

На правах рукописи



Быбка Александр Васильевич

ЖЕСТКОСТЬ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ
МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений - ЦНИИ-Промзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»).

Научный руководитель: **Трекин Николай Николаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Меркулов Сергей Иванович,**
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РААСН, Почетный
строитель России, заведующий кафедрой
«Промышленное и гражданское строитель-
ство ФГБОУ ВО «Курский государствен-
ный университет»

Зенин Сергей Алексеевич,
кандидат технических наук, заведующий
лабораторией теории железобетона и кон-
структивных систем НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строитель-
ство»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего об-
разования «Томский государственный ар-
хитектурно-строительный университет»

Защита состоится 24 сентября 2026 г. в 11-00 (по местному времени) на заседа-
нии диссертационного совета 75.1.078.01 на базе Акционерного общества «Централь-
ный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промыш-
ленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий») по
адресу: г. Москва, Дмитровское шоссе, дом 46, корпус 2, ауд. 21.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
АО «ЦНИИПромзданий» и на сайте <https://www.cniipz.ru>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Терехов Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Большинство гражданских и промышленных сооружений, выполненных из сборного железобетона, имеют каркасную конструктивную систему. Это неразрывно связано с повышением эффективности капитального строительства, что, в свою очередь, обеспечивается ростом экономичности железобетонных конструкций за счет уменьшения их материалоемкости, энергоемкости, применения прогрессивных технологий изготовления и монтажа конструкций без снижения их эксплуатационных свойств, надежности и долговечности. Это также позволяет гибко подходить к планировочным решениям и использовать все возможности индустриализации производства сборных железобетонных элементов. При этом, в каркасных системах несущие и ограждающие конструкции имеют четкое деление по функциональной принадлежности, в соответствии с их степенью участия в работе всей каркасной системы.

Многочисленные обследования существующих каркасных зданий из сборного железобетона показывают, что швы между элементами перекрытий (покрытий) имеют различное состояние: замоноличенные, некачественно замоноличенные (со строительным мусором) и незамоноличенные. Эти состояния швов обусловлены как отсутствием контроля на стадии монтажа, так и при эксплуатации или в ходе проведения ремонтных работ.

Податливость дисков перекрытия, обусловленная большим количеством соединений между плитами и плитами и ригелями, приводит к непропорциональному жесткостям загрузению вертикальных конструкций и, следовательно, требует учета при расчете каркасов.

Степень разработанности темы исследования. Весомый вклад в разработку и развитие методов расчета при проектировании зданий с каркасными несущими системами внесли такие ученые и специалисты как А.В. Александров, Я.М. Айзенберг, В.Н. Байков, В.М. Бондаренко, Г.И. Бердичевский, А.П. Васильев, Б.Ф. Васильев, Н.М. Володин, А.А. Гвоздев, М.И. Додонов, П.Ф. Дроздов, А.С. Залесов, Н.И. Карпенко, В.А. Клевцов, Э.Н. Кодыш, С.М. Крылов, С.Г. Ларионов, А.Н. Мамин, Л.Л. Паньшин, С.В. Поляков, А.Р. Ржаницын, А.С. Семченков, Н.Н. Складнев, В.Е. Сно, А.Г. Тамразян, В.И. Травуш, Н.Н. Трекин, В.В. Ханджи, П.П. Шагин, Н.Н. Шапошников и многие другие.

На начальном этапе формирования и последующего развития методов расчета каркасных зданий многие исследователи принимали сборные перекрытия жесткими в своей плоскости, по аналогии с монолитными. Однако, последующие многочисленные экспериментальные исследования таких ученых как Айзенберг Я.М., Байков В.Н., Додонов М.И., Дроздов П.Ф., Дыховичный Ю.А., Егупов В.К., Клевцов В.А., Кодыш Э.Н., Мамин А.Н., Паньшин Л.Л., Поляков В.С., Семченков А.С.,

Складнев Н.Н., Сно В.Е., Трекин Н.Н. и многих других показали, что сборные диски перекрытия, хотя и являются единой пространственной системой благодаря устройству сопряжений в них и с опорными конструкциями, но их жесткость имеет конечную величину и во многом зависит от их конструкции, в том числе конструкции и состояния соединений элементов в них. На практике же, неучет факторов взаимодействия сборных конструкций не позволяет учесть взаимное влияние при работе дисков перекрытия совместно с вертикальными конструкциями, которое, как отмечают многие исследователи, приводит к неравномерному распределению внешних нагрузок, особенно действующих в плоскости дисков перекрытия, между вертикальными элементами. Нагрузки в этом случае распределяются не в соответствии с жесткостями вертикальных элементов, а по иным законам, что наиболее выражено в зданиях с несимметричным расположением элементов жесткости. Поэтому особенно актуальным остается вопрос оценки жесткости сборных дисков перекрытий в горизонтальной плоскости и учета этого фактора при анализе напряженно-деформированного состояния всего каркаса здания.

Цель и задачи. Целью диссертационной работы является разработка методики определения жесткостных характеристик дисков перекрытий многоэтажных каркасных зданий из сборных железобетонных плит в своей плоскости на основе учета общих закономерностей деформирования узловых сопряжений плит, ригелей и колонн.

Задачи исследования:

1. Провести анализ имеющихся отечественных и зарубежных подходов к учету податливости дисков перекрытий и покрытия и его влиянию на напряженно-деформированное состояние несущих систем каркасных зданий.

2. Экспериментально и теоретически исследовать жесткостные характеристики межплитных швов и сопряжений с опорными конструкциями при вертикальных и горизонтальных нагрузках.

3. Проанализировать влияние на деформативность сборных дисков перекрытий межплитных швов и основных сопряжений в них.

4. Разработать расчетную модель плит перекрытия (покрытия) для расчета на горизонтальные нагрузки, учитывающую деформативность межплитных швов и сопряжений плит с опорными конструкциями.

5. Выполнить численные исследования работы расчетной модели ячейки перекрытия в составе дисков из пустотных и ребристых плит.

6. Разработать методику определения податливости сборных дисков перекрытий (покрытий) из многопустотных.

7. Численно исследовать влияние податливости сопряжений фрагментов диска перекрытия (покрытия) на его общую деформативность и сопоставить с данными ранее проведенных натурных экспериментов.

8. Провести численные исследования влияния жесткостных характеристик дисков перекрытий (покрытий) на напряженно-деформированное состояние многоэтажных несущих каркасных систем.

Объектом исследования являются сборные диски перекрытия (покрытия) из многопустотных плит.

Предметом исследования является жесткость дисков перекрытий в горизонтальной плоскости с учетом податливости стыков между плитами, плитами и опорными конструкциями каркасной системы.

Научно-техническая гипотеза диссертации. Податливость дисков перекрытий в горизонтальной плоскости вызвана деформативностью многочисленных сопряжений между плитами, плит с опорными конструкциями и вертикальными несущими элементами каркаса.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

1. Полученных экспериментально-теоретических данных по прочности и деформативности сопряжений плит между собой через межплитные швы и с опорными конструкциями.

2. Разработанной расчетной модели плиты сборного перекрытия (покрытия) для анализа влияния деформативности межплитных швов и сопряжений с поддерживающими конструкциями на податливость плит в составе диска при горизонтальных нагрузках.

3. Разработанной методике определения жесткости элементов расчетной модели сборного перекрытия (покрытия) из многопустотных плит.

4. Определении степени влияния податливости сборных дисков перекрытий (покрытий) на перераспределение усилий в несущей системе многоэтажных каркасных зданий.

5. Методике определения поправочного коэффициента к жесткости сборных перекрытий (покрытий), учитывающего податливость соединений в них, в зависимости от состояния межплитных швов и опорных сопряжений.

Теоретическая значимость заключается в разработке методики определения жесткостных характеристик дисков перекрытий из сборных железобетонных плит, в зависимости от состояния стыков между элементами перекрытия, а также узловых сопряжений с элементами несущей системы при расчете многоэтажных каркасных зданий, в развитие методов расчета каркасных зданий.

Практическая значимость:

- разработана методика оценки влияния межплитных швов и опорных сопряжений на деформативность плит в составе перекрытия (покрытия);

- разработаны рекомендации по учету податливости дисков перекрытий (по-

крытий) из сборных железобетонных плит при расчете многоэтажных каркасных зданий.

Выполненная работа позволяет уточнять расчетные модели каркасов и может использоваться проектировщиками как при новом проектировании и реконструкции, так и при обследовании каркасных зданий.

