN TMPNOV.
7. Питиримов, В. В. Проблематика строительства паркингов / В. В. Питиримов // Актуальные проблемы строительства, природообустройства, кадастра и землепользования: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Махачкала, 14 мая 2022 года. — Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АЛЕФ», 2022. — С. 200–203. — EDN SBULCD.
8. Кострикин, М. П. Характер и степень взаимодействия синтетической макрофибры с цементным камнем / М. П. Кострикин // Вестник гражданских инженеров. — 2018. — № 4(69). — С. 116–120. — DOI 10.23968/1999–5571–2018–15–4–116–120. — EDN YLHKSL.

9. Пухаренко, Ю. В. Анализ поведения фибробетона, армированного различными видами фибры, под нагрузкой / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2. — Москва: Издательство АСВ, 2022. — С. 358–363. — EDN MKUTUS.
10. СП 113.13330.2023 «Стоянки автомобилей».
11. Ковалева, А. Ю. Влияние времени перемешивания на однородность свойств бетонных смесей и бетона / А. Ю. Ковалева // Вестник гражданских инженеров. — 2024. — № 5(106). — С. 66–75. — DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-5-66-75. — EDN ULSLDW.
12. Методы контроля и оценки удобоукладываемости бетонных смесей / И. У. Аубакирова, А. Ю. Ковалева, В. А. Скоблицов, О. Ю. Пухаренко // Архитектура — строительство — транспорт: Материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета, в 2-х частях, Санкт-Петербург, 03–05 октября 2018 года. Том Часть I. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. — С. 119–122. — EDN MBODDN.
13. Ковалева, А. Ю. Влияние качества крупного заполнителя на однородность свойств бетонной смеси и бетона / А. Ю. Ковалева, И. У. Аубакирова // Жилищное строительство. — 2024. — № 1–2. — С. 109–113. — DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-109-113. — EDN FECBAC.
14. Перцев, В. Т. Повышение качества бетона путем применения металлических фибр / В. Т. Перцев, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 3. — С. 480–484. — DOI 10.24412/2071-6168-2024-3-480-481. — EDN TJXBCE.
15. Жаворонков, М. И. Результаты испытаний модуля упругости сталефибробетона / М. И. Жаворонков, Д. А. Пантелеев, А. Е. Малиновская // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2025. — № 11-1(110). — С. 188–193. — DOI 10.24412/2500-1000-2025-11-1-188-193. — EDN XWMLCF.
16. Ефремов, Д. В. Трещиностойкость в полипропиленовых фибробетонных строительных конструкциях / Д. В. Ефремов // Молодой ученый. — 2024. — № 46(545). — С. 42–46. — EDN CRMKJD.

Анализ факторов размещения и эффективности использования производственных мощностей промышленного предприятия в условиях городской агломерации

Хайоров Илья Анварович, студент

Уральский государственный экономический университет (г. Екатеринбург)

В статье рассматриваются факторы размещения промышленного предприятия в крупном городском центре на примере Уральского машиностроительного завода (ООО ГК «УМЗ»), расположенного в Екатеринбурге. На основе анализа бухгалтерской отчётности за 2020–2024 гг. и данных ФНС выявлены ключевые преимущества размещения (транспортный узел, близость к заказчикам и поставщикам металла, кадровый потенциал, меры государственной поддержки) и критические ограничения, главное из которых — дефицит производственных площадей. Оценены потери от дефицита мощностей — от 63 до 190 млн руб. недополученной выручки в год. Сделан вывод о необходимости расширения предприятия на площадках индустриальных парков.

Ключевые слова: размещение производства, промышленное предприятие, городская агломерация, эффективность использования мощностей, импортозамещение, Уральский машиностроительный завод.

В условиях курса на импортозамещение, обозначившегося после 2022 года, российские машиностроительные предприятия получили значительный импульс к развитию. Уход европейских производителей краноманипуляторной техники (Palfinger, Hiab, Fassi) открыл новые рыночные ниши для отечественных заводов [1]. Однако рост спроса вступает в противоречие с ограниченными производственными возможностями многих

предприятий, особенно тех, кто размещён в крупных городских агломерациях. Высокая стоимость земли, дефицит свободных площадей и инфраструктурные ограничения становятся барьерами для наращивания выпуска.

Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе выполнена организационно-экономическая характеристика предприятия (на основе выписки из ЕГРЮЛ и бухгалтерских балансов). На втором этапе проведён

анализ динамики ключевых показателей — выручки, прибыли, численности работников, производительности труда, остаточной стоимости основных средств — за 2020–2024 гг. с расчётом среднегодовых темпов роста (CAGR). На третьем этапе выполнена оценка эффективности использования производственных площадей: рассчитана удельная выручка на 1 кв. м, сопоставлена с отраслевыми нормативами, определён коэффициент загрузки оборудования и оценены потери от дефицита мощностей по трём сценариям.

Общая характеристика предприятия. ООО ГК «УМЗ» зарегистрировано в 2015 году (ОГРН 1156658005382), основной вид деятельности — производство крано-манипуляторных установок (ОКВЭД 29.20). Предприятие расположено в промышленной зоне Верх-Исетского района Екатеринбурга, занимает один производственный цех площадью ориентировочно 1000–1500 кв. м.

Динамика основных экономических показателей. В таблице 1 представлены ключевые показатели деятельности УМЗ за 2020–2024 гг.

