

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

(наименование)

08.04.01 «Строительство»

(код и наименование направления подготовки)

Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Предложение, разработка и экспериментальное обоснование
эффективности облегчённой конструкции монолитного перекрытия со
сферическими пустотообразователями

Студент

Д.А. Долгополов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., доцент, Д.С. Тошин

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ основных типов железобетонных плит перекрытия	7
1.1 Общие сведения о железобетонных плитах перекрытия.....	7
1.2 Преимущества и недостатки плит перекрытия.....	15
1.3 Требования, предъявляемые к плитам перекрытия.....	17
Глава 2 Подготовка к испытаниям	20
2.1 Основные виды испытаний.....	20
2.2 Подходящий под условия и техническую базу вид испытания... ..	22
2.3 Установка для проведения испытаний	22
2.4 Описание образцов и требования к ним.....	26
2.5 Методика проведения испытаний	27
2.6 Техника безопасности при проведении испытаний	33
Глава 3 Проведение испытаний моделей монолитных плит.....	36
3.1 Изготовление образцов для испытания	36
3.2 Подготовка моделей монолитных плит к испытаниям.....	48
3.3 Проведение испытания модели плиты сплошного сечения	53
3.4 Проведение испытания модели плиты со сферическими пустотообразователями	58
Глава 4 Оценка результатов испытаний моделей плит.....	64
4.1 Сравнение полученных характеристик моделей плит в результате испытаний	66
4.2 Экспериментальное обоснование эффективности облегчённой конструкции монолитной плиты со сферическими пустотообразователями.....	68
Заключение	73
Список используемой литературы и используемых источников.....	75
Приложение А Нормативные и расчётные нагрузки перекрытия	80

Введение

Актуальность работы. В современном строительстве, реконструкции общественных и жилых, промышленных зданий и сооружений широко применяются самые разные виды железобетонных плит перекрытий – сборные и монолитные, различной формы и размера. Плиты перекрытия отвечают определенным требованиям и строительным нормам, и таких требований с каждым годом становится все больше и больше. Это обусловлено развитием науки и техники, позволяющим проектировать и возводить технически сложные здания и сооружения.

Требования разнообразны от формы перекрытия до состава применяемого бетона. Мы остановимся на таком параметре, как вес конструкции и рассмотрим его подробнее.

Облегчение веса конструкции без ущерба для надежности – актуальный вопрос. Именно ему посвящена данная магистерская диссертация.

Степень разработанности темы. Данная тема мало изучена в силу устаревшего консервативного мышления проектировщиков и Заказчиков. Порой для выбора типа перекрытия пересекаются интересы производителей арматурной стали и бетонной смеси, сборных изделий из железобетона. Кроме этого, можно говорить и о слабой финансовой поддержке новаторов-проектировщиков.

Объектом исследования является монолитная плита со сферическими пустотообразователями.

Предметом исследования магистерской диссертации является несущая способность, жесткость, трещиностойкость монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями.

Цель исследования заключается в разработке конструктивного решения и экспериментальная оценка образца модели монолитной плиты со сферическими пустотообразователями и его сравнение с образцом модели

монолитной плиты сплошного сечения по несущей способности, жесткости и трещиностойкости.

Гипотеза исследования состоит в том, что при строительстве зданий и сооружений, возможно облегчать вес конструкций без ущерба для их надежности, при помощи введения в их структуру сферических пустотообразователей.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

- анализ основных типов железобетонных плит перекрытия;
- разработка конструкции облегчённой монолитной плиты со сферическими пустотообразователями;
- получение партии образцов моделей железобетонных плит сплошного сечения и со сферическими пустотообразователями;
- определение экспериментальным путем несущей способности, жесткости, трещиностойкости образцов моделей монолитных железобетонных плит сплошного сечения и со сферическими пустотообразователями;
- сравнение полученных в результате испытаний характеристик образцов моделей плит;
- разработка рекомендаций по применению облегченного монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями в строительстве.

Методы исследования:

- поиск, подбор и изучение необходимой литературы, связанной с темой диссертации.
- экспериментальное обоснование эффективности использования облегченной железобетонной монолитной плиты со сферическими пустотообразователями.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- разработка нового типа облегчённой железобетонной монолитной плиты со сферическими пустотами;

- получение в результате эксперимента (испытание плиты, опирающейся по четырем сторонам) характеристик нового типа облегчённой железобетонной монолитной плиты со сферическими пустотами, не уступающих характеристикам железобетонной монолитной плиты сплошного сечения.

Практическая значимость исследования (по результатам магистерской диссертации) состоит в подтверждении экспериментальным методом эффективности использования при строительстве зданий и сооружений облегчённой железобетонной монолитной плиты со сферическими пустотообразователями.

Достоверность результатов исследований обеспечивается проведением стандартизированных испытаний железобетонных плит по определению показателей их прочности, жесткости и трещиностойкости. При этом предварительно была определена прочность бетона плит при помощи разрушающих испытаний образцов-кубов в соответствие с действующими нормативами.

Личное участие автора в исследовании. Автор изготовил образцы моделей железобетонных плит, в том числе кубы для определения класса бетона этих моделей плит, также осуществлял уход за образцами в процессе их затвердевания (а именно: контролировал и создавал для них нормальные условия твердения). После этого, осуществил доставку образцов к местам их испытаний.

На основе полученных результатов испытаний, обосновал эффективность облегченной конструкции монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями.

В общем можно сказать, что в данной работе рассмотрены основные виды лабораторных испытаний железобетонных конструкций с целью выбрать наиболее подходящий для испытания образцов моделей плит, подобрать необходимое оборудование и вспомогательные устройства. Для этого проанализирована необходимая литература, выполнены мероприятия

по ознакомлению с устройством, которое применено в испытаниях, представлена модель железобетонной монолитной плиты со сферическими пустотообразователями.

Апробация результатов исследования.

Были опубликованы 2 статьи в периодическом издании, где представлены основные результаты по проделанной работе.

На защиту выносятся:

- анализ и сопоставление результатов испытаний модели железобетонной плиты сплошного сечения и модели плиты со сферическими пустотообразователями по показателям прочности, жесткости и трещиностойкости;
- обоснование эффективности облегченной конструкции монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями.

Структура магистерской диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, содержит 39 рисунков, 6 таблиц, список использованной литературы (36 источников). Общий объем работы 80 страниц машинописного текста.

Глава 1 Анализ основных типов железобетонных плит перекрытия

1.1 Общие сведения о железобетонных плитах перекрытия

Железобетонные плиты перекрытия нашли широкое применение в современном строительстве. Они предназначены для возведения перекрытий в зданиях и сооружениях разной этажности и создают несущую конструкцию в здании. Плиты перекрытия укрепляют арматурой для повышения несущей способности и предотвращения разрушений [7].

Плита перекрытия представляет собой горизонтальную конструкцию в общественных, жилых, производственных зданиях и сооружениях. Она разделяет здание на этажи, воспринимает и передает нагрузки [26]. При её разработке стремятся к повышению несущей способности и жесткости [5], [34].

Плиты перекрытия производят из разного вида бетона, в зависимости от требуемой нагрузки будущей конструкции [8]. Плиты различаются по толщине, форме, наличию пустот и их диаметру.

Рассмотрим основные виды железобетонных плит перекрытия.

Сборные железобетонные плиты

Сборные железобетонные плиты перекрытия производят на заводе-изготовителе и на строительную площадку доставляют в уже готовом для монтажа виде.

Перекрытия в форме настилов представляют собой одинаковые элементы, уложенные вплотную и скрепленные цементным раствором.

Они делятся на типы по следующим категориям: виду поперечного сечения и способу армирования.

Поперечное сечение может быть:

- сплошное,
- многопустотное,
- ребристое.

Способы армирования:

- ненапряженная арматура,
- предварительно напряженная арматура.

Сплошные плиты

Сборные железобетонные плиты сплошного сечения считаются самыми прочными из всех видов плит, которые используют для перекрытий. Такие плиты применяют в перекрытиях между этажами в таких постройках, которые предполагают перекрестное расположение несущих стен. Плиты опираются по периметру или по трем сторонам (рисунок 1) [4].