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационной работы являлись анализ проведенных теоретических исследований в части расчета каркасных зданий с учетом податливости узловых сопряжений, экспериментальных исследований работы фрагментов сборных дисков и элементов перекрытий российских и иностранных авторов, в том числе исследования автора, численное моделирование работы локальных участков на плоских моделях сборных перекрытий и полностью каркасов зданий на пространственных моделях с подтверждением сходимости с экспериментальными данными.

Положения, которые выносятся на защиту:

1. Обоснование необходимости учета податливости дисков перекрытий из сборных плит.

2. Полученные экспериментально-теоретические данные по прочности и деформативности межплитных швов и сопряжений плит с опорными конструкциями.

3. Расчетные модели плиты и ячейки перекрытия (покрытия) для расчета диска на горизонтальные нагрузки, учитывающие податливость сопряжений.

4. Методика определения податливости соединений в сборных дисках перекрытий (покрытий).

5. Результаты численных исследований влияния установленного диапазона податливости узловых сопряжений на деформативность сборных элементов перекрытий и полносборных дисков перекрытий многоэтажных зданий, выполненные на плоских и пространственных расчетных моделях.

6. Рекомендации по учету податливости дисков перекрытий (покрытий) из сборных железобетонных многопустотных плит в пространственных расчетных моделях многоэтажных каркасов по методу конечных элементов.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования, участии в экспериментальных исследованиях прочности и деформативности плит перекрытий в составе фрагмента перекрытия, разработке методики определения жесткости соединений в сборных перекрытиях, а также разработке рекомендаций по учету податливости дисков перекрытий из сборных железобетонных многопустотных плит в пространственных расчетных моделях многоэтажных каркасов по методу конечных элементов.

Степень достоверности результатов подтверждается:

- применением при проведении экспериментальных исследований поверенного

оборудования;

- проведением численных исследований с использованием современных сертифицированных и верифицированных расчетных программных комплексов;
- применением в теоретических исследованиях базовых закономерностей строительной механики и механических моделей железобетона;
- удовлетворительной сходимостью полученных результатов с данными, полученными в ходе экспериментальных исследований, выполненными различными авторами.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на семинарах и научно-технических конференциях, в том числе международных:

- VII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию с международным участием (г. Сочи, 2007 г.);
- XXII Интернациональная научная конференция “Construction the Formation of Living Environment” FORM-2019 (г. Ташкент, 2019 г.);
- Международный строительный конгресс «Наука. Инновации. Цели. Строительство» (г. Москва, 2023 г.);
- Международный форум конструкторов-строителей и инженеров-расчетчиков «ИНТЕРКОНСТРОЙ-2024» в рамках «XI Международного строительного форума 100+ Techno Build» (г. Екатеринбург, 2024 г.);
- XII Международный строительный форум 100+ Techno Build (г. Екатеринбург, 2025 г.).

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы использованы при обследовании эксплуатируемых зданий и проектировании надстроек:

- объект «Гостиница «Белград», г. Москва;
- объект «Административное здание ОСАО «Ингосстрах», г. Москва.

При расчетах в ходе научно-технического сопровождения проектной документации по реконструкции объектов:

- «Учебные корпуса федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (г. Москва, просп. Вернадского, д. 84, строения 1 и 2). Учебный корпус № 6 (строение 2)»;
- «Реконструкция объекта. «Учебные корпуса федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (г. Москва, просп. Вернадского, д. 84, строения 1 и 2)». Учебный корпус № 1 (строение 1)»;

- «Реконструкция здания Института экспериментальной кардиологии (строения 2, 6, 7, 8), второй пусковой комплекс» по адресу: г. Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15А;

- «Создание участка получения диоксида урана методом восстановительного пирогидролиза в корпусе 205 цеха 48 г. Электросталь, Московская область».

Публикации. Материалы диссертации достаточно полно изложены в 12 научных публикациях, из которых 2 опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ, 2 в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, WEB of Science и др., 7 в других научных изданиях и 1 патент.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В соответствии с паспортом специальности в диссертации выполнены научно-технические исследования и разработки в области развития теории и методов оценки напряженного состояния, надежности и механической безопасности строительных конструкций, зданий и сооружений.

Полученные в диссертационной работе результаты соответствуют пунктам 1 и 3 паспорта научной специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы из 118 наименований, приложения – всего 154 страницы, в том числе 11 таблиц, 81 рисунок и 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, его цели и задачи. Представлены: научная гипотеза; объект и предмет исследования; научная новизна, теоретическая и практическая значимость; основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, в соответствии с задачами исследования, выполнен анализ конструктивных решений многоэтажных каркасных зданий и дисков перекрытий, методов их расчета. На основании проведенного обзора методов расчета и экспериментальных и теоретических исследований работы многоэтажных каркасных зданий выявлено влияние соединений конструктивных элементов каркаса на его напряженно-деформированное состояние и обоснована необходимость учета таких соединений при расчете каркасов.

Отдельный подраздел первой главы посвящен анализу влияния дисков перекрытий на пространственную жесткость сборных каркасов. При этом отмечено, что одним из важных направлений совершенствования расчетных моделей каркасов является более глубокое исследование механизмов взаимодействия сборных элементов

в несущих подсистемах, в частности податливости швов в дисках перекрытий. Применение уточненных моделей для расчета каркасов, которые учитывают податливость соединений между элементами в перекрытии, представляет более широкие, и то же время унифицированные, возможности для оценки количественного и качественного перераспределения усилий между элементами каркаса. Это представляет особую актуальность для поиска резервов несущей способности элементов каркаса или принятия решения о необходимости усиления. При проектировании вновь возводимых зданий использование таких расчетных моделей позволяет повысить степень надежности конструктивных решений, а также оптимизировать экономические и эксплуатационные показатели, в том числе долговечность.

Основным фактором того, что при выполнении расчетов сборных каркасов в пространственной постановке при реальном проектировании не применяется учет податливости соединений в дисках перекрытий, является отсутствие конкретных методик по определению жесткостей таких соединений и рекомендаций по их учету, а имеющиеся единичные подходы вызывают увеличение количества элементов в расчетных моделях, что, в свою очередь, приводит к накоплению ошибок при формировании таких моделей, что сказывается на результатах расчета.

В выводах по главе предложены направления решения поставленных для исследования задач.

Вторая глава диссертации посвящена экспериментальным исследованиям, целью которых было изучение степени взаимодействия сборных железобетонных многопустотных плит между собой и с опорными конструкциями в составе перекрытия при вертикальных и горизонтальных нагрузках.

Экспериментальные исследования проводились на натурном фрагменте ячейки перекрытия из трех типовых плит ПК60.15-8АтV с замкнутыми круглыми шпонками, с монолитными цементно-песчаным раствором продольными швами. Общий вид опытного фрагмента перекрытия показан на рисунке 1.

Загружение вертикальной нагрузкой осуществлялось только для средней плиты, а взаимодействие ее с соседними плитами осуществлялось только через монолитные продольные швы, монолитным цементно-песчаным раствором. Кубиковая прочность раствора монолитирования составляла 11,5 МПа.

Также была испытана отдельная плита, такая же, как и в составе фрагмента для определения ее жесткости и несущей способности вне фрагмента перекрытия.

Потеря несущей способности фрагмента, сопровождавшаяся ростом прогибов и наклонных трещин на поверхностях обеих крайних плит без увеличения давления в домкратах, произошла при нагрузке соответствовавшей 33,4 кПа.

В ходе эксперимента измерялись абсолютные вертикальные перемещения двух граней каждой из плит в середине пролета. Полученные графики прогибов в пролете,

замеренных по граням соседних плит, представленные на рисунке 2, свидетельствуют об отсутствии сдвига в шве и совместной работе плит вплоть до разрушения плиты.