Таблица 1. Основные экономические показатели ООО ГК «УМЗ» в 2020–2024 гг

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
Выручка, тыс. руб.	211 560	265 338	401 654	627 935	631 688
Прибыль от продаж, тыс. руб.	5 385	15 069	26 364	29 771	32 774
Рентабельность продаж, %	2,55	5,68	6,56	4,74	5,19
Среднесписочная численность, чел.	17	19	24	29	27
Производительность труда, тыс. руб./чел.	12 444,7	13 965,2	16 735,6	21 652,9	23 395,9

За исследуемый период выручка выросла с 211,6 млн руб. до 631,7 млн руб. (в 2,99 раза), среднегодовой темп роста (CAGR) составил 31,4 %. Прибыль от продаж увеличилась в 6,1 раза, что свидетельствует об эффекте операционного рычага. Рентабельность продаж повысилась с 2,55 % до 5,19 %. Производительность труда выросла на 88 % (с 12,4 до 23,4 тыс. руб./чел.) при росте численности всего на 58,8 % (с 17 до 27 чел.). Остаточная стоимость основных средств увеличилась в 10,2 раза, что отражает активную инвестиционную политику в 2021–2023 гг.

Анализ показывает четыре группы конкурентных преимуществ Екатеринбургa, обеспечивающих эффективность УМЗ. Транспортно-географическое положение: город — узел Транссиба и трасс М5, М12, близость к за-

казчикам («Россети Урал», Белоярская АЭС (50 км), «КАМАЗ» (700 км)) сокращает логистические издержки. Доступ к сырью: металлургические комбинаты НТМК (140 км) и ММК (400 км) обеспечивают поставки с транспортными затратами 3–5 % (для ЦФО — 10–15 %). Кадровый потенциал: УрФУ и техникумы создают «пул» квалифицированных рабочих. Институциональные факторы: в 2024 г. УМЗ получил поручительство СОФПП на 40 млн руб. и льготный кредит 200 млн руб.

Несмотря на положительную динамику, анализ использования мощностей выявил критическое ограничение. Единственный цех площадью 1000–1500 кв. м эксплуатируется с чрезвычайно высокой плотностью. В таблице 2 приведены показатели использования площадей.

Таблица 2. Показатели эффективности использования производственных площадей УМЗ

Показатель	Значение (2024)	Отраслевой ориентир	Отклонение
Выручка на 1 кв. м, тыс. руб./год	526	200–400	+126...+326
Коэффициент загрузки оборудования, %	80–90	70–85 (рекоменд.)	на верхней границе
Доля складских площадей в цехе, %	15	25–30	–10...–15 п.п.

Удельная выручка на 1 кв. м (526 тыс. руб./год) существенно превышает среднеотраслевые ориентиры. Формально это может трактоваться как высокая эффективность, однако на практике является индикатором переуплотнённости: складские запасы хранятся в проходах, оборудование расставлено с нарушением нормативных разрывов, отсутствуют резервные площади для установки новых станков. Коэффициент загрузки оборудования находится на верхней границе рекомендуемых значений, что не оставляет резерва для увеличения выпуска без организации трёхсменной работы.

По данным опроса менеджмента и анализа рыночного спроса, предприятие могло бы нарастить выпуск на 10–30 % при наличии дополнительных площадей. В таблице 3 представлены потери по трём сценариям (расчёт выполнен исходя из средней цены одной КМУ около 3,16 млн руб. и рентабельности продаж 5,2 %).

Даже по консервативному сценарию ежегодные потери выручки превышают 60 млн руб., а недополученная прибыль — 3 млн руб. При оптимистическом сценарии потери достигают 10 млн руб. прибыли в год.

Екатеринбург, обладая конкурентными преимуществами, создаёт проблему высокой стоимости земли и де-

Таблица 3. Оценка потерь от дефицита производственных площадей

Сценарий	Дополнительный вы- пуск, %	Дополнительная выручка, млн руб./год	Недополученная прибыль, млн руб./год
Консервативный	+10 %	63,2	3,3
Умеренный	+20 %	126,3	6,6
Оптимистический	+30 %	189,5	9,9

фицита площадей. Для УМЗ это критично: возможности единственного цеха исчерпаны.

Предпочтительнее расширение в индустриальном парке (готовая инфраструктура, аренда 650 руб./кв. м/мес., льготные займы). Инвестиции — 30 млн руб., при-
рост выручки — до 300 млн руб./год.

На примере Уральского машиностроительного завода проанализированы факторы размещения в крупной го-
родской агломерации. Показано, что Екатеринбург даёт

предприятию конкурентные преимущества (транспорт, кадры, поддержка), но ключевое ограничение — дефицит производственных площадей: выручка на 1 кв. м вдвое превышает отраслевые нормативы. Ежегодные потери выручки оцениваются в 63–190 млн руб. Целесообразно расширение в индустриальном парке, что позволит со-
хранить преимущества и обеспечить рост. Перспек-
тива — детальная экономическая оценка инвестицион-
ного проекта.

Литература:

1. Крупный уральский завод богатеет на фоне санкций, помог поручитель / И. Попов // URA.RU. — 2025. — 6 марта. — URL: <https://ura.news/news/1052898803> (дата обращения: 20.04.2025).

2. Индустриальный парк «Атом-Северный»: официальный сайт. — Екатеринбург, 2025. — URL: <https://atomsk.ru> (дата обращения: 15.05.2025).

3. В Свердловской области появился новый индустриальный парк «Атом-Северный» / Уральский рабочий // УрБК. — 2025. — 12 февр. — URL: <https://urbc.ru> (дата обращения: 15.05.2025).

4. Бухгалтерская (финансовая) отчетность ООО ГК «УМЗ» (ИНН 6670314677) за 2020–2024 гг. — Екатеринбу-
рг, 2025.

5. Выписка из ЕГРЮЛ ООО ГК «УМЗ» (ОГРН 1156658005382) по состоянию на 15.04.2026.

Сравнение деформируемости грунта при усилении основания цементным раствором и расширяющимся цементным раствором при манжетной технологии

Холотян Игорь Николаевич, студент магистратуры;
Сугоняев Иван Владимирович, аспирант
Тюменский государственный университет

*В статье авторы исследуют моделирования деформируемости грунтового основания при усилении манжетной тех-
нологией двумя типами растворов: обычным цементом и расширяющимся цементом.*

Ключевые слова: деформируемость грунта, усиление основания, цементный раствор, расширяющийся цементный
раствор, численное моделирование, нелинейность ГЕО, осадка.