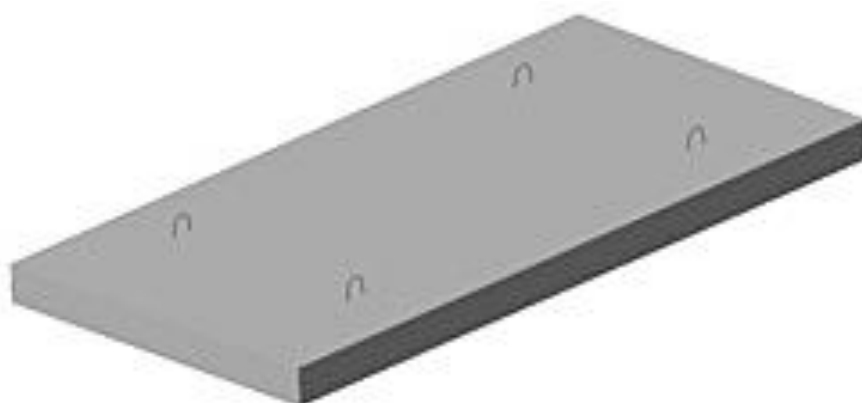


Рисунок 1 – Сборная железобетонная плита сплошного сечения

Их гладкая поверхность обеспечивает легкость отделки, как потолков, так и простоту укладки напольных покрытий.

Многopустотные плиты

Многopустотные плиты – самые распространенные. Они изготавливаются длиной до 12 метров и используются в строительстве зданий, в которых запроектировано продольное расположение несущих стен.

Длина пролета влияет на толщину плиты. Так при длине пролета 4 метра, толщина плиты принимается 160 мм, а если длина пролета превышает 4 метра, то используется плита, имеющая толщину 220 мм.

Многopустотные плиты перекрытия называются так из-за того, что имеют продольные или вертикальные, круглые или овальные пустоты (рисунок 2).

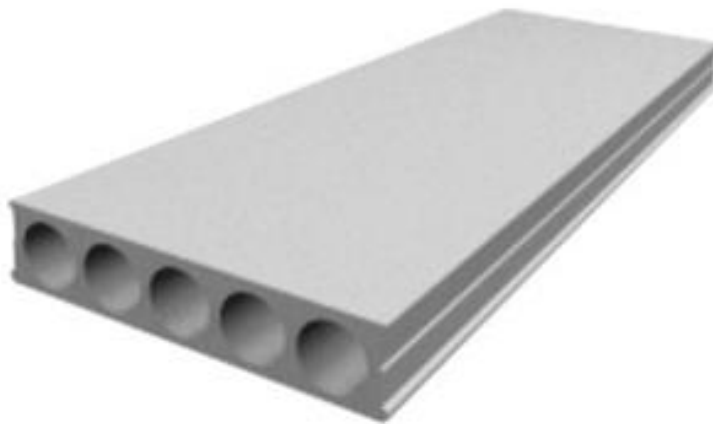


Рисунок 2 – Сборная железобетонная многopустотная плита

Хочется отметить, что в 2018 году в статье «Experimental and Numerical Analysis of The Used Hollow Slab», что переводится как «Экспериментальный и численный анализ эксплуатированной полый плиты» был проанализирован изгиб пустотелых плит длиной 16 м. На основе экспериментальных данных, полученных из анализа параметров материала, была создана трехмерная модель нелинейного анализа конечных элементов старой полый плиты с использованием моделей трещин при полной деформации. В этой статье были измерены фактические свойства материала старой полый плиты и была сравнена предельная несущая способность и развитие трещин в ходе испытания и численного моделирования. Основные выводы заключались в следующем:

- стальной пучок – это вид предварительно напряженного материала со стабильными эксплуатационными характеристиками, который может сохранять хороший эффект предварительного напряжения в течение

длительного времени, после 10 лет использования его механические свойства оказались все еще относительно стабильны;

- после 10 лет эксплуатации из-за долговременного кумулятивного повреждения старой полый плиты ее жесткость уменьшилась, но она все еще сохраняла хорошую предельную несущую способность, которая могла соответствовать требованиям использования;
- модель трещин полного деформирования может хорошо имитировать нелинейность бетонных материалов, может эффективно определять предельную несущую способность железобетонных конструкций и точно моделировать развитие трещин [36].

Ребристые плиты

Ребристые плиты перекрытия представляют собой сплошную плиту с ребрами в одном или двух направлениях. Такие плиты перекрытия используют при строительстве промышленных зданий или применяют в покрытиях чердаков (рисунок 3).



Рисунок 3 – Сборная железобетонная ребристая плита

Благодаря своей форме, такие плиты лучше всего работают на изгиб, потому что в области растяжения количество бетона минимально – он весь локализован в области сжатия.

Монолитные железобетонные плиты

Монолитные железобетонные плиты отличаются от сборных тем, что их возводят непосредственно на строительной площадке.

Такие перекрытия применяют в строительстве зданий, имеющих сложную форму в плане или если имеют место большие нагрузки.

Выполняют монолитные перекрытия по установленной опалубке прямо на строительной площадке. В опалубку укладывают арматуру, и производят заливку бетона. Благодаря этой технологии, конструкция может иметь различную форму, в зависимости от проекта. Поэтому их чаще используют при строительстве нестандартных зданий и сооружений.

Монолитные перекрытия так же разделяются на несколько типов:

- безбалочные перекрытия – сплошные плиты, точки опирания которых приходится на колонны. Для обеспечения требуемой жесткости и для равномерного распределения нагрузок, приходится уменьшать пролеты в местах опирания;
- балочные перекрытия опираются на балки, а уже балки, в свою очередь, опираются на колонны. В этом случае именно балки несут на себе основную нагрузку. Их располагают вдоль или поперек здания, или в том и в другом направлении сразу. Размеры балок определяются по расчету и зависят от шага колонн;
- ребристые перекрытия являются облегченным типом перекрытий. Они включают в себя главные и второстепенные балки. Плита опирается на второстепенные балки, второстепенные на главные, а главные на колонны. В такой конструкции именно главные балки передают нагрузку.

Основные типы плит перекрытия – это, своего рода, основа, изменяя которую можно добиться улучшения характеристик конструкции [24].

Одна из новых разработок для получения облегчённых конструкций – технология «BubbleDeck». Это сборное монолитное перекрытие с неизвлекаемыми пустотелыми вкладышами, служащими пустотообразователями. Здесь заменой (20-40) % объема бетона из массы конструкции достигается уменьшение ее веса. Удаленный бетон никоим образом не принимает участия в работе конструкции, поэтому его удаление не ухудшает прочностные характеристики здания в целом. Дополнительным преимуществом такой технологии является экономическая выгода от уменьшения количества требуемой бетонной смеси (в том числе его доставки) [6].

Такая конструкция представляет собой сборное монолитное двухосное несущее пустотное перекрытие, в котором бетон заменяется пластиковыми шарами, выполненными из полиэтилена высокого давления (рисунок 4).