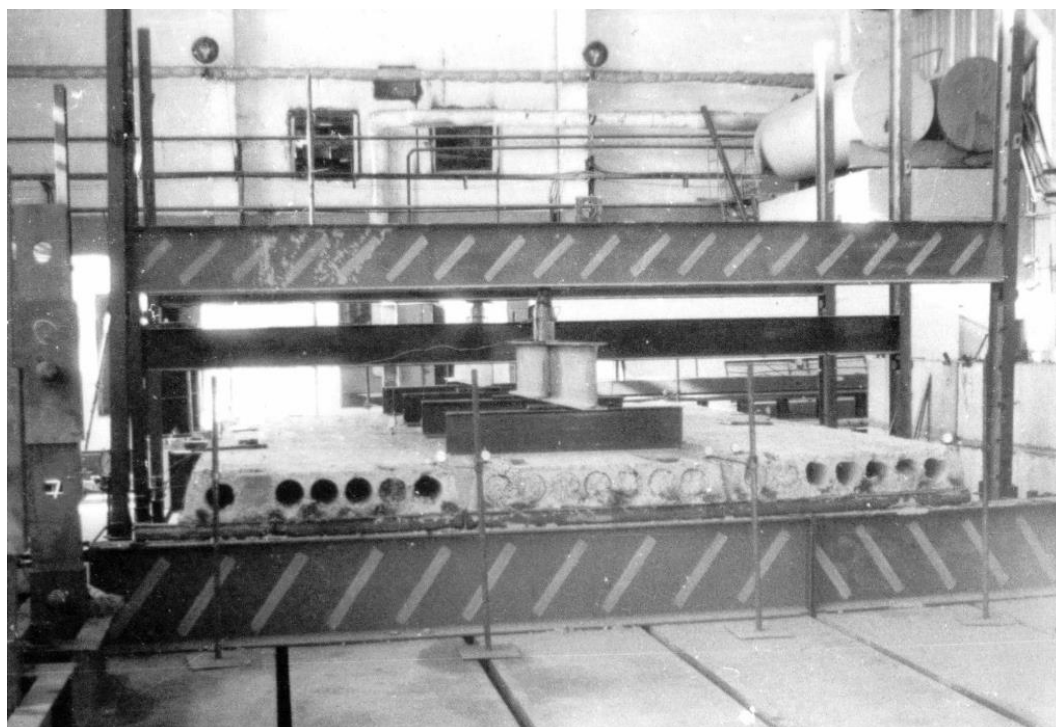


Рисунок 1 – Общий вид испытаний фрагмента перекрытия из многопустотных плит

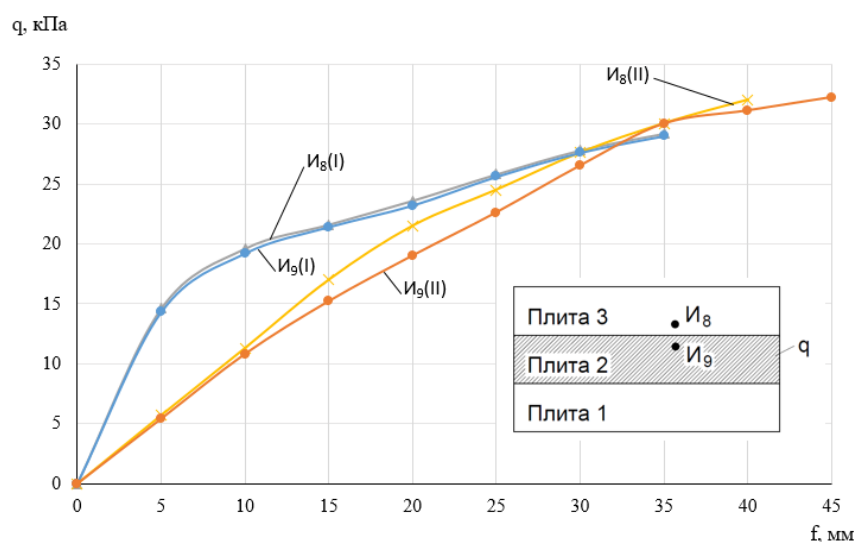


Рисунок 2 – Графики зависимости вертикальных перемещений от вертикальной нагрузки смежных точек плит в середине пролета, объединенных продольным швом между плитами 2-3 (I и II – первое и повторное нагружения)

Для сопоставления на рисунке 3 представлены графики прогибов в середине пролета плиты для отдельных плит (кривые 1-3) из той же партии, что и плиты в фрагменте, и для средней плиты в составе фрагмента (кривая 4). Из графиков видно, что зависимость прогибов от нагрузки при испытаниях отдельных плит имеет линейную

зависимость до нагрузки в 5-6 кПа, что свидетельствует об упругом их деформировании. При увеличении нагрузки нелинейность деформаций в плитах развивалась интенсивно.

Оценка увеличения жесткости нагруженной плиты в составе фрагмента перекрытия производилась для контрольных прогибов 10 и 20 мм, что соответствует эксплуатационным нагрузкам, и для предельного значения прогиба $L/200$, что соответствует значению 30 мм, и представлена в таблице 1. Жесткость средней (нагруженной) плиты фрагмента относительно отдельной плиты вне фрагмента увеличивается практически до 3 раз вследствие ее взаимодействия с ненагруженными.

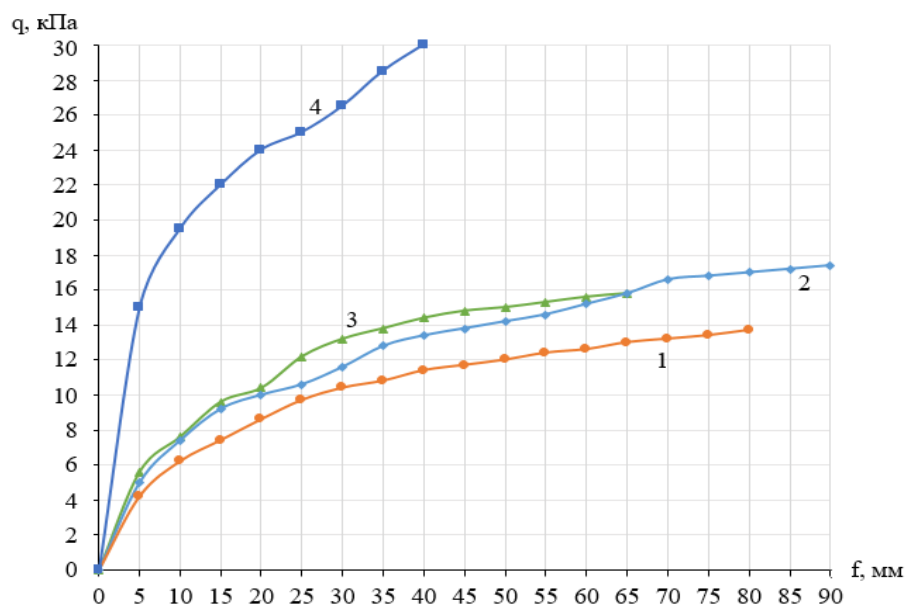


Рисунок 3 – Графики нагрузка – перемещение для отдельных плит (1-3) и средней плиты в составе фрагмента (4)

Таблица 1 – Сравнение прогибов отдельной плиты и нагружаемых плит в составе фрагментов перекрытия

№	Прогиб, мм	Нагрузка, кПа		$K_D = p_0/p_i$
		Отдельная плита, p_i	Нагруженная плита в составе фрагмента перекрытия, p_0	
1	10	6,6	19,5	2,95
2	20	8,6	24,0	2,79
3	30	10,4	26,5	2,55

Примечание: K_D - коэффициент увеличения жесткости плит в составе фрагмента по сравнению с одиночной плитой.

Для оценки работы шва при сдвиге вдоль плит были проведены испытания

натурного фрагмента на горизонтальную нагрузку. Продольные швы замоноличивались цементно-песчаным раствором М100, с прочностью на срез $R_{sh} = 2 R_{bt,n} = 2,1$ МПа.

Испытания фрагментов перекрытия из плит показали, что жесткость продольного шва с замкнутыми круглыми шпонками, даже при минимально возможной прочности раствора замоноличивания достаточно велика в диапазоне эксплуатационных нагрузок. Циклическая вертикальная нагрузка не снижает его жесткости при сдвиге в горизонтальном направлении, даже если она превышает расчетную до 3 раз.

Для исследования жесткостных характеристик связевой плиты, с учетом ее соединений с опорными конструкциями, был проведен эксперимент на натурном фрагменте при вертикальных и горизонтальных нагрузках.

Испытывалась типовая связевая многопустотная плита ПК 56.15-16АтVт, уложенная на типовые ригели укороченной длины.

Схема опирания и нагружения связевой плиты при испытаниях показаны на рисунке 4. Испытания выполнялись в несколько этапов. На всех этапах загрузку фрагмента выполнялось ступенями сначала вертикальной нагрузкой до расчетного значения по прочности, а потом горизонтальной нагрузкой.