Расчётами подъёма фундаментов занимался Попсуенко И. К. [7, 8].
Усиление свайных фундаментов и фундаментов мелкого заложения контурным армированием твёрдыми инъек-
ционными телами численно исследовали занимались Нуждин М. Л., Нуждин Л. В., Пономарев А. Б. [4–6].
Численным моделированием напряжённо-деформированного состояния слабого водонасыщенного грунта при ман-
жетном инъецировании занимались Ермолаев В. А., Вознесенская Е. С., Осокин А. И., Татаринов С. В., Мозгачева О. А.,
Шулятьев О. А. [1–3].
Для сравнения деформируемости грунта выполнялось численное моделирование в программе «Нелинейность ГЕО». Моделирование велось путём создания полостей разрыва, которые в дальнейшем заменялись на цементный раствор. Сначала создавались полости, моделирующие зоны будущего закрепления, а затем эти полости последовательно запол-
нялись обычным цементным раствором и расширяющимся цементным раствором. При оценке поведения грунта для
сравнения двух типов растворов давление от нагнетания раствора в грунт не учитывалось.

Для учёта уплотнения грунта между линзами расчёт производился в пространственной постановке с учётом физической нелинейности грунта. Расчётная модель грунтового основания — упрочняющий грунт (Hardening Soil), которая позволяет описывать нелинейное деформирование при нагружении и уплотнение грунта между цементными линзами. Модель цементного раствора и фундамента имела изотропную упругую работу, то есть эти материалы считались линейно-деформируемыми с постоянными модулями упругости и коэффициентами Пуассона.

Моделирующая постановка описывала расчёт усиления одиночной железобетонной плиты с размерами 2х2х0,5 метра и действующей равномерно распределённой нагрузкой, равной 100 кПа. Под плитой моделировалось грунтовое основание, в котором были созданы полости разрыва, имитирующие инъекционные линзы.

Физико-механические характеристики цементного раствора: $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, $\nu = 0,2$, $E = 30\,000 \text{ МПа}$.

Физико-механические характеристики железобетонного фундамента: $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, $\nu = 0,2$, $E = 30\,000 \text{ МПа}$.

Физико-механические характеристики грунта: $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$, $\nu = 0,35$, $E = 2 \text{ МПа}$.

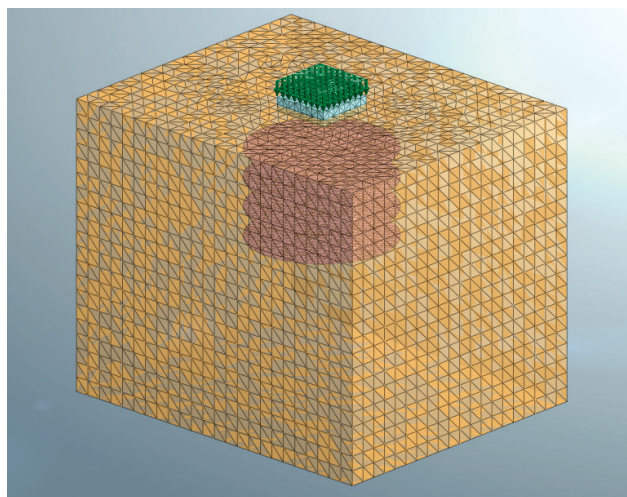


Рис. 1. Моделируемая расчетная схема

В первом случае эти полости заменялись обычным цементным раствором, во втором случае — расширяющимся цементным раствором. Для расширяющегося раствора дополнительно задавались свойства, моделирующие увеличение объёма по оси Z в 3 %.