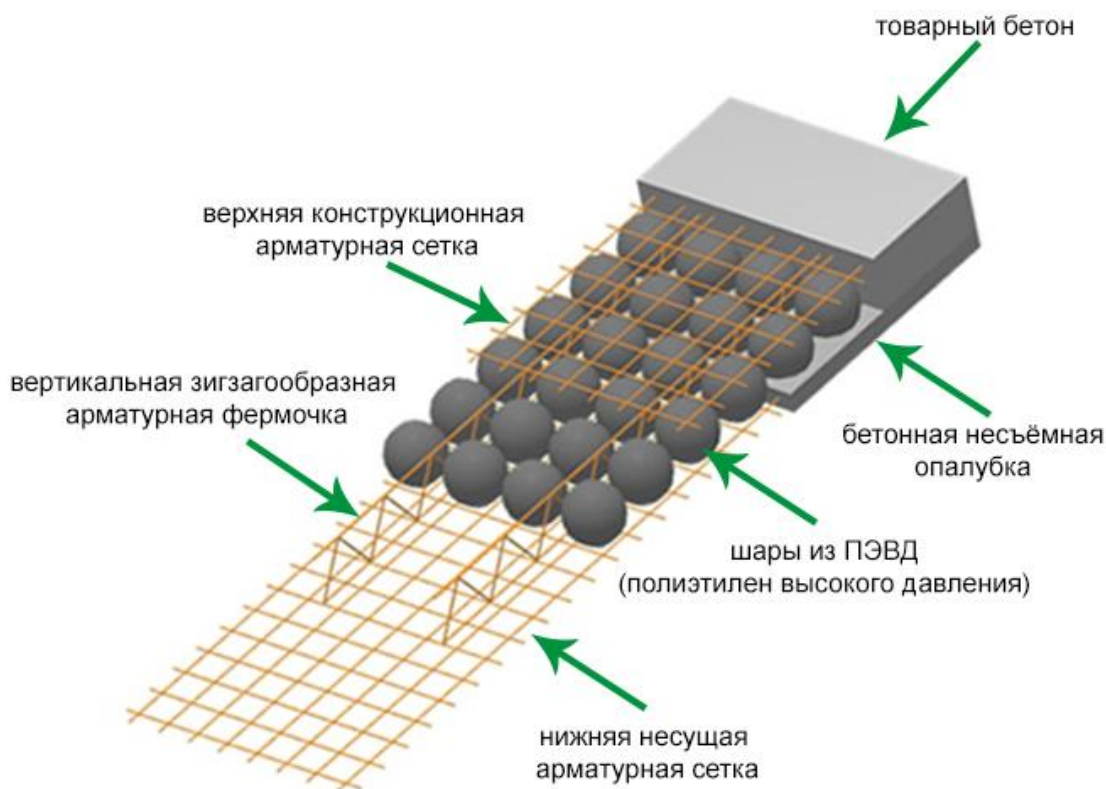


Рисунок 4 – Схема плиты «BubbleDeck»

В свою очередь BubbleDeck подразделяются на 3 типа:

- А, представлен готовой нижней плитой перекрытия, выглядящей как сборная железобетонная конструкция, в которую утоплены полипропиленовые вкладыши (рисунок 5);



Рисунок 5 – Плита «BubbleDeck», тип А

- В, представляет собой плоские арматурные модули из вкладышей и самого арматурного каркаса, которые устанавливают в опалубку непосредственно на площадке, после чего производят бетонные работы (рисунок 6);

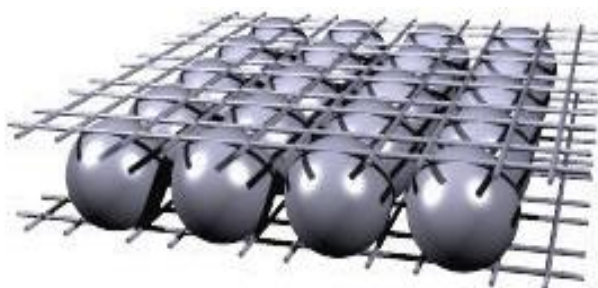


Рисунок 6 – Плита «BubbleDeck», тип В

- С, представлен уже готовыми сборными железобетонными плитами, изготовленными на заводе, подготовленными к доставке на строительную площадку (рисунок 7).

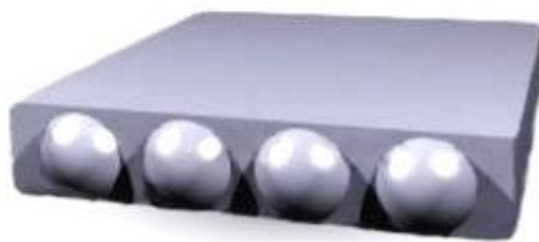


Рисунок 7 – Плита «BubbleDeck», тип С

Пластиковые шары – вкладыши, представляют собой полые шары в форме сферы или эллипса, изготовленные из полиэтилена, поливинилпропилена или поливинилхлорида. Диаметр вкладышей варьируется от 18 до 36 см и зависит от толщины изготавливаемой плиты перекрытия. Их, как видно из рисунков 5-6, равномерно распределяют внутри арматурного каркаса, а за счет специальных форм ячеек у верхней и нижней сеток, шары не теряют проектного положения [6].

Данная технология нова для нашей страны, в то время как уже в начале двадцатого века была разработана пустотелая плита с использованием сегментированных образателей пустот, в виде сферических или овальных пластиковых шаров в середине плиты. Ожидалось, что сегментированные пустоты формируют направленность плиты, уменьшают ее вес с сохранением её способности при изгибе. Такая плита может уменьшить вес на 35 % по сравнению с полнотелой плитой с той же способностью на изгиб (Mota 2010).

Были проведены различные тесты для оценки поведения пустотных плит при изгибе. В исследованиях (BubbleDeck Technology 2008; Kim и соавт. 2009; Chung и соавт. 2010, 2014; Midkiff 2013), пустотные плиты показали одинаковую прочность и немного ниже жесткость по сравнению с обычной полнотелой плитой в анализах одностороннего изгиба. Corey (2013) сообщил, что прочность на изгиб пустотной плиты с пустотами в форме сферы такая же, как у полнотелой плиты, если зона сжатия при изгибе не попадает в зону расположения пустоты в плите; а также жесткость на изгиб этой пустотной

плиты составляет приблизительно (80-90) % по сравнению с полнотелой плитой из-за потери поперечного сечения, вызванной пустотами.

Такие же результаты были получены при испытании на изгиб двухсторонних пустотных плит. Как сообщает Ibrahim и соавт. (2013), пустотная плита с пустотами в форме сферы вела себя как обычная полнотелая плита. Пустотная плита выдерживала (89-100) % предельной нагрузки полнотелой плиты и показала немного меньшую жесткость, чем полнотелая плита. Wondwosen (2014) сделал вывод, испытывая пустотную плиту с пустотами в форме сферы, что жесткость при изгибе в плоскости изогнутой плиты уменьшилась на 20 % по сравнению с полнотелой плитой. Тем не менее, эти исследования были сосредоточены только на прочности на изгиб и жесткость пустотных плит, без учета распределения нагрузки в разные направления. Общее предположение о двухсторонней конструкции плиты, что нагрузка будет распределенной, влияние на несущие способности при распределении нагрузки в разных направлениях таких двусторонних пустотных плит еще не проверено. Тем не менее, из-за преимуществ пустотных плит с использованием сегментированных пустот, в настоящее время разработаны различные типы пустотных плит, как в теории, так и на практике [33].

1.2 Преимущества и недостатки плит перекрытия

И сборные, и монолитные плиты перекрытия имеют свои достоинства и недостатки, исходя из которых те или иные виды перекрытий используют в разных постройках.

Рассмотрим плюсы и минусы сборных плит перекрытия.

К положительным характеристикам можно отнести легкость монтажа таких плит, так как на строительную площадку их привозят в готовом виде. Так же им не страшны влага и сырость, они не боятся горения и деформации.

Кроме того, после укладки плит можно сразу заниматься их отделкой – не нужно ждать времени усадки.

Недостатками сборных плит перекрытия являются их установленные размеры – такие плиты рассчитаны на определенную длину пролета. Они ограничены по форме. Изготовление нестандартных плит перекрытия – дорогое удовольствие.

Монолитные плиты перекрытия, так же, как и сборные, не боятся влаги и огня. Кроме того, такие перекрытия используют в постройках сложных форм, они не привязаны к типовым размерам. Не малую роль играет их экономическая доступность.

К недостаткам использования монолитных перекрытий относится трудозатратность при монтаже. Требуется опалубка, необходимо время на усадку бетона, уход за бетоном.