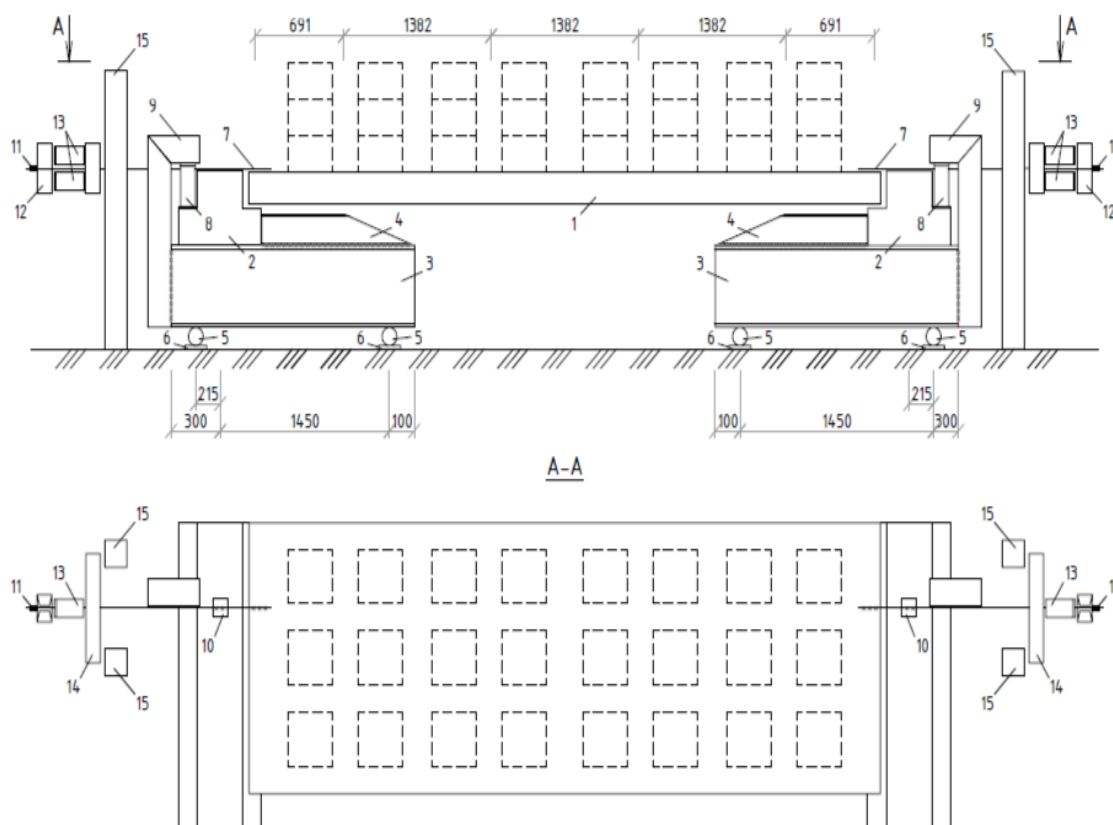


Рисунок 4 – Схема опирания и нагружения связевой плиты: 1 - плита; 2 - ригели; 3 - подвижные опоры для ригелей; 4 - упоры для ригелей; 5-6 - катки и пластины; 7 - связевая арматура; 8 - гидравлические домкраты для фиксации ригелей от поворота; 9 - упор для домкрата; 10 - закладные детали ригелей; 11 - анкера для связевой арматуры; 12 - упорные балки; 13 - домкраты; 14 – 15 - упорные элементы силового пола

На рисунке 5 приведен график относительных деформаций связевой арматуры от вертикальной нагрузки. На первом этапе при загрузке вертикальной нагрузкой до расчетного значения при повороте опорного сечения плиты в верхней части торцевого шва образовалась трещина шириной до 2,59 мм, нижняя часть шва оставалась сжатой. В ходе испытаний приращение деформаций в связевой арматуре было менее перемещений торца плиты относительно ригеля, что вызвано податливостью закладной детали в ригеле.

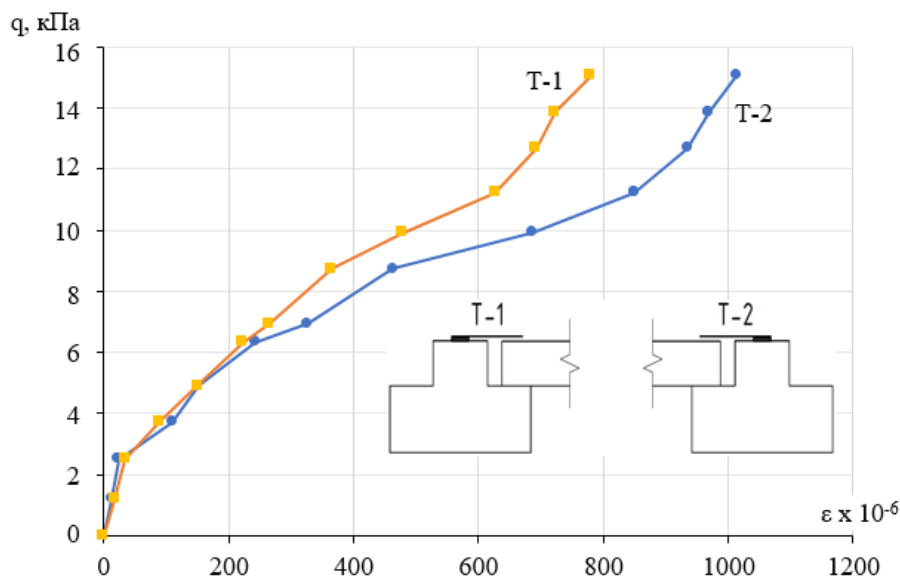


Рисунок 5 – Зависимость относительных деформаций связевой арматуры от вертикальной нагрузки

После загрузки до расчетного значения вертикальной нагрузкой фрагмент был загружен горизонтальной нагрузкой, приложенной к связевой арматуре с двух сторон образца (см. рисунок 4). По графику зависимости смещений торца плиты, приведенному на рисунке 6, видно, что интенсивный рост деформаций начался при достижении усилия в 70 кН, что было моментом начала разрушения сварного шва соединения стержней связевой арматуры с каркасом. На связевую арматуру при этом приходилось 70 % приложенной нагрузки, что при начале разрушения составило 53 кН. Таким образом, порядка 30 % приложенной нагрузки приходилось на трение (сцепление) по площадке опирания плиты на ригель.

На следующем этапе после доведения значения вертикальной нагрузки до расчетного значения, к связевой арматуре было приложено горизонтальное усилие ступенями до 115 кН. После сброса горизонтального усилия фрагмент снова загружался и доводился до разрушения.

На рисунке 7 представлен график зависимости перемещений опорного сечения плиты относительно ригеля от горизонтальной нагрузки. Наряду с общей зависимостью нагрузка-перемещение N_{sv} , выделены зависимости, показывающие количественное распределение нагрузки между связевой арматурой N_s и трением по площадке

опирания плиты на ригель N_{tr} . На начальном этапе нагружения нагрузка распределяется между этими двумя составляющими практически равномерно, а с увеличением приложенной нагрузки доля нагрузки, воспринимаемая арматурой, увеличивается. «Жесткость» сопротивления трению по опорным площадкам в начале нагружения имела максимальное значение, а затем снижалась практически с равной интенсивностью.

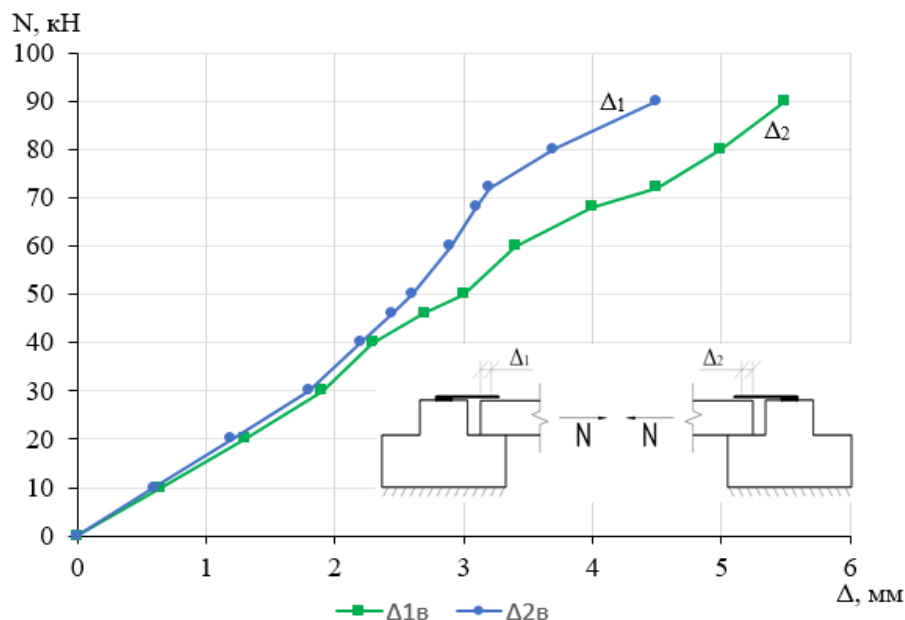


Рисунок 6 – График зависимости средних перемещений торца плиты по отношению к ригелю от горизонтальной нагрузки