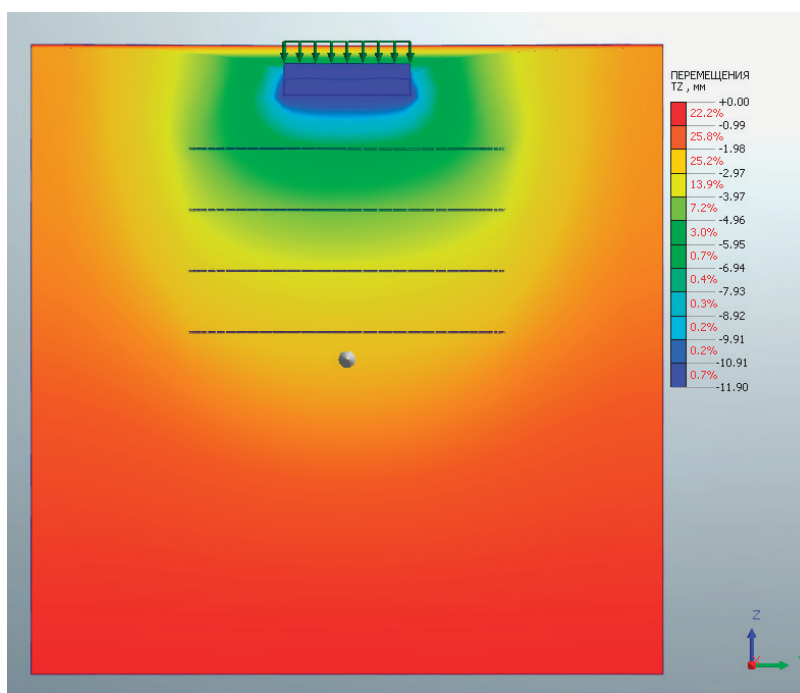


Рис. 2. Изополя вертикальных перемещений в первом случае

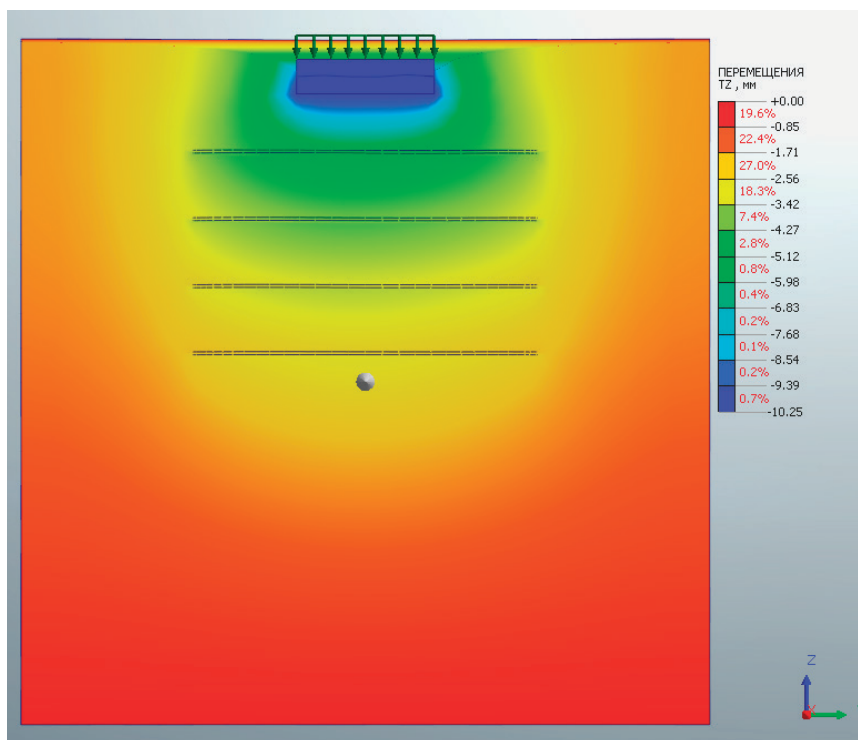


Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений во втором случае

В результате численного моделирования осадка железобетонной плиты при усилении основания обычным цементным раствором составила 11,9 мм, а при использовании расширяющегося цементного раствора — 10,25 мм. Расширение расширяющегося цемента в 3 %, снижает осадку фундамента на 13 % по сравнению с вариантом усиления обычным цементным раствором.

Литература:

1. Шулятьев, О. А. Снижение осадки фундамента за счет изменения напряженно-деформированного состояния основания путем инъекции твердеющего раствора / О. А. Шулятьев, О. А. Мозгачева. — Текст: непосредственный // Вестник НИЦ Строительство. — 2020. — № 3(26). — С. 121–148.
2. Упрочнение оснований зданий и сооружений методом гидроразрыва с использованием манжетной технологии / Е. С. Вознесенская, В. А. Ермолаев, А. И. Осокин, С. В. Татаринцов. — Текст: непосредственный // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2014. — № 6. — С. 19–24.
3. Сопоставление результатов натурных исследований и численного моделирования изменений порового давления при инъецировании грунтов / Е. С. Вознесенская, А. И. Осокин, С. В. Татаринцов, В. А. Ермолаев. — Текст: непосредственный // Инженерные изыскания. — 2013. — № 7. — С. 68–71.
4. Нуждин, Л. В. Усиление грунтового основания вертикальным армированием и высоконапорным инъецированием / Л. В. Нуждин, М. Л. Нуждин. — Текст: непосредственный // Усиление оснований и фундаментов: Сборник докладов. Труды VIII Петрухинских чтений. — М.: АО «НИЦ «Строительство», 2024. — С. 47–103.
5. Нуждин, М. Л. Расчетное обоснование эффективных схем усиления фундаментов мелкого заложения контурным армированием жесткими армозементами / М. Л. Нуждин, А. Б. Пономарев. — Текст: непосредственный // Construction and Geotechnics. — 2022. — № 13(4). — С. 5–16.
6. Нуждин, М. Л. Усиление свайных фундаментов контурным армированием твердыми инъекционными телами / М. Л. Нуждин, А. Б. Пономарев. — Текст: непосредственный // Construction and Geotechnics. — 2024. — № 2. — С. 18–30.
7. Попсуенко, И. К. Методика расчета подъема фундамента на заданную величину путем нагнетания в грунт геополимеров / И. К. Попсуенко. — Текст: непосредственный // Фундаменты. — 2020. — № 2. — С. 16–20.
8. Попсуенко, И. К. Подъем фундаментов нагнетанием в их основания цементных растворов и расширяющихся геополимеров / И. К. Попсуенко, А. С. Борисов, П. П. Дегтярев. — Текст: непосредственный // Применение гидроразрывной технологии в практике строительства: Материалы конференции, Москва, 21 мая 2021 года. — М.: Научноисследовательский центр «Строительство», 2022. — С. 87–112.

Роль использования художественных приёмов стилизации в разработке визуальных элементов фирменного стиля

Чалкова Кристина Леонидовна, студент
Сургутский государственный педагогический университет

В статье автор исследует применение художественных приёмов стилизации при создании элементов визуальной айдентики фирменного стиля на примере состоявшихся брендов.

Ключевые слова: стилизация, графический дизайн, визуальные элементы, художественные приёмы, фирменный стиль.