Перекрытия, созданные по технологии «BubbleDeck» совмещают в себе многие положительные стороны бетонных перекрытий и исключают множество недостатков. По утверждению автора данной технологии, при использовании «BubbleDeck» можно выделить следующие преимущества:

- перекрытие является бесшовным, а значит, не пропускает воду;
- по той же причине вода не проникает в пустоты плит (в сравнение с многопустотными плитами);
- возможность изготовления изделий и конструкций любой конфигурации;
- простота монтажа позволяет сэкономить здесь на квалификации рабочих;
- экономия на доставке за счет легкости плит;
- быстрота возведения;
- экологичность при производстве: экономия энергии и снижение вредных выбросов;

- отсутствие ригелей, даже при планировании значительных пролетов в здании (благодаря легкости и двухосности данной системы), позволяет создать большое открытое и практичное пространство;
- возможность использования длинных консолей, позволяет строить здания с открытыми фасадами;
- технология представляет собой обычное монолитное перекрытие, но со значительной экономией бетона, что ведет к уменьшению веса конструкции и сокращению затрат на возведение зданий и сооружений, без потери несущей способности.

1.3 Требования, предъявляемые к плитам перекрытия

К железобетонным перекрытиям, как к сборным, так и к монолитным, всегда предъявлялись определенные требования о прочности, надежности, экономической выгоды, безопасности, в первую очередь. Сейчас строительство так же устанавливает требования, которым должны отвечать современные конструкции.

К плитам перекрытий предъявляют следующие требования:

- перекрытия зданий и сооружений должны иметь достаточную прочность и жесткость для того, чтобы выдержать нагрузку от собственного веса и от воздействия статических и динамических нагрузок, величина которых определяется по расчету исходя из назначения здания;
- перекрытие должно быть спроектировано так, чтобы от воздействия нагрузок не прогибаться больше, чем допустимо по нормам;
- возведение перекрытий должно быть по возможности наименее трудозатратно и наиболее экономически выгодно [28], [29];
- существуют нормы и специальные указания звукоизоляции в зависимости от назначения здания, которым должно отвечать

- перекрытие, и обеспечивать звукоизоляцию от ударов или воздушного шума [35];
- требования теплозащиты предусматривают то, что перекрытия будут обеспечивать теплозащиту между помещениями с разными температурами, например, между холодным подвалом и первым этажом и в местах сопряжений перекрытий с наружными стенами не будут образовываться утечки тепла и не будет появляться конденсат [32];
 - высота перекрытия имеет большое значение – она должна быть возможно минимальной, так как ее увеличение означает увеличение кубатуры здания, а отсюда и повышается стоимость здания;
 - вид, качество и толщина антикоррозионных покрытий поверхностей изделий должны соответствовать предусмотренным в рабочей документации. В случаях, предусмотренных в стандартах или рабочей документации на изделия конкретных видов, антикоррозионные покрытия должны соответствовать требованиям адгезии к бетонной поверхности и паропроницаемости;
 - класс пожарной опасности и предел огнестойкости изделий должны соответствовать установленным в необходимых случаях в стандарте или рабочей документации с учетом назначения и предусматриваемой области применения изделий [12].

Стоит отметить, что раздел 24.2 кодекса ACI (комитет ACI 318, 2014 г.) начинается с общего заявления о том, что «элементы, подвергаемые изгибу, должны иметь достаточную жесткость для ограничения прогибов или любых деформаций, которые неблагоприятно влияют на прочность или исправность конструкции». С увеличением использования высокопрочных материалов, более длинных пролетов и, как следствие, более тонких конструктивных элементов, контроль прогиба становится все более значительным аспектом структурного проектирования и приводит к предложению более рационального подхода к проектированию для контроля прогиба. Бетонная

промышленность и инженерное сообщество заинтересованы в том, чтобы производить бетонные конструкции, которые не только имеют достаточный запас прочности от разрушения, но и обеспечивают приемлемые эксплуатационные характеристики при минимальных затратах (анализ минимальных затрат) [31].

Выводы по первой главе

Плиты перекрытия – важная конструкция зданий и сооружений. Плита перекрытия несет и передает нагрузку, является каркасом здания.

Различные разработки в сфере проектирования плит перекрытия нацелены на уменьшение веса перекрытий, на уменьшение количества используемого бетона, что автоматически снижает стоимость конструкции и положительно сказывается на экономической стороне строительного производства [1].

Кроме удешевления, важными факторами являются повышение звукоизоляции и теплоизоляции [32]. Этому способствуют многопустотные плиты, но из-за их ограничения в размерах и форме, не всегда удобно их использовать.

Плиты перекрытия, созданные по технологии «BubbleDeck» – малоизученная конструкция, несмотря на то, что в России существует представительство зарубежной компании «BubbleDeck International A\S». Существует необходимость провести испытания аналогичной конструкции, изучить несущую способность, трещиностойкость и жесткость, чтобы научным методом подтвердить эффективность применения данной конструкции плиты перекрытия [30].

В случае, если результаты испытаний окажутся положительными, облегчённая монолитная плита перекрытия со сферическими пустотообразователями, станет удобной, практичной и экономически выгодной конструкцией, которая позволит возводить сложные, но безопасные и комфортные здания и сооружения.

Глава 2 Подготовка к испытаниям

Цель – выбрать наиболее подходящий метод испытания разработанной модели плиты со сферическими пустотообразователями при имеющейся технической базе, подготовиться к испытаниям по программе согласно выбранному методу.

Поставлены следующие задачи:

- анализ необходимой специальной литературы;
- ознакомление с основными видами испытаний конструкций;
- выбор необходимого вида и метода испытаний;
- подбор необходимых механизмов, оборудования, вспомогательных устройств для проведения испытаний;
- описание модели монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями.

2.1 Основные виды испытаний

В процессе эксплуатации строительной конструкции, а также при действии на нее агрессивных внешних факторов, происходят качественные изменения первостепенных свойств, как всей конструкции, так и материалов, из которых она состоит. С целью своевременного определения таких дефектов, а также для определения соответствия всем настоящим требованиям безопасности и осуществляют испытания строительных конструкций и сооружений [23].

В соответствии с поставленными задачами такие экспериментальные исследования отличаются по назначению, характеру внешнего воздействия, по видам испытаний и теоретической схеме.

В зависимости от действия на конструкцию внешних факторов и их интенсивности принято различать:

– испытания методом статической нагрузки (тестируемые конструкции постепенно и в заданном порядке загружают неподвижными нагрузками, при этом производят постепенное нарастание этих нагрузок);

– испытания методом динамической нагрузки (данный метод подразумевает применение переменных или пульсирующе-вибрационных нагрузок, которые создаются специальными приспособлениями (вибромашинами), или же с помощью перемещающихся грузов или ударных нагрузок).

В зависимости от способа исследования и условий обследования принято различать такие типы испытаний конструкций:

- тестирования образцов материалов, проводимые в лабораторных условиях;
- испытания моделей конструкций, данные испытания особо нужны и важны при создании конструкций и сооружений по новым проектным разработкам;
- натурные испытания, этим методом принято обследовать конструкции в ходе их возведения, а также во время непосредственной эксплуатации.

Экспериментальные исследования строительных конструкций с точки зрения их назначения могут быть следующими:

- исследования, при которых производится оценка соответствия проектной документации или нормативной документации. Применяется для нововозведенных сооружений на этапе сдачи в эксплуатацию. При этом определяется их жесткость, несущая способность, стойкость к появлению трещин, а также соответствие нормам при приемке в эксплуатацию;
- испытания уже эксплуатируемых конструкций, которые проводятся для выявления показателей их настоящей несущей способности, жесткости и стойкости к образованию трещин для заключения о

работоспособности или в связи с проводимыми работами по усилению [27];

- исследования, проводимые в ходе научных исследований, которые являются важной составной частью экспериментальных и теоретических мероприятий;
- проведение прочностных и пожарных испытаний конструкций непосредственно, перед тем как запустить их в серийное производство;
- испытания, нацеленные на установление качества отбираемых (массово выпускаемых) образцов, которые в последствии будут применяться в строительстве.

Проверки строительных конструкций по теоретической схеме делятся на:

- линейные нагрузки, направленные на растяжение или сжатие;
- плоские, определяющие изгиб всех конструктивных элементов;
- пространственные, со смещением узлов тестируемой конструкции.