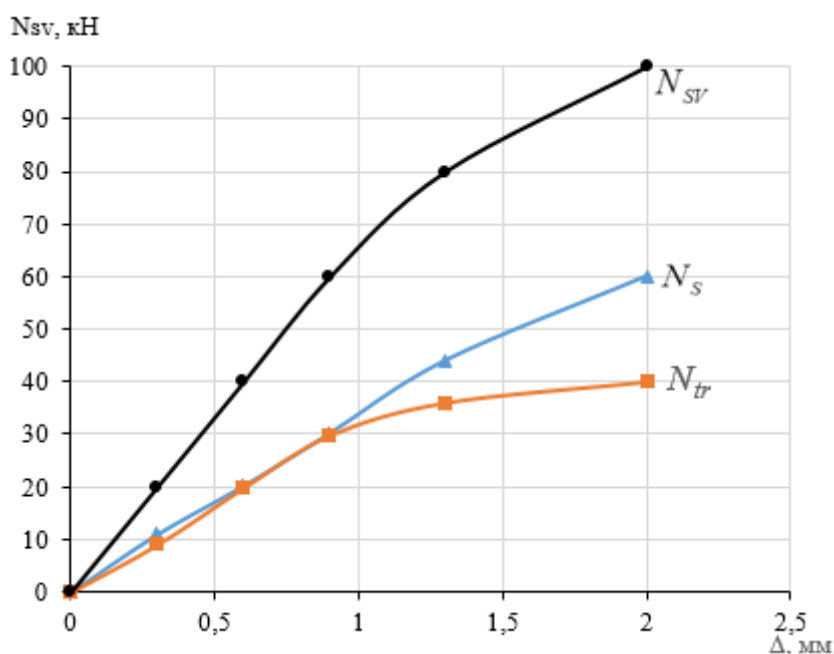


Рисунок 7 – Зависимость перемещений опорной зоны связевой плиты от внешней горизонтальной нагрузки и по раздельности от усилий в связевой арматуре и усилий сопротивления трению (N_{sv} – суммарное усилие в плите, N_s – усилие в связевой арматуре, N_{tr} – усилие сопротивления трению)

В третьей главе приведено обоснование и разработана расчетная модель

ячейки перекрытия из сборных плит. Приближенные упрощенные детерминированные расчетные модели по своим геометрическим схемам, физическим свойствам материалов и схемам загрузки должны быть приближены к реальным конструктивным решениям и, в то же время, быть достаточно простыми для получения решений практических задач.

Пластинчато-стержневая модель позволяет в большей степени учитывать факторы, влияющие на работу диска перекрытия, и применялась в работах некоторых исследователей в различных интерпретациях.

В данной работе для численных теоретических исследований принята такая ячейка размером 6 × 6 м. Расчетная схема плиты (ячейки) представлена на рисунке 8.

Экспериментальные исследования показали, что ячейка перекрытия без замоноличивания продольных швов сопротивляется горизонтальной нагрузке как сумма независимых плит. При замоноличивании продольных швов, ячейка перекрытия сопротивляется горизонтальной нагрузке по схеме как отдельная плита, но с габаритами ячейки перекрытия.

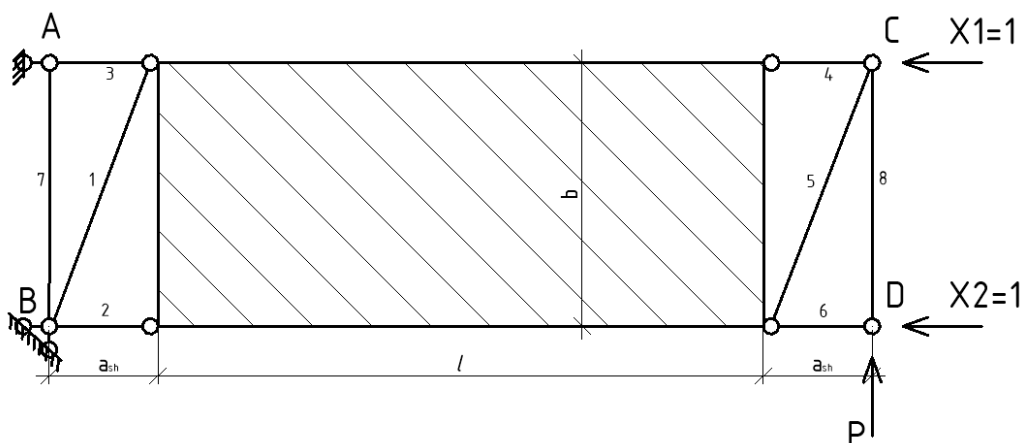


Рисунок 8 – Расчетная схема для определения перемещений плиты или ячейки перекрытия от горизонтальной нагрузки где:

- 1, 5 – связи c_1, c_5 , моделирующие силы трения по опорным площадкам вдоль ригеля; 2, 3, 4, 6 – связи c_2, c_3, c_4, c_6 , моделирующие силы трения, направленные ортогонально ригелю, сжатие и растяжение торцевого шва, работу связевой арматуры на растяжение;
- 7, 8 – связи, моделирующие ригель перекрытия

На основании принятых положений по расчетной модели отдельной плиты в составе ячейки перекрытия определено аналитическое выражение (1) зависимости перемещений плиты от податливости связей при горизонтальной нагрузке, приложенной в плоскости плиты к ригелю. При этом принято, что ригель и плита имеют жесткость на порядок большую, чем жесткость связей.

$$\Delta = P \left(\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_5} \right) + \frac{S^2}{c_2} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{c_2}{c_6}} \right) + \frac{S^2}{c_3} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{c_3}{c_4}} \right) \right) \quad (1)$$

где Δ - перемещение плиты; c_i – податливость связей (см. рисунок 8); P – приложенная нагрузка; $S = (l+2 a_{sh}) / b$ – геометрическая характеристика плиты (см. рисунок 8).

По результатам анализа деформированной схемы расчетной модели ячейки перекрытия из многопустотных плит при горизонтальной нагрузке выделены три типа плит по характеру работы и величинам наложенных связей:

- рядовые плиты, имеющие связи по опорным площадкам и по торцевым швам, без учета влияния продольных швов;

- связевые плиты, имеющие связи по опорным площадкам, по торцевым швам и арматурным соединениям, без учета влияния продольных швов;

- плита размером с ячейку перекрытия при замоноличенных продольных швах, имеющая связи по опорным площадкам, торцевым швам и арматурным соединениям.

Сжатые связи в пластинчато-стержневой модели (ПСМ) моделируют сжатие раствора замоноличивания вертикального шва между плитой и ригелем при многопустотных плитах, сплошных панелях и ребристых плитах с опиранием на полку ригеля. Растянутые и сжатые связи в ПСМ моделируют трение плиты о ригель через цементно-песчаный раствор или закладные детали в случае с ребристыми плитами. На сжатие стержни связевой плиты, как показали экспериментальные исследования, практически не работают.

Выражения для определения продольной жесткости связей расчетной модели для различных условий взаимодействия многопустотной плиты в составе перекрытия представлены соответственно в таблице 2.

Проверка адекватности отражения работы перекрытий из многопустотных плит расчетной моделью производилась сравнением с экспериментальными данными исследований, выполненных Ларионовым С.Г.

На рисунке 9 представлен график зависимости перемещений крайней подвижной точки фрагмента перекрытия от горизонтальной нагрузки для фрагмента с полностью замоноличенными швами (линия 1) и соответственно без заполнения швов (линия 3) по данным экспериментальных исследований Ларионова С.Г. Пунктиром (линии 2 и 4) показаны полученные результаты перемещений по расчетной модели для соответствующих фрагментов по состоянию межплитных швов.

Наиболее показательными испытаниями фрагмента из ребристых плит являются данные экспериментальных исследований под руководством В.А. Клевцова. Испытанию подвергался фрагмент покрытия из трех ребристых плит размером 3×6 м.