Стилизация в графическом дизайне используется для преобразования созданных элементов с учётом определённых правил и логической упорядоченности. На это повлияло возникновение множества брендов, которым необходимо конкурировать за внимание потенциальных покупателей. Представление о визуальной среде меняется. На фоне этого возникает необходимость создания фирменного стиля с упором на уникальность, а также на внесение изменений в существующие элементы, если они перестают работать как раньше. Нередко бренды выбирают минималистичный стиль для оформления рекламных стендов, фасадов и вывесок. Данный стиль удобен и универсален, что делает его востребованным для оформления фирменного стиля компаний. Широкое использование минимализма в айдентике компаний способно привести к проблеме с уникальностью бренда. В результате удобство формирования коммуникации не гарантирует закрепление узнаваемости, а на старте использование минимализма может усложнить формирование цепочек передачи информации о бренде. Чтобы решить данную проблему, но оставить адаптивность и способность выстраивать коммуникацию бренда, необходимо находить те приёмы стилизации, которые будут сочетать в себе функциональность и художественную выразительность. В данном случае можно использовать художественные приёмы стилизации для создания интересных логотипов, плакатов, вывесок. Изучение видов художественных приёмов стилизации и их применение в создании визуальных элементов фирменного стиля компаний способно решить ряд проблем, связанных с использованием тех систем фирменного стиля, которые постепенно перестают работать и показывать результаты.

В сфере графического дизайна стилизацию принято воспринимать как изменение образца или реалистичного изображения, превращающее их в элементы визуальной графики, фирменные иллюстрации, логотипы и рекламные макеты с использованием определённой стилистики. Исследователи Ю. С. Суравцова и И. Л. Коровко утверждают: «Главной чертой стилизации является упрощение отдельных элементов объекта иногда в угоду усложнения, акцентирования внимания на других его частях. Изменению могут подвергаться такие основные черты объекта, как форма, объём, контур, линия» [2]. Высказывание авторов даёт основание полагать, что стилизация даёт преимущество в управлении созданием визуальных элементов. Поскольку формирование фирменного стиля требует адаптивности, стилизация выступает в роли помощника, позволяющего регулировать детальную проработку, композицию и форму визуальных элементов. Однако, чтобы использовать определённые виды стилизации, необходимо находить компромисс между созданием хорошей адаптивности, художественной выразительностью и подбором верного стиля для тематики того или иного бренда.

В графическом дизайне часто используется художественная, символическая, декоративная стилизация. Используя художественную стилизацию для создания элементов, наполняющих фирменный стиль, можно расставить акценты и создать особую атмосферу всех элементов. Художественная стилизация на примере логотипа бренда Aqua Minerale позволяет понять, каким образом логотип оживляется и становится эмоционально привлекательным за счёт использования текстуры мазка и ассоциативной формы гор (рисунок 1).



Рис. 1. Логотип Aqua Minerale

Художественный стиль здесь выражается при помощи упрощения форм и придания им живости и художественной выразительности благодаря имитации мазка краски. Помимо этого, такое решение в сочетании с цветовым решением отражает природное происхождение продукта, транслирует нам его чистоту и свежесть.

М. С. Кухта и К. Бушар говорят о стилизации следующее: «Стилизация понимается как операция формализации объёмно-пластических, колористических, графических мотивов, их упрощение, обобщение и организация

с целью достижения смысловой ёмкости и визуальной эстетики. Стилизация предполагает трансформацию объекта и может быть исследована в количественных и качественных единицах» [1].

Сходятся мнения учёных о стилизации в логотипе компании Yota. Для символической стилизации характерно значительное упрощение реального объекта в купе с закладыванием в основу знака определённого смысла. Логотип компании Yota демонстрирует удачное применение символической стилизации в сфере графического дизайна.



Рис. 2. Логотип компании Yota

Изображение логотипа выглядит как упрощённая форма человека, доведённая до знака. Несмотря на сильное упрощение, у логотипа остаётся узнаваемость главных форм. Силуэт человека, стоящего на руках, хорошо узнаваем. Идейность логотипа компании Yota заключается в том, что человек, используя продукт компании, свободен в своих действиях и может не переживать за сильные ограничения в использовании мобильной связи.

Д. А. Тарасенкова говорит о декоративной стилизации следующее: «Во время работы над изображением предметов на создаваемом декоративном натюрморте необходимо обращать внимание на формы отображаемых предметов, уметь передавать их образы, выразительность

и декоративность, также не забывая об основных принципах построения и размещения предметов на поверхности. Чтобы не допускать копирование натуры, важно опираться на остаточные ассоциации и впечатления, связанные с предметом. Большое значение играет анализ формы предмета, выделение и передача самого характерного в предметах изображения в натюрморте, достижение максимальной цветовой, композиционной и пластической выразительности, моделировка стилизованного образа лаконичными средствами» [3]. Данную формулировку основ декоративной стилизации можно рассмотреть на примере паттерна сети магазинов «Лента» (рисунки 3).

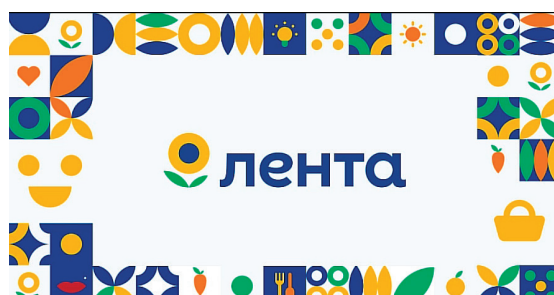


Рис. 3. Паттерн сети магазинов «Лента»

Декоративная стилизация в данном паттерне находит выражение через ритмичное повторение элементов. Цельная композиция формируется при помощи использования строгой структуры модульной сетки. Данный приём помогает сгладить излишнюю декоративность

и сделать паттерн удобным для восприятия и применения в визуальной среде. Важно отметить, что паттерн визуально напоминает орнамент. Такой результат достигается путём сочетания фирменных цветовых сочетаний и размещения упрощённых изображений. Благодаря этому со-

здаётся приятная динамичность паттерна, который не выглядит перегруженным.