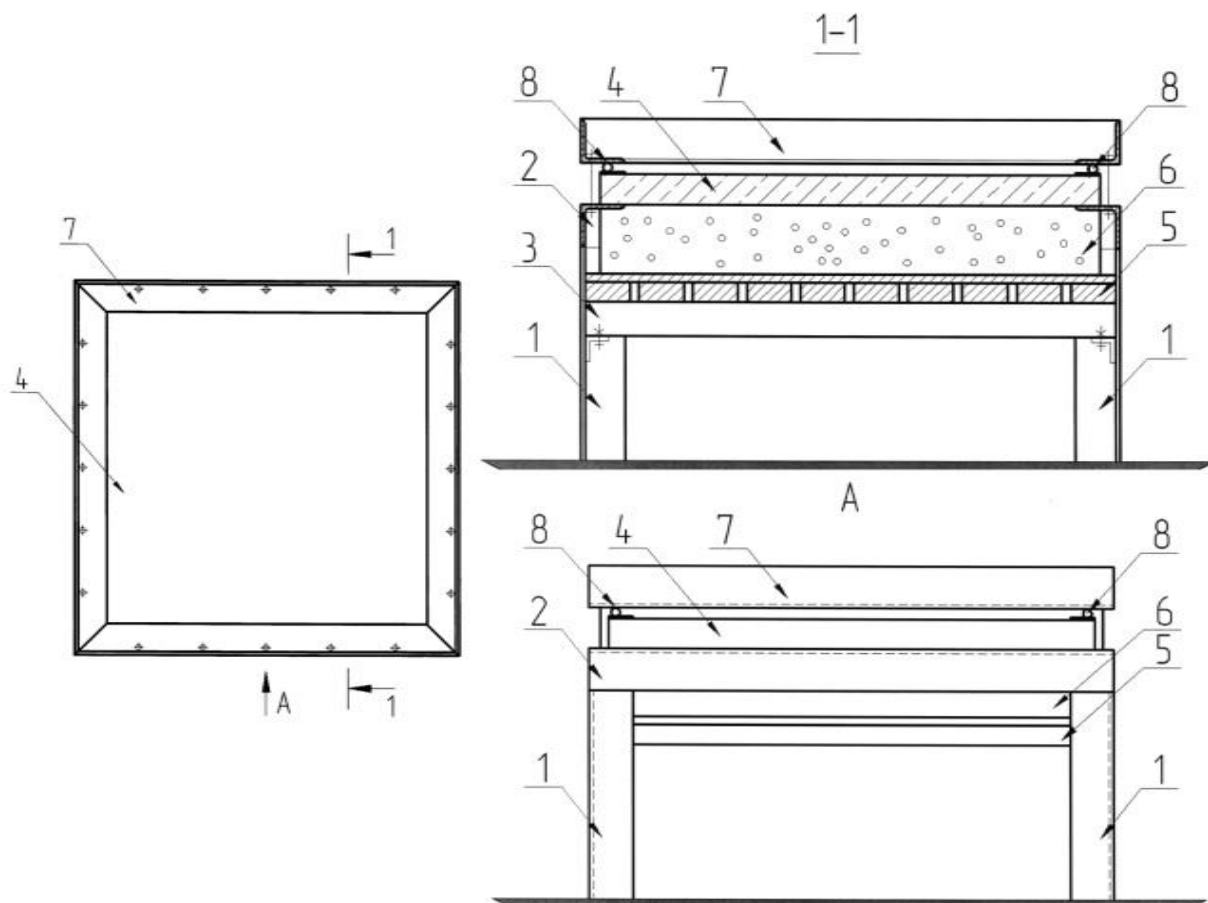
2.2 Подходящий под условия и техническую базу вид испытания

В связи с тем, что в любом испытании важна экономическая составляющая, соответственно наиболее приемлемым вариантом является испытание моделей конструкций уменьшенного масштаба [2]. Также этот вид испытания не противоречит, а скорее согласуется с технической базой. Испытание модели плиты проводится статической нагрузкой на изгиб [25], [30].

2.3 Установка для проведения испытаний

Исходя из требуемых условий для испытаний плиты на изгиб, применяется стенд для испытания плоских конструкций, который позволит

получить регулируемую и неизменную для каждой ступени нагрузку (Пат. № 166196 Российская Федерация, В.А. Ерышев, М.И. Полева) [21]. Данный стенд позволяет применять нагрузки, наиболее приближенные к настоящим (рисунок 8).



А – вид сбоку; 1-1 – разрез:
 1 – стойки; 2 – верхняя платформа; 3 – перемычки; 4 – испытываемая конструкция;
 5 – опорный щит; 6 – нагружающее устройство; 7 – плоская рама; 8 – шаровые опоры;
 9 – болты крепления.

Рисунок 8 – Стенд для испытания плоских конструкций

Поставленная задача решается тем, что создается пространственная рамная конструкция с замкнутым силовым контуром и нагружающее устройство. Силовой контур выполнен из четырех стоек (1), которые соединяются между собой верхней платформой (2) и перемычками (3),

образуя пространственную рамную конструкцию. На замкнутый контур платформы устанавливается испытываемая конструкция (4), на перемычки - опорный щит (5), на который укладывается нагружающее устройство в виде мешка из прорезиненной ткани (6). Болтовым соединением на платформе закрепляется плоская рама (7) и через шаровые опоры (8), обеспечивающие граничные условия по периметру, обжимается испытываемая плоская конструкция (4). При подаче под давлением в силовой мешок воздуха от компрессора равномерно распределенная нагрузка с одной стороны прикладывается на всю площадь испытываемой конструкции, деформации которой контролируются с помощью приборов, с другой стороны нагрузка воспринимается жестким опорным щитом (5). Противоположно направленные и равные по величине усилия замыкаются на стойках рамы, образуя самоуравновешенную систему.

Испытание плоских конструкций на изгиб из различных материалов на изгиб с опиранием по контуру, трем или двум противоположным сторонам по балочной схеме обеспечивается путем приложения равномерно распределенной нагрузки по всей площади испытываемой конструкции сжатым воздухом, подаваемым в мешок из прорезиненной ткани, таким образом, что равновесие действующих в противоположных направлениях сил достигается не анкерровкой опорного щита с помощью дополнительных устройств (силового пола, свай и т.д.) в стационарных условиях, а в замкнутом контуре, созданного в конструкции стенда. При этом величина подаваемой нагрузки и время её приложения изменяется объемом сжатого воздуха, скоростью наполнения силового мешка воздухом и изменением положения самого силового мешка на рычаге устройства нагружения.

Замкнутый силовой контур исключает необходимость крепления стоек рамы к силовому полу и позволяет производить наблюдения и измерения деформаций конструкции на визуальной удобной заданной высоте. Конструкция стенда разборная и может транспортироваться к месту испытаний.

Для подстраховки в установке также имеется специальный домкрат, который во время проведения испытания необходимо устанавливать под каждый рычаг устройства нагружения. У грузовой емкости имеется регулятор объема, а также регулятор скорости заполнения и регулятор, с помощью которого осуществляется контроль слива жидкости.

Техническим результатом данного решения является возможность оценки параметров изгибаемых конструкций – прочностных и эксплуатационных, учитывая при этом их реальные режимы нагружения в условиях эксплуатации после полной или только частичной разгрузки. При помощи диаграмм деформирования строительных материалов, приведённых для повторных нагрузок, возможно количественно оценить степень понижения жёсткости у конструкций после одного или нескольких (не многократных) нагружений, а также создать прогноз рабочего состояния всей конструкции и изменения в ней напряженно-деформированного состояния нормальных сечений в дальнейшей эксплуатации.

Данное техническое решение стало основой универсального технологического процесса испытания строительных конструкций. Это мобильная, быстро перестраиваемая и универсальная установка является базой для воспроизведения сочетаний циклично повторяющихся нагрузок и измерения схемы нагружения при проведении испытаний образцов и конструкций в целом.

Для измерения усилий применяются манометры по ГОСТ 2405-88 и динамометры по ГОСТ 13837-79.

Для количественной оценки и измерения величин прогибов должны быть использованы специальные измерительные приборы и инструменты, которые производят измерения с точностью до 97 %, то есть их погрешность составляет не более 3 % от предельного значения измеряемой величины.