На рисунке 10 показаны графики зависимости перемещений соответственно одной ребристой плиты и фрагмента покрытия из трех плит от горизонтальной нагрузки.

Таблица 2 – Определение жесткостных характеристик связей расчетной модели для перекрытия из многопустотных плит

№ п/п	Расчетные условия для плиты	Эскиз расчетной схемы	Исходные данные для определения жесткостных характеристик	Жесткость стержней расчетной модели
1	2	3	4	5
1.	Рядовая плита без продольных и торцевых швов на растворной подушке		$A_{sup(+)} = \frac{2bl_{sup}}{3};$ $N_{tr(+)} = A_{sup(+)}\tau_{max};$ $\tau_{max} = \frac{Q_{sup1}}{A_{sup,tot}} f_{tr};$ $A_{sup,tot} = b \cdot l_{sup};$ $A_{sup(-)} = \frac{1}{3} bl_{sup};$ $N_{tr(-)} = A_{sup(-)}\tau_{max};$ $N_{tr,tot} = A_{sup,tot}\tau_{max}$	$C_1 = \frac{N_{tr,tot}}{\Delta_{tr,tot}} = C_5;$ $C_2 = \frac{N_{tr(+)}}{\Delta_{tr(+)}} = C_4;$ $C_3 = \frac{N_{tr(-)}}{\Delta_{tr(-)}} = C_6$
2.	Рядовая плита без продольных швов на растворной подушке с замоноличенными торцевыми швами		$A_{ef(-)} = \frac{1}{3} bh_p;$ $G = 0,4E_b$	$C_1 = \frac{N_{tr,tot}}{\Delta_{tr,tot}} + \frac{bh_p G}{l_{sup}} = C_5;$ $C_2 = \frac{N_{tr(+)}}{\Delta_{tr(+)}} = C_4;$ $C_3 = \frac{N_{tr(-)}}{\Delta_{re(-)}} + \frac{E_b A_{ef}}{2l_{sup}} = C_6$
3.	Связевая плита на растворной подушке с замоноличенным торцевым швом		$\Delta_{sv} = \frac{Pl_{sv}}{E_s A_{sv}};$ $\Delta_{sz} = \left(1000 \frac{P_{an1}^2}{nd^3 E_b^2} + \frac{P_{an1}}{nd E_b} \right) \varphi_{cc}$	$C_1 = \frac{N_{tr,tot}}{\Delta_{tr,tot}} + \frac{bh_p G}{a_{sup}} = C_5;$ $C_2 = \frac{N_{tr(+)}}{\Delta_{tr(+)}} + \frac{P}{\Delta_{sv} + \Delta_{sz}} = C_4;$ $C_3 = \frac{N_{tr(-)}}{\Delta_{tr(-)}} + \frac{E_b A_{ef}}{2l_{sup}} = C_6$

В таблице 2 приняты следующие обозначения: $A_{sup(+)}$, $A_{sup(-)}$, $A_{sup,tot}$ - площадь эпюры касательных усилий по площадкам опирания, соответственно при перемещении торца плиты от ригеля (+) и к ригелю (-) и площадка опирания; τ_{max} , $N_{tr(+)}$, $N_{tr(-)}$, $N_{tr,tot}$, Q_{sup} - соответственно касательные напряжения, усилие трения при перемещениях от ригеля (+) и к ригелю (-), усилие трения по полной площадке опирания, опорная реакция; E_s , E_b , G , f_{tr} - модуль упругости арматуры, начальный модуль упругости и сдвига бетона, коэффициент трения скольжения; b , h_p , l_{sv} , A_{sv} , $A_{ef(-)}$ - ширина плиты, высота плиты, расчетная длина и площадь сечения связевой арматуры, расчетная площадь сжатия торцевого шва; Δ_{sz} , Δ_{sv} - перемещение закладной детали от усилия в связевой арматуре, удлинение связевой арматуры; $\Delta_{tr(+)}$, $\Delta_{tr(-)}$, $\Delta_{tr,tot}$ - базовые перемещения от трения по экспериментальным данным; P - нагрузка по рисунку 8; l_{sup} - длина опирания; a_{sh} - толщина шва.

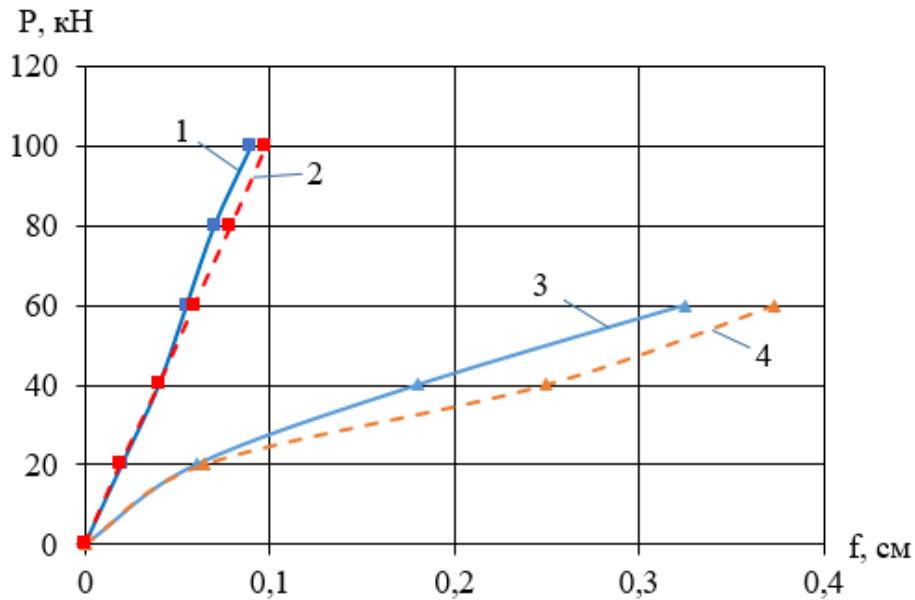


Рисунок 9 – Графики зависимости перемещений от нагрузки P :
 1, 3 – экспериментальные, 2, 4 – расчетные;
 с замоноличенными швами и без заполнения швов, соответственно

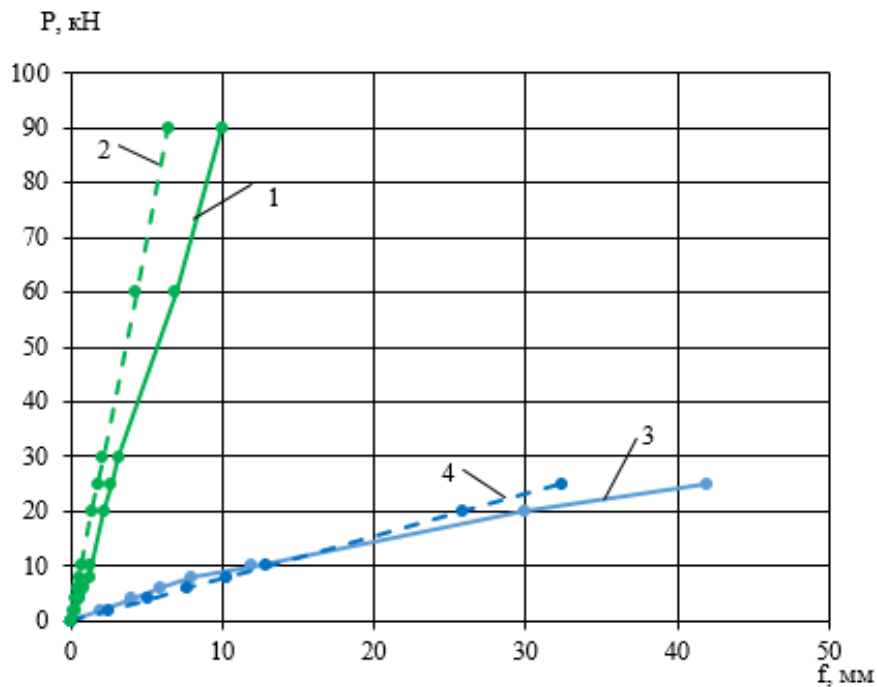


Рисунок 10 – Графики зависимости нагрузка-перемещение в горизонтальной плоскости для одной ребристой плиты (1) и для фрагмента из трех плит (3) по экспериментальным данным Клевцова В.А. и данные, полученные по результатам численных исследований по расчетной модели, соответственно для 1 плиты (2) и фрагмента из трех плит (4)

Проведенные исследования показали приемлемость использования пластинчато-стержневой расчетной модели для описания деформирования элементов сборного перекрытия из многопустотных и ребристых плит при горизонтальных нагрузках. Методика определения жесткостных параметров стержневых элементов расчетной модели позволяет адекватно отражать напряженно-деформированное состояние

фрагмента перекрытия при отсутствии связи по межплитным швам и при их полном заполнении в стадии до проявления неупругих деформаций.