Анализ примеров применения вышеперечисленных художественных приёмов стилизации показывает, что они полезны при создании уникальных и выделяющихся среди большинства визуальных элементов фирменного стиля. На примере устоявшихся брендов удалось показать, как тот или иной вид стилизации преобразует фир-

менный стиль компании и помогает передавать чувства, идею и находить баланс между использованием множества элементов и упорядоченностью дизайна, а также облегчать коммуникацию благодаря использованию упрощения форм. Изучение художественных приёмов стилизации и их применение в графическом дизайне помогают сформировать узнаваемую систему связанных между собой визуальных элементов фирменного стиля.

Литература:

1. Кухта М. С., Бушар К. Уровни стилизации и их значение в формировании образов дизайна // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2016. — № 4 (31). — С. 91–95. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urovni-stilizatsii-i-ih-znachenie-v-formirovanii-obrazov-dizayna> (дата обращения 30.04.2026).
2. Суравцова Ю. С., Коровко И. Л. Стилизация графики в видеоигровой среде // Гуманитарные исследования Центральной России. — 2024. — № 3 (32). — С. 84–92. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stilizatsiya-grafiki-v-videoigrovoy-srede> (дата обращения: 30.04.2026).
3. Тарасенкова Д. А. Основы приёмов стилизации предметных форм на примере декоративного натюрморта // Наука и образование сегодня. — 2021. — № 4 (63). — С. 106–108. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovy-priemov-stilizatsii-predmetnyh-form-na-primere-dekorativnogo-natyurmorta> (дата обращения: 01.05.2026).

Оценка эффективности конструктивных мероприятий по предотвращению прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного здания

Черданцева Анастасия Андреевна, студент магистратуры
Научный руководитель: Демидов Михаил Игоревич, старший преподаватель
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, аварийная расчетная ситуация, разгружающая плита, резервирование прочности.

Обеспечение надежности и устойчивости зданий и сооружений при аварийных расчетных ситуациях относится к обязательным требованиям конструктивной безопасности. Согласно ГОСТ 27751–2014, прогрессирующее обрушение определяется как последовательное разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его части вследствие начального локального повреждения [1, п. 2.2.9]. При этом расчет на прогрессирующее обрушение предусматривается для зданий и сооружений класса КС-3, а также зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей [1, п. 5.2.6]. В соответствии с СП 385.1325800.2018 основным конструктивным требованием является обеспечение необходимой несущей способности и деформативности конструктивных элементов и соединений между ними при локальном разрушении [2, п. 9.1].

В качестве объекта исследования рассматривается расчетная модель многоэтажного монолитного железобетонного здания. Здание имеет прямоугольную форму в плане с размерами 24,0 × 33,6 м. Основная сетка колонн принята с шагом 6,0 × 5,6 м, высота этажей — 3,0 м (см. рис.

1). В центральной части здания расположено ядро жесткости, обеспечивающее пространственную устойчивость конструктивной системы.

Расчет выполнен методом конечных элементов в ПК «ЛИРА-САПР» [5]. Для анализа поведения здания при аварийной расчетной ситуации рассмотрены три расчетных состояния: исходная конструктивная схема, вторичная расчетная схема с локальным удалением колонны, а также вторичная расчетная схема с локальным удалением колонны и устройством разгружающей монолитной железобетонной плиты. Такой подход позволяет оценить изменение напряженно-деформированного состояния конструктивной системы после выключения одного из несущих элементов и определить эффективность мероприятий по ограничению развития повреждений [4].

По результатам численного моделирования наиболее неблагоприятным сценарием признано локальное удаление колонны Б/2, расположенной в зоне между ядром жесткости и угловой колонной. При данном расчетном сценарии происходит существенное перераспределение усилий в смежных вертикальных и горизонтальных элементах. Полного обрушения здания не зафиксировано, од-

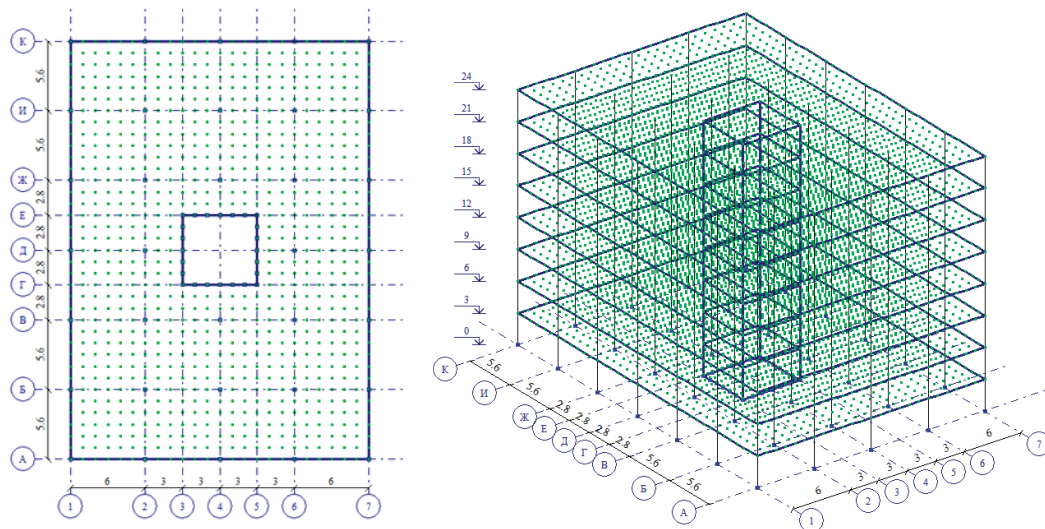


Рис. 1. План и пространственная расчетная модель здания

нако в отдельных конструкциях возникают повреждения и признаки недостаточного резерва несущей способности. Характер повреждений плиты на отметке +3,000 после удаления колонны Б/2 показан на рисунке 2.