Запланировано использовать следующие виды измерительных приборов и инструментов:

– прогибомеры (механические и цифровые);

- индикаторы часового типа по ГОСТ 577-68;
- датчики линейных перемещений;
- штангенциркули по ГОСТ 166-89;
- нивелиры по ГОСТ 10528-90;
- теодолиты по ГОСТ 10529-96.

Для измерения ширины раскрытия трещин применяются измерительные микроскопы или лупы ценой деления не более 0,05 мм. Допускается использовать металлические щупы и измерительные шаблоны [13].

Принятая установка для проведения испытаний, позволяет проводить необходимые наблюдения и измерения на визуально удобной заданной высоте.

2.4 Описание образцов и требования к ним

В качестве испытываемых образцов выступают модели железобетонных монолитных плит. Размеры моделей плит: ширина – 1100 мм, длина 1100 мм, высота 54 мм.

Образцы были изготовлены двух типов, а именно – модели полнотелой и монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями.

Всего образцов для испытания было два: модель плиты полнотелая и модель плиты со сферическими пустотообразователями.

Образцы были выполнены из бетона класса В25, заполнителем для бетона послужил доломитовый щебень фракции (1-8) мм. Песок был проверен на отсутствие в нем примесей глины [18]. Была применена чистая вода, в которой не было отмечено наличия химических соединений и примесей, которые в последующем могут замедлить сроки схватывания цементного камня [16]. Данные запланированные испытания, описанные в данной работе, могут быть применены ко всем видам бетонов, указанным в

ГОСТ 25192-2012 [17], которые находят применение в различных областях строительства зданий и сооружений. Исключением для этой технологии являются специальные виды бетонов (например, ячеистый бетон), для них предусмотрены другие стандарты [9].

Для армирования была применена проволока класса В500 диаметром 3 мм, модель плиты армируется сетками в верхней и нижней части модели плиты, шаг проволочных стержней в продольном и поперечном направлении 50 мм. Для пустотообразователей взяты шары из пенополистирола диаметром 40 мм, которые располагаются по всей площади плиты с шагом между осями 50 мм.

Геометрические параметры и параметры армирования испытываемых образцов, отобранных для контрольных испытаний, не должны превышать предельных значений, указанных в ГОСТ 13015-2012 [12].

В бетонных изделиях не допускается наличие дефектов в виде трещин с размерами больше тех, что установлены согласно ГОСТ 13015-2012 [12].

Кроме того, неприемлемо наличие сколов, каверн и раковин, находящихся на предположительно сжатой поверхности во время испытания, глубина которых больше 20 мм. Также недопустимы различные дефекты участков, нарушенного сцепления арматуры.

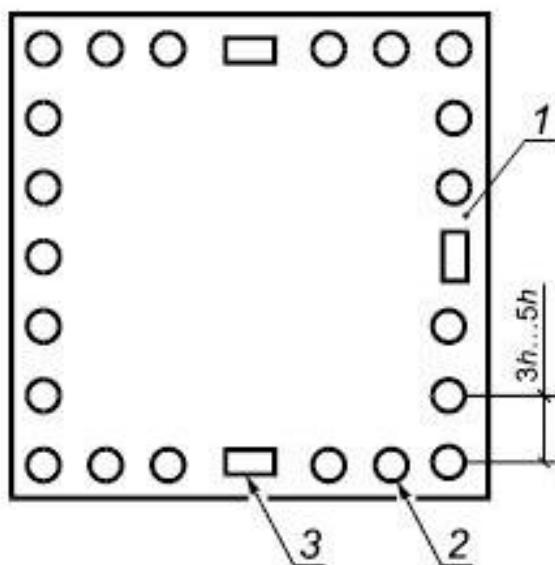
Прочность бетона определялась методами определения предела прочности бетонов на сжатие путем испытаний специально изготовленных контрольных образцов-кубов по ГОСТ 10180-2012 [9] и ГОСТ 18105-2018 [14], [22]. Максимальное значение средней прочности бетона равно $R = 29,9$ МПа, соответствующее классу бетона изделия В25.

2.5 Методика проведения испытаний

Вид опирания испытываемого образца и характер его нагружения выбирается таким образом, чтобы он соответствовала условиям работы изделия в конструкциях зданий или сооружений на стадии эксплуатации и

при испытаниях по этой схеме достигались контролируемые предельные состояния [26].

Образец для будущих испытаний схематично указывается как свободно опёртый, который работает в двух направлениях и опирается по четырем сторонам на шарнирные опоры, расположенные по контуру изделия [4]. При этом по контуру изделия устанавливают шарнирные подвижные шаровые опоры, а посередине трех сторон изделия – шарнирные подвижные линейные опоры, две из которых, расположенные на противоположных сторонах, допускают поворот в одном направлении, а третья, расположенная на примыкающей стороне, – поворот в противоположном направлении (рисунок 9).



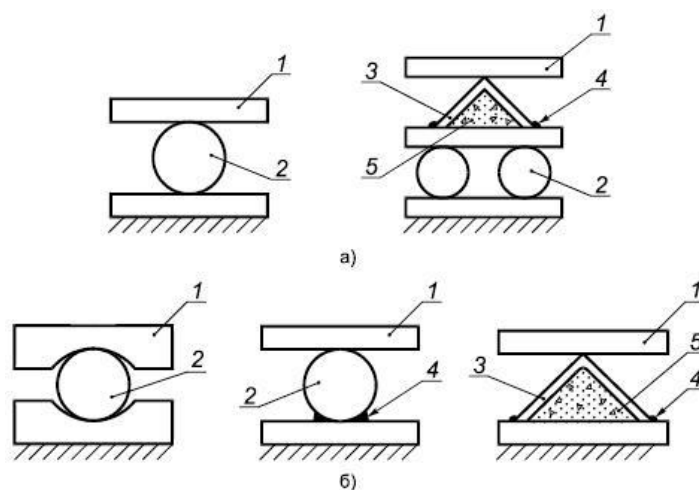
1 – испытываемая плиты; 2 – шарнирно-подвижная опора; 3 – каток

Рисунок 9 – Схематичный вид модели плиты, установленной шарнирно по четырем сторонам

В качестве шарнирных подвижных шаровых и линейных опор следует применять стальные шары и катки, которые свободно укладываются между стальными плитами. Неподвижные опоры могут быть получены путем

предотвращения свободного перемещения таких же шаров или катков, а также использованием неподвижно закрепленных стальных профилей. Самый простой и легкий способ устройства шарнирной опоры – это опора, устроенная только из опорной пластины и шара или катка. Здесь разница в подвижности и неподвижности опоры будет зависеть только от вида используемой опорной пластины. Шары обычно принимают диаметром от 40 до 50 мм.

Более трудоемкий и затратный способ создания шарнирной опоры – это создание опоры с использованием сварных швов или заливкой небольшого количества бетона, однако он должен быть прикрыт стальным профилем, который в свою очередь также фиксируется сваркой (рисунок 10).



а) вид шарнирно-подвижных опор; б) вид шарнирно-неподвижных опор:
1 – пластина опорная; 2 – шар или каток; 3 – профиль; 4 – сварной шов; 5 – бетон.

Рисунок 10 – Схематичный вид шарнирных опор

Краткий алгоритм испытания всех образцов моделей плит будет следующим:

- установка образца на поддерживающее устройство;
- размещение измерительных приборов;

- ступенчатое нагружение образца до разрушения с проведением замеров и их фиксацией.

Установка для испытания строительных конструкций работает следующим образом:

на опоры-стойки 1, соединенные между собой верхней платформой (2) и перемычками, укладывают тестируемый образец (4), а в нашем конкретном случае модель плиты. На перемычки размещают опорный щит (5), на который затем устанавливают устройство нагружения (6). При помощи болтового соединения к платформе крепится плоская рама (7), которая через шаровые опоры (8) обжимает плиту. Согласно требований техники безопасности для исключения падения испытываемого образца, под ним устанавливают страховочный домкрат.