В четвертой главе приведена методика определения поправочных коэффициентов к горизонтальной жесткости плит с учетом деформативности швов. Методика основана на сопоставлении перемещений пластинчато-стержневой модели, разработанной в главе 3, с перемещениями пластинчатой модели перекрытия.

С учетом сдвиговой и изгибной жесткости плиты в своей плоскости, выражение для определения коэффициента к жесткости плиты с учетом взаимодействия плит через межплитные швы имеет вид

$$k_{sh} = \frac{l(3b^2(1 + \mu) + 4l^2)}{12E_b I \left(\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_5} \right) + \frac{S^2}{c_2} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{c_2}{c_6}} \right) + \frac{S^2}{c_3} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{c_3}{c_4}} \right) \right)}, \quad (2)$$

где c_i – податливость связей (см. рисунок 8); $S = (l + 2 a_{sh}) / b$ – геометрическая характеристика плиты (см. рисунок 8); E_b – модуль упругости бетона плиты; I – момент инерции плиты; μ – коэффициент Пуассона бетона.

В выражение (2) вошли параметры всех межплитных швов, геометрия участка перекрытия и физические характеристики материалов. Таким образом теоретически, при назначении податливости диска перекрытия, можно учесть состояние элементов сборного перекрытия и их сопряжений с несущими конструкциями каркаса, а это позволяет учесть расположение ячеек перекрытия в плане здания.

На основании сравнения полученных по методике учета податливости соединений с экспериментальными данными для основной массы перекрытий из многопустотных плит на этапе эксплуатации здания, при многократном воздействии горизонтальных нагрузок, осредненный коэффициент приведения жесткости k_{sh} можно принять равным 0,14-0,3 для диска перекрытия с заполненными швами и 0,03-0,05 для диска перекрытия с незаполненными продольными швами.

В пятой главе даны результаты практического применения разработанной методики при расчете сборных каркасов зданий на горизонтальную нагрузку с учетом податливости швов в сборных дисках перекрытия.

Для демонстрации практического применения приняты два 16-ти этажных здания со связевым каркасом из железобетонных конструкций Московского каталога унифицированных промышленных изделий, разработанных Моспроектом, с симметричным и несимметричным расположением элементов вертикальной жесткости (см. рисунок 11).

В базовом варианте диск перекрытия задавался с полной горизонтальной жесткостью в соответствии с геометрическими размерами, как для монолитного перекрытия. Впоследствии в жесткости дисков учитывалась деформативность швов варьированием поправочных коэффициентов к жесткости плит.

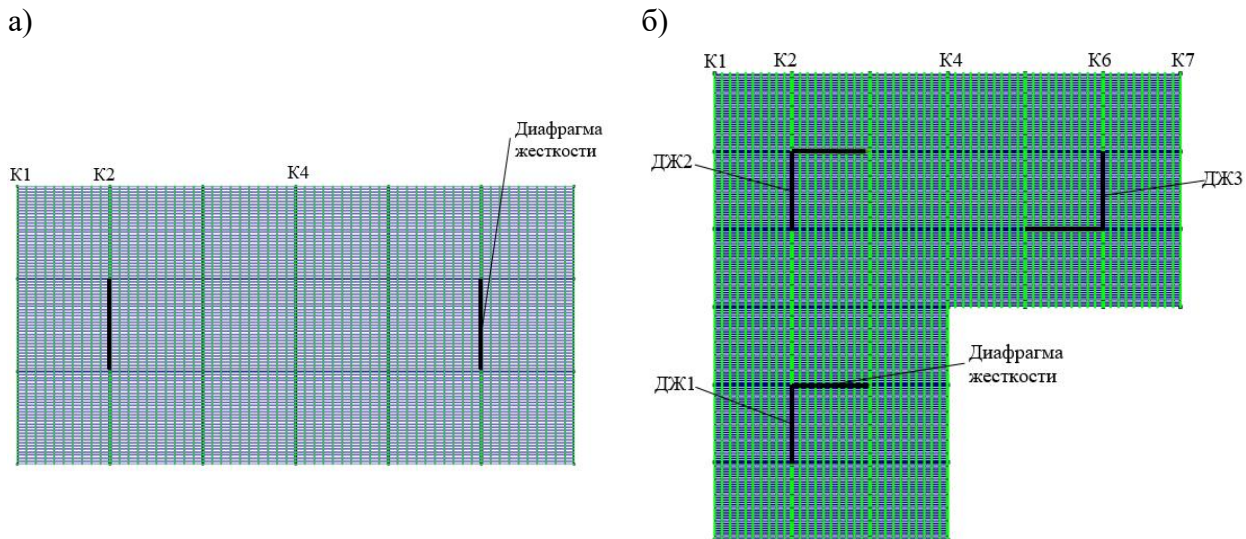


Рисунок 11 – Схема каркаса в плане: а) 36 x 18 м с симметричным расположением вертикальных элементов жесткости (каркас 1); б) 36 x 36 м с несимметричным расположением вертикальных элементов жесткости (каркас 2)

По результатам исследований главы 4 принятые поправочные коэффициенты к жесткости перекрытий приведены в таблице 3.

На стадии эксплуатации здания коэффициенты снижения жесткости перекрытия располагаются в диапазоне значений от 0,15 до 0,3.

К каркасу здания прикладывалась горизонтальная узловая нагрузка к колоннам в уровне перекрытий в соответствии с грузовыми площадями наружного ограждения.

Таблица 3 – Поправочные коэффициенты к жесткости перекрытий

№ п/п	Расчетные условия для диска перекрытия	Поправочный коэффициент к жесткости перекрытия k_{sh}
1.	Продольные швы между плитами не замоноличены	0,05
2.	Продольные швы замоноличены некачественно	0,15
3.	Продольные швы замоноличены полностью	0,25-0,3
4.	Качественное замоноличивание всех швов мелкозернистым бетоном В20	0,5

Относительное увеличение перемещений при различных коэффициентах к жесткости перекрытия по отношению к перемещениям каркаса с жесткими перекрытиями составило от 22 % для каркаса 1 и от 12 % для каркаса 2 при качественно замоноличенных всех швах ($k_{sh} = 0,5$) до 38 % для каркаса 1 и до 33 % для каркаса 2 при некачественно замоноличенных продольных швах ($k_{sh} = 0,15$).

Моменты в вертикальных элементах жесткости возрастают на 7-15 % для каркаса 1 и до 20 (для ДЖ1 и ДЖ2) – 80 % (для ДЖ3) в каркасе 2 (см. рисунок 12), что свидетельствует о перераспределении горизонтальных нагрузок на них, в том числе по высоте. При этом вертикальные усилия в колоннах уменьшаются до 20-50 %, а моменты возрастают до 15 %.

Таким образом, при учете податливости сборных перекрытий в каркасных системах происходит перераспределение усилий, влияющее на работу каркаса, что отмечалось и другими исследователями: с уменьшением жесткости перекрытий при учете податливости швов, уменьшаются вертикальные усилия в колоннах от горизонтальных нагрузок, а моменты в диафрагмах жесткости возрастают. В связи с этим, необходимо обратить внимание на прочностные и жесткостные характеристики диафрагм жесткости, чтобы обеспечить их надежную работу на всех этапах жизненного цикла здания.