Для повышения живучести конструктивной системы рассмотрены два варианта конструктивных мероприятий. Первый вариант предусматривает резервирование прочности плит перекрытия за счет увеличения площади рабочей арматуры. Данное решение направлено на повышение несущей способности горизонтальных элементов, воспринимающих увеличенные изгибающие моменты после локального выключения колонны [3]. Второй вариант предусматривает устройство разгружающей монолитной железобетонной плиты в уровне второго этажа, которая включается в пространственную работу здания

и способствует перераспределению усилий между элементами конструктивной системы.

Анализ усилий в вертикальных элементах показал, что удаление колонны Б/2 вызывает резкое изменение работы смежных колонн. Для колонны А/2 на отметке $\pm 0,000$ при удалении колонны Б/2 значение момента M_z возрастает до 126,95 кН·м, при этом элемент переходит в разрушенное состояние. После устройства разгружающей плиты момент M_z в данном сечении снижается до 5,98 кН·м. При этом повреждение элемента полностью не исключается, что показывает ограниченный характер влияния разгружающей плиты на работу отдельных вертикальных конструкций.

Наиболее выраженный положительный эффект получен при анализе плит перекрытия. При локальном

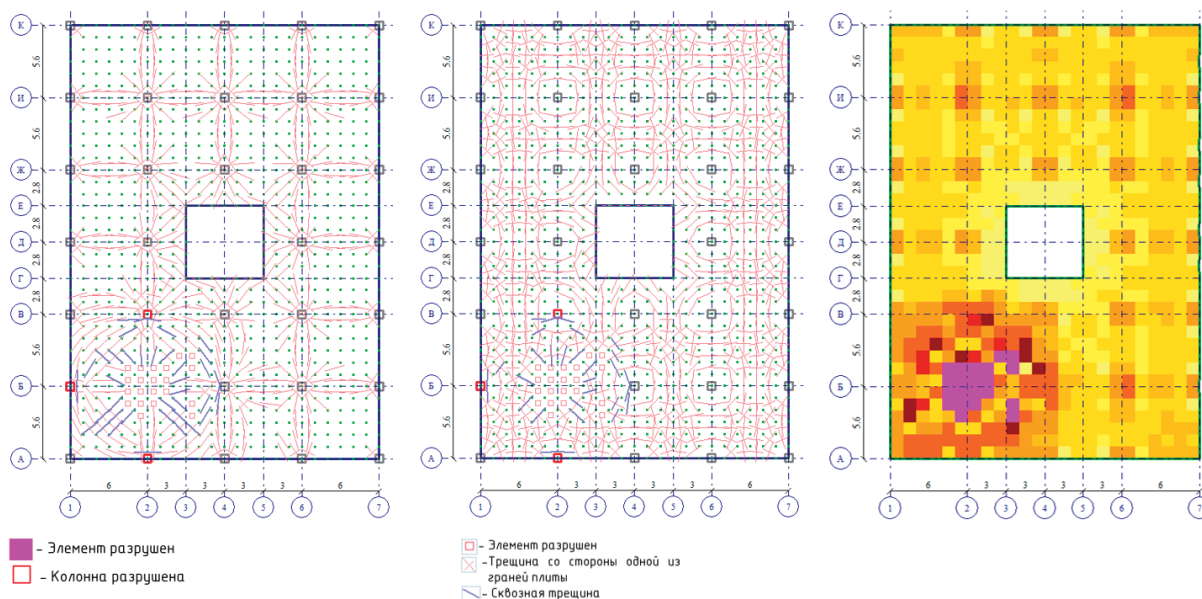


Рис. 2. Разрушения в +3,000 после удаления колонны Б/2: а) Трещины в верхнем слое плиты; б) Трещины в нижнем слое плиты; в) Мозаика максимальных напряжений

удалении колонны Б/2 максимальные прогибы плит составляют порядка 149–153 мм. После устройства разгружающей плиты прогибы снижаются примерно до 51 мм, то есть почти в три раза. Одновременно отмечается сни-

жение главных напряжений в плите, что свидетельствует о более благоприятном перераспределении усилий в горизонтальных элементах конструктивной системы. Сравнение расчетных схем приведено на рисунке 3.

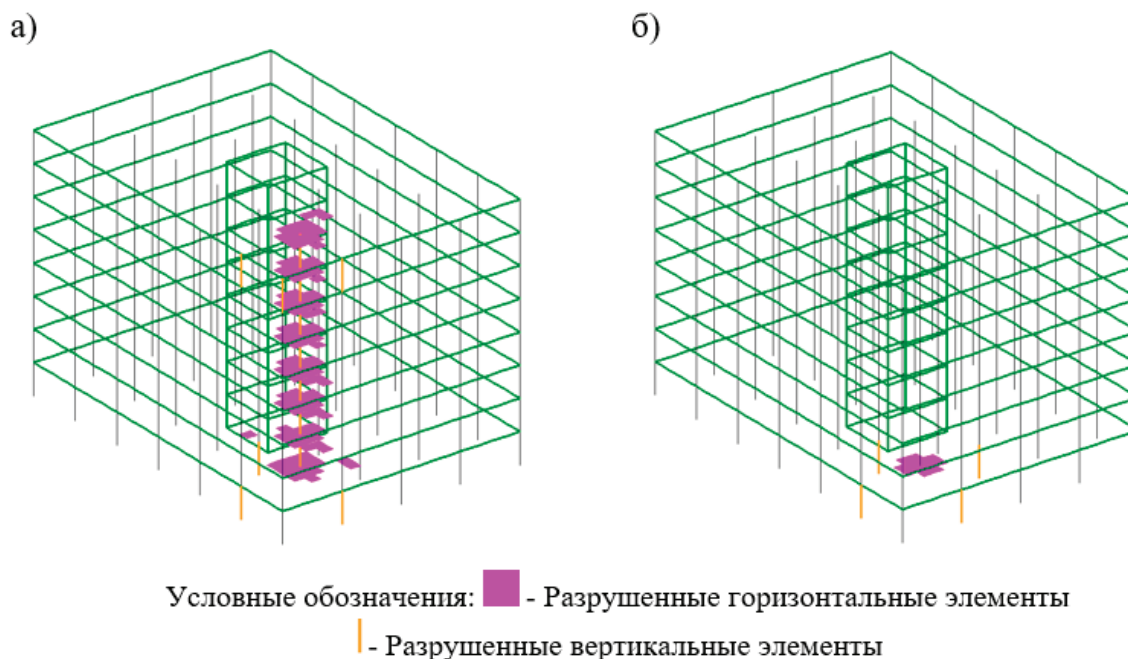


Рис. 3. Расчетные схемы работы здания при локальном удалении колонны Б/2: а — схема с удалением колонны; б — схема с удалением колонны и устройством разгружающей плиты