Далее, после проверки надежности системы и исключения сдвига модели плиты в установке, приступают к ее нагружению. На компрессоре открывается подача воздуха, находящегося под давлением. Воздух начинает равномерно заполнять силовой мешок, создавая при этом равномерно распределенную нагрузку на всю площадь поверхности испытываемой конструкции – модель плиты. Деформации модели плиты регистрируются при помощи заранее установленных измерительных приборов. С обратной стороны модели плиты, нагрузку воспринимает жесткий опорный щит (5). Получается, что усилия равные по величине и противоположные по направлению замыкаются на стойках рам, тем самым создавая замкнутый контур – самоуравновешенную систему. Такой замкнутый контур позволяет исключить необходимость в закреплении стоек – опор рамы к силовому полу, а, следовательно, и сам силовой пол.

Испытания обоих образцов моделей плит будут проводиться в таком порядке.

На образец, подвергающийся испытанию, – модель плиты (4), подводят регулируемую по скорости и величине, нагрузку; предварительно выбранные параметры нагрузки выдерживают на каждом временном этапе.

При этом величину нагрузки, также, как и время нагружения, изменяют объемом сжатого воздуха, скоростью заполнения мешка из прорезиненной ткани (б).

Параметры прочности и деформации тестируемой конструкции измеряются в заданном интервале времени.

Такой способ загрузки поможет упростить и механизировать процесс нагружения и разгрузки. Кроме того, этот способ позволяет получить высокоточные заданные и контролируемые величины.

При проведении экспериментального исследования образцов моделей плит, контролю подвергаются показатели оценки прочности, жесткости и трещиностойкости, при этом отмечается характер разрушения (если такое происходит), в том числе ширина раскрытия трещин, образовавшиеся прогибы и значения нагрузок, которые вызывают контролируемое предельное состояние.

Значения нагрузок в процессе испытаний следует фиксировать по усилию, которое развивает установка от действия нагрузки.

Последовательность нагружения испытуемых плит должна проводиться с учетом требований, представленных ниже:

- вес образца должен быть определен расчетным путем или непосредственным взвешиванием;
- увеличение нагрузки производить поэтапно (ступенями), каждая такая ступень / нагрузка не должна превышать 10 % контрольной нагрузки по прочности, а также по образованию и ширине раскрытия трещин и 20 % контрольной нагрузки по жесткости;
- этапы нагружения и выдержки образца под нагрузкой должны быть назначены так, чтобы усилия, возникающие на предполагаемом участке разрушения, прирастали равномерно.

Значение времени выдерживания плиты под каждой долей нагрузки не менее 10 мин. После приложения контрольной нагрузки при контроле жесткости выдерживать образец под этой нагрузкой не менее 30 мин [20].

При выдерживании образца под нагрузкой необходимо проводить тщательный осмотр всей поверхности плиты и фиксировать значения нагрузки, появившиеся трещины, результаты измерения прогиба, осадки опор, ширины раскрытия трещин и смещения арматуры относительно бетона на торцах изделия [3]. Все эти показатели следует фиксировать в начале и конце каждой выдержки. Непосредственное измерение прогибов и ширины раскрытия трещин следует проводить до снижения уровня нагрузки, составляющего 80 % контрольной разрушающей нагрузки. При нагрузках, превышающих этот уровень, наблюдение за приборами следует проводить на безопасном расстоянии от испытываемого изделия с использованием оптических приборов (биноклей, нивелиров, теодолитов), к таковым также относятся системы дистанционного деформационного контроля.

По результатам испытаний будет составлен протокол испытаний, проведён анализ для дальнейшего теоретического обоснования и записи выводов.

Правильно заполненный протокол по результатам испытаний, должен содержать в себе следующие пункты и сведения:

- а) указание даты, когда было проведено испытание;
- б) наименование, класс или марка исследуемого образца или изделия;
- в) указание даты изготовления, номер партии;
- г) описание условий хранения образцов до проведения испытаний;
- д) класс бетона по прочности на сжатие;
- е) фактическая прочность бетона в день проведения испытаний;
- ж) вид армирования, классы арматурной стали для рабочей арматуры;
- и) фактическая прочность арматуры или результаты испытаний;
- к) значения предельной ширины раскрытия трещин;
- л) принятая схема испытаний;
- м) расчётная или измеренная масса образца / изделия;
- н) масса и вид нагружающего устройства;
- п) контрольные значения нагрузок (если есть такая информация):

- 1) по прочности (в случае первого и второго разрушения),
 - 2) жесткости,
 - 3) образованию трещин,
 - 4) ширине раскрытия трещин;
- р) контрольные значения прогибов и ширины раскрытия трещин;
- с) результаты проведенных испытаний:
- 1) разрушающая нагрузка и характер разрушения образца;
 - 2) нагрузка образования трещин и их характер;
 - 3) образовавшийся прогиб при приложении нагрузки;
 - 4) ширина раскрытия трещин при приложении нагрузки;
 - 5) характер и количественное значение смещения концов арматуры в бетоне исследуемой конструкции.

Если в испытаниях будут исследованы два и более образца / изделия одного класса или марки, то общие сведения о них указываются в протоколе один раз, а опытные характеристики приводятся для каждого испытанного образца / изделия по отдельности. Если в испытаниях исследуются разные образцы / изделия одного класса или марки, но по различным показателям, то в этом случае опытные характеристики приводятся для каждого испытания в отдельности [20].

2.6 Техника безопасности при проведении испытаний

При выполнении испытательных работ с установкой должна соблюдаться техника безопасности, некоторые пункты которой представлены ниже.

Перед началом выполнения работ

Перед началом проведения работ испытателю следует надеть спецодежду и проверить на ней отсутствие развевающихся концов, и были застёгнуты рукава, убраны свисающие детали; защитные очки и другие

средства индивидуальной защиты должны быть без повреждений и загрязнений.

Необходимо тщательно осмотреть и подготовить место работы – убрать все лишние и мешающие предметы, проходы должны быть свободны. Особенно важно также максимально удобно и безопасно расположить необходимые для работы предметы и приспособления. Освещение должно быть достаточным для проведения всех работ, пол должен быть чист в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями, быть не скользящим. Все инструменты, механизмы и приспособления, примыкающие к полу, должны быть надёжно закреплены к нему, на их корпусе не должно быть трещин и каких-либо повреждений.

Для того чтобы избежать случайного соскальзывания и падения модели плиты во время проведения испытаний, необходимо убедиться в наличии установленных по контуру установки стягивающих шпилек, шайб и гаек.

Необходимо убедиться в исправности всей установки.

Техника безопасности во время работы

Во время работы с установкой испытателю важно сохранять внимательность, не допускать нахождения рядом с ней посторонних лиц.

Необходимо следить, чтобы испытываемые модели плит были установлены без перекоса и также, чтобы возможный перекос был исключен при проведении испытаний.

При непосредственном проведении испытаний запрещено удерживать образцы руками и держать руки вблизи рабочей зоны. Необходимо находиться в безопасной зоне. Недопустимо применять самодельные инструменты, механизмы или приспособления.

Смена образцов должна производиться только при установленном страховочном домкрате.

Обязательно устанавливать страховочный домкрат в случае ухода с рабочего места, в случае неисправности, в случае нарушения технологического процесса.

По окончании работ грузовая нагрузка должна быть снята с испытываемой модели, установлен страховочный домкрат, рабочее место должно быть приведено в порядок, установка должна быть очищена от загрязнений.

Выводы по второй главе

Основная цель второй главы заключалась в выборе наиболее подходящего метода испытания разработанной модели плиты со сферическими пустотообразователями при имеющейся технической базе.

Для этого были решены следующие задачи:

- анализ необходимой специальной литературы;
- ознакомление с основными видами испытаний конструкций;
- выбор необходимого вида и метода испытаний;
- подбор необходимой установки, механизмов, оборудования, вспомогательных устройств для проведения испытаний;
- описание модели монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями;
- описание техники безопасности при проведении испытаний.

Здесь также говорилось о подготовке к проведению экспериментальных исследований по определению показателей прочности, жесткости и трещиностойкости моделей плит, характера их разрушения, в том числе ширины раскрытия трещин, значения прогибов и нагрузок, вызывающих контролируемое предельное состояние.

Глава 3 Проведение испытаний моделей монолитных плит

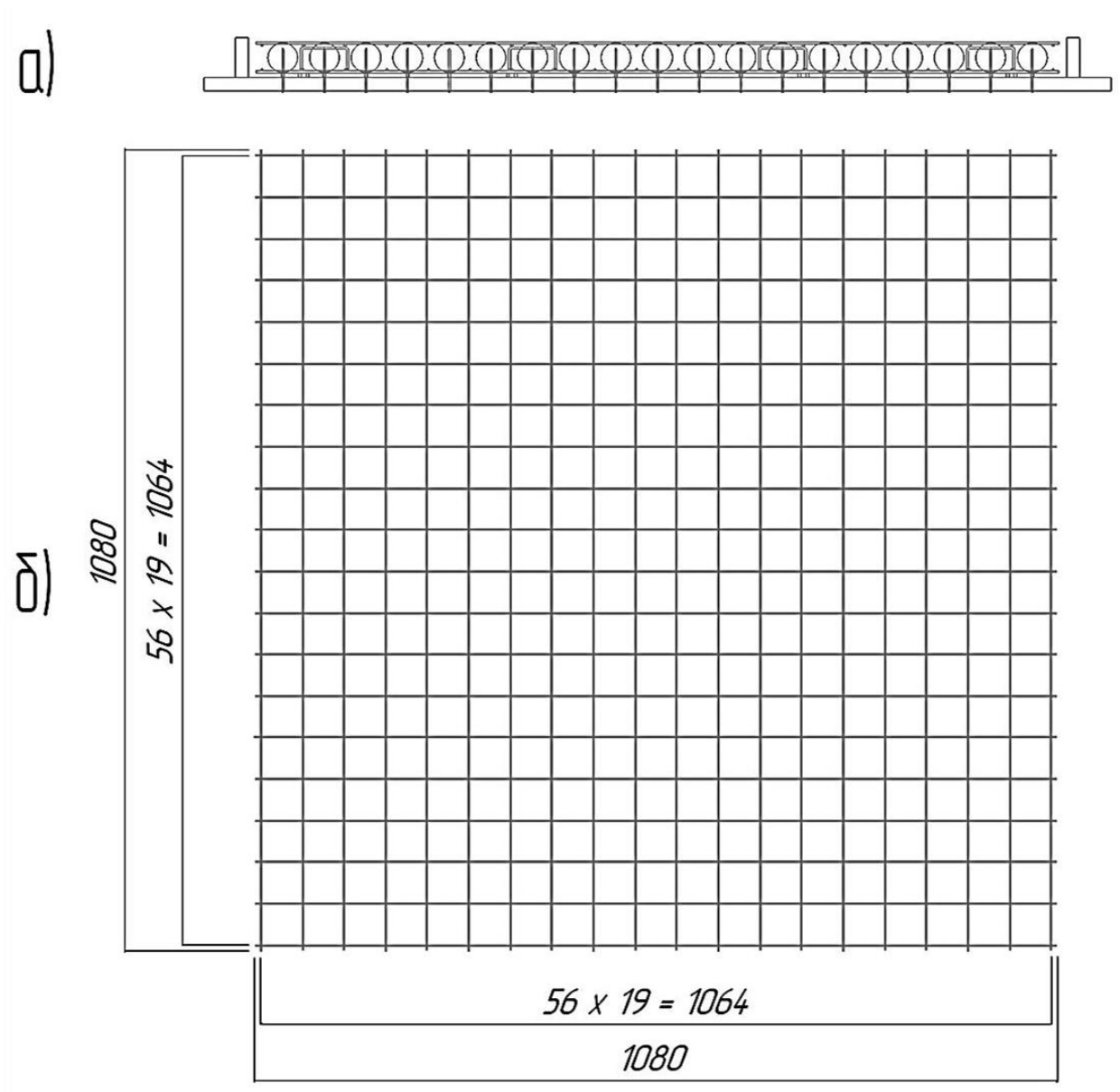
3.1 Изготовление образцов для испытания

Модель плиты, представленная в данной диссертации, разработана на основе широко используемой монолитной железобетонной плиты перекрытия толщиной 200 мм, которая армирована стержнями из арматуры диаметром 12 мм.

Масштаб модели плиты взят 1:4. Соответственно, в модели плиты должна была быть применена сварная сетка с ячейкой 50×50 мм (по факту это значение составляет 56×56 мм) из проволоки Вр1 диаметром 3 мм. Расчет сечения проволоки был взят в масштабе 1:4 от арматуры диаметра 12 мм и шага 200×200 мм.

В результате расчета модель плиты имеет следующие параметры:

- ширина составляет 1100 мм;
- длина составляет 1100 мм;
- толщина 54 мм (это значение получено из условия, что площадь поперечного сечения проволоки диаметром 3 мм чуть больше, чем масштаб 1:4);
- в качестве фиксатора защитного слоя были применены гайки М8;
- модель плиты армирована сварной сеткой с шагом проволоки Вр1 диаметром 3 мм 56×56 мм;
- в качестве пустотообразователей был использован 361 шар из пенополистирола диаметром 40 мм, нанизанные на оцинкованные финишные гвозди длиной 60 мм и диаметром 2 мм, забитые в основание соответствующей формы (рисунок 11);



- а) – схематичный разрез плиты перед бетонированием по пустотообразователям;
 б) – схема расположения ячеек сетки.

Рисунок 11 – Схема армирования модели плиты со сферическими пустотообразователями

– для обеих моделей плит была принята бетонная смесь класса В25 из портландцемента марки М500 производства концерна ЕВРОЦЕМЕНТ завода Ульяновской области Сенгилеевского района рабочего поселка Цемзавод, речного песка, доломитового щебня фракцией (1-8) мм (соотношение ингредиентов бетонной смеси –

1 кг цемента, 1,875 кг песка, 2,5 кг доломитового щебня, 0,4375 литра воды);

- вес готовых моделей плит был посчитан исходя из веса 2200 кг бетона объёмом 1 м³ и параметров моделей плит, то есть вес модели полнотелой плиты составил 144 кг объёмом 0,065 м³ и вес модели плиты с шарами из пенополистирола объёмом 0,012 м³ составил 117 кг объёмом 0,053 м³, что составляет 81,25 % веса модели полнотелой плиты или вес модели полнотелой плиты больше на 23 % модели плиты с шарами из пенополистирола.

Изготовление формы для образцов

Для получения образцов моделей железобетонных плит было изготовлено две формы – деревянные опалубки из фанеры толщиной 15 мм. Размеры форм составили 1220×1220 мм. Смазывание форм не потребовалось, так как поверхность фанеры была новой и ламинированной (рисунок 12).



Рисунок 12 – Форма для изготовления модели плиты сплошного сечения

Для получения образца модели железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями, к основанию второй опалубки был

приклеен бумажный малярный скотч, который был разлинован шариковой ручкой в соответствии с центром каждой ячейки (было получено 361 пересечение, то есть 361 центр ячеек сварной сетки (рисунок 13).



Рисунок 13 – Основание формы для изготовления модели плиты со сферическими пустотообразователями

Затем были установлены боковые поверхности формы для изготовления модели плиты со сферическими пустотообразователями.

Изготовление образцов моделей монолитных плит для испытания

В найденные центры было просверлено 361 отверстие диаметром 2 мм, затем в эти отверстия было забито 361 оцинкованный финишный гвоздь.

После этого на основание обеих форм была уложена нижняя сварная сетка на гайки. Гайки М8 были установлены непосредственно на основание форм и прикреплены термическим клеем, полуавтоматической сваркой к проволоке. Они были установлены для фиксации защитного слоя сетки будущих образцов. После этого к нижней сетке были подвязаны элементы (лягушки) из алюминиевой проволоки сечением 10 мм^2 в количестве 16 штук на одну плиту. Затем на элементы (лягушки) была положена с подвязкой верхняя сетка зеркально нижней сетке (рисунок 14-15).



Рисунок 14 – Армирование формы для образца модели железобетонной