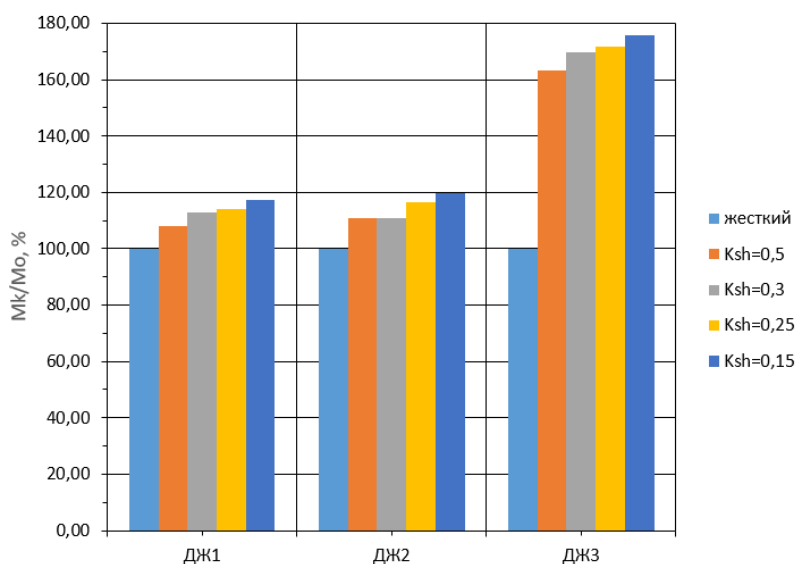


Рисунок 12 – Диаграмма относительных усилий М в диафрагмах жесткости каркаса (каркас 2)

Заключение

По результатам выполненной диссертационной работы сделаны следующие выводы:

1. Исследования в области жесткости сборных дисков перекрытий (покрытий) и результаты многочисленных обследований эксплуатируемых многоэтажных и одноэтажных каркасных зданий из сборного железобетона свидетельствуют, что сборные диски перекрытия и покрытия в своей плоскости обладают существенной податливостью, которая возникает вследствие повышенной деформативности швов и сопряжений в зонах опирания плит на поддерживающие конструкции.

2. Повышенная деформативность торцевых и опорных сопряжений плит перекрытий возникает вследствие нарушения сплошности замоноличенных швов от переменного воздействия температур, временных и постоянных нагрузок при частичной работе на растяжение.

3. Выполненные экспериментальные исследования взаимодействия многопустотных плит по продольным швам подтвердили, что круглые замкнутые шпонки при работе на срез обеспечивают совместное деформирование плит после многократно-повторной вертикальной нагрузки, и не увеличивают податливость диска перекрытия в целом при горизонтальных воздействиях. Такие швы допускается считать абсолютно жесткими.

4. Для определения влияния соединений элементов в диске перекрытия из многопустотных плит на его деформативность в своей плоскости предложена пластинчато-стержневая модель, которая наиболее адекватно отражает схему деформирования плит в составе диска перекрытия при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, и разработана методика определения жесткости деформируемых связей в рассматриваемой модели.

5. При определении жесткостей стержневых элементов в пластинчато-стержневой модели следует учитывать пространственную работу: при замоноличенных торцевых швах необходимо учитывать возникновение распорных усилий от поворота плит, приводящих к деформированию рам каркаса и являющихся определяющим фактором для назначения жесткости стержней.

6. Сопоставление перемещений, полученных на моделях ячеек перекрытия на основе пластинчато-стержневой модели с учетом различного состояния межплитных швов, с результатами экспериментальных исследований деформативности натуральных фрагментов ячеек перекрытий показало удовлетворительную сходимость.

7. Разработана методика определения понижающих коэффициентов к интегральной жесткости сборного перекрытия в своей плоскости при формировании расчетной пространственной модели многоэтажных каркасных зданий с учетом фактического состояния сопряжений элементов сборного перекрытия.

8. Учет податливости сборных перекрытий с учетом фактического состояния узловых сопряжений позволяет более адекватно отражать распределение усилий между несущими элементами каркасной системы и может использоваться проектировщиками как при проектировании, так и при обследовании зданий с каркасной конструктивной системой.

9. Применение уточненных моделей для расчета каркасов, которые учитывают податливость соединений между элементами перекрытий, предоставляет более широкие возможности для оценки количественного и качественного перераспределения усилий между элементами каркаса. Это представляет особенную актуальность для поиска резервов несущей способности элементов каркаса или принятия решения о необходимости усиления. При проектировании вновь возводимых зданий использование таких расчетных моделей позволяет повысить степень надежности конструктивных решений, а также оптимизировать экономические и эксплуатационные показатели, в том числе долговечность.

Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертационной работе результаты, включая методику определения жесткости связей и рекомендации по учету податливости связей в сборных перекрытиях, целесообразно использовать в проектных и научно-исследовательских организациях при проектировании нового строительства, реконструкции и обследовании многоэтажных каркасных зданий.

Перспективы дальнейших исследований

В дальнейшем рекомендуется исследовать влияние податливости соединений не только в сборных перекрытиях каркасных зданий, но и с учетом податливости со-

единений между другими сборными железобетонными конструкциями в многоэтажных каркасных зданиях, в том числе при расчете на вертикальные нагрузки.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК

1. Быбка, А.В. Деформативность межплитных швов в сборных перекрытиях из многопустотных плит /А.В.Быбка, Н.Н.Трекин, А.К.Никозов //Промышленное и гражданское строительство. –2025. -№6. -С.58-64. doi: 10.33622/0869-7019.2025.06.58-64.

2. Трекин, Н.Н. Влияние состояния межплитных швов перекрытий на деформативность многоэтажных связевых каркасов [Электронный ресурс] /Н.Н.Трекин, А.В.Быбка //Инженерный вестник Дона. -2026. -№1. Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2026/10705.

Патенты

3. Устройство для усиления ригеля связевого каркаса [Текст]: Пат. RU 2324039 С2 Российская Федерация, МПК E04G 23/02 /Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Быбка А.В.; заявитель и патентообладатель: Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Быбка А.В. (RU); приоритет 24.04.2006; опубл. 10.05.2008, бюл. №13.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, WEB of Science и др.

4. Trekin, N. Evaluation of the impact of compliance of precast discs of overlapping on the work of the frame of a multi-storey building [Электронный ресурс] /N.Trekin, E.Kodysh, A.Bybka, A.Yamalov, N.Konkov //XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019); E3S Web Conf. -2019. -Volume 97. Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704022>.

5. Trekin, N. Account of compliance of precast disk of overlapping in the calculation of frames [Электронный ресурс] /N.Trekin, A.Bybka //XXVI International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2023), Tashkent city, Republic of Uzbekistan, Edited by Ter-Martirosyan, A.; Bazarov, D.; E3S Web of Conferences. -2023. -Volume 410. -id.02019. Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341002019>.

Публикации в других научных изданиях и журналах

6. Трекин, Н.Н. Пространственная работа дисков перекрытий из сборных железобетонных плит /Н.Н.Трекин, А.В.Быбка //Повышение качества среды жизнедеятельности города и сельских поселений архитектурно-строительными средствами: Сборник научных трудов. – Орел: Издательство ОрелГАУ, 2005. -С.54-57.

7. Быбка, А.В. Учет податливости дисков перекрытий в пространственных расчетных моделях /А.В.Быбка, Д.А.Пименов //Совершенствование архитектурно-строительных и инженерных решений зданий и сооружений: Сб. научных трудов ОАО «ЦНИИПромзданий». –Москва: ОАО «ЦПП». -2011. –С.4-9.

8. Трекин, Н.Н. Учет податливости дисков перекрытий в пространственных расчетных моделях /Н.Н.Трекин, Э.Н.Кодыш, А.В.Быбка, Д.А.Пименов //Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво)/

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. Вип.74: В 2-х кн.: Книга 1. –Київ: ДП НДІБК. -2011. -С.167-171.

9. Трекин, Н.Н. Учет податливости сопряжений сборных железобетонных элементов при расчете многоэтажных каркасов /Н.Н.Трекин, А.В.Быбка //Современные проблемы расчета и проектирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий: сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения П.Ф.Дроздова /под ред. проф. А.Г.Тамразяна; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет». -Москва: МГСУ. -2013. -С.256-263.

10. Трекин, Н. Н. Оценка влияния податливости сборных дисков перекрытий на работу каркаса многоэтажного здания / Н.Н.Трекин, А.В.Быбка, А.В.Ямалов // Научное обозрение. – 2017. – № 13. – С. 23-26.

11. Трекин, Н.Н. Учет податливости сборных дисков перекрытий при моделировании многоэтажных каркасных зданий /Н.Н.Трекин, А.В.Быбка //Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство: Сборник тезисов докладов. Москва, 11–13 апреля 2023 года. -Москва: АО «НИЦ «Строительство». -2023. -С.158-159.

12. Трекин, Н.Н. Моделирование податливых соединений плит сборных дисков перекрытий /Н.Н.Трекин, Э.Н.Кодыш, А.В.Быбка //Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума /ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». –Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В. -2023. -С.180-182.

Быбка Александр Васильевич

ЖЕСТКОСТЬ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
04.06.2026 г.

Заказ №М2.13-3

Формат 60x90/16
Тираж 80 экз.

Усл. печ. л. – 1,5

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский
и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооруже-
жений – ЦНИИПромзданий»

127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, дом 46, корп.2