Для проверки достаточности принятых конструктивных мероприятий выполнена оценка резерва несущей способности колонн и подбор рабочей арматуры плиты перекрытия по максимальным усилиям, полученным во вторичной расчетной схеме. Расчет плиты перекрытия толщиной 200 мм выполнен для полосы шириной 1 м. По максимальному изгибающему моменту требуемая пло-

щадь рабочей арматуры составила не менее 14,82 см²/м. В качестве расчетного решения принято армирование Ø16 A400 с шагом 125 мм, обеспечивающее фактическую площадь арматуры 16,09 см²/м. Условие подбора арматуры выполняется. Для колонн сечением 600 × 600 мм выполнена проверка двух вариантов продольного армирования. Результаты проверки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты проверки армирования элементов

Элемент	Проверяемое армирование	Результат
Колонна 600 × 600 мм, вариант 1	4Ø22 A400, $A_s = 15,20 \text{ см}^2$	Несущая способность обеспечена
Колонна 600 × 600 мм, вариант 2	4Ø16 A400, $A_s = 8,04 \text{ см}^2$	Несущая способность обеспечена
Плита $h = 200 \text{ мм}$	Ø16 A400, шаг 125 мм, $A_s = 16,09 \text{ см}^2/\text{м}$	$A_s > A_{s, \text{req}}$

Результаты проверки показывают, что принятое армирование колонн обеспечивает несущую способность сечений при работе во вторичной расчетной схеме. Для плиты перекрытия требуется усиленное армирование Ø16 A400 с шагом 125 мм в обоих направлениях, что связано с увеличением изгибающих моментов после локального выключения колонны [3].

Для оценки рациональности конструктивных решений выполнено укрупненное экономическое сравнение двух вариантов повышения устойчивости здания: резервирования прочности плит перекрытия и устрой-

ства разгружающей плиты. Сравнение выполнено относительно исходного варианта здания без дополнительных мероприятий по защите от прогрессирующего обрушения. В базовом варианте принято армирование плит A400 Ø12 с шагом 200 мм, а в надколонных зонах — A400 Ø12 с шагом 100 мм. Для варианта резервирования прочности принято армирование A400 Ø16 с шагом 125 мм на восьми расчетных уровнях. Для варианта устройства разгружающей плиты принято армирование A400 Ø18 с шагом 200 мм в верхней и нижней зонах одной дополнительной плиты.

Таблица 2. Сравнение дополнительных материальных затрат по вариантам повышения устойчивости здания

Показатель	Резервирование прочности плит перекрытия	Устройство разгружающей плиты
Конструктивное решение	Усиление армирования плит перекрытия на всех расчетных уровнях	Устройство дополнительной монолитной железобетонной плиты в уровне второго этажа
Армирование	A400 Ø16, шаг 125 мм	A400 Ø18, шаг 200 мм, верхняя и нижняя зоны
Количество расчетных уровней	8	1
Общая масса арматуры в рассматриваемом варианте, т	327,34	32,45
Базовая масса арматуры, т	135,25	–
Дополнительная масса арматуры, т	192,09	32,45
Дополнительная стоимость арматуры, руб.	11 678 223	1 995 376
Дополнительная стоимость бетона с доставкой, руб.	–	3 548 160
Дополнительный объем бетона, м³	–	403,2
Общая дополнительная стоимость материалов, руб.	11 678 223	5 543 536

По результатам укрупненного сравнения устройство разгружающей плиты экономичнее на 6,1 млн. руб. (в ценах 2026 г) или 52 % по сравнению с вариантом резервирования прочности. Данный результат следует рассматривать как предварительную технико-экономическую оценку, поскольку в расчете учтены только основные материальные затраты.

Выводы

1. Наиболее неблагоприятным расчетным сценарием является локальное выключение колонны между ядром жесткости и угловой колонной, вызывающее значительное перераспределение усилий в смежных элементах.

2. Резервирование прочности плит обеспечивает требуемую несущую способность, но приводит к существенному увеличению расхода арматуры на всех расчетных уровнях.

3. Устройство разгружающей плиты снижает максимальные прогибы плит примерно в 3 раза и ограничивает распространение повреждений.

4. По укрупненной оценке материальных затрат устройство разгружающей плиты экономичнее резервирования прочности на 52 %, поэтому может рассматриваться как более рациональное конструктивное мероприятие.

Литература:

- ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. — Введ. 2015–07–01.
- СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. — Введ. 2019–01–06. — С изм. № 1–4.
- СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
- Федорова Н. В., Савин С. Ю. Анализ особенностей сопротивления прогрессирующему обрушению конструктивных систем зданий и сооружений при внезапных структурных перестройках: аналитический обзор научных исследований // Строительство и реконструкция. — 2021. — № 3(95). — С. 76–108.
- Малахова А. Н., Мухин М. А. Проектирование железобетонных конструкций с использованием программного комплекса ЛИРА: учебное пособие. — 2-е изд. — Москва: НИУ МГСУ, 2016. — 120 с.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 19 (622) / 2026

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шишков
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 20.05.2026. Дата выхода в свет: 27.05.2026.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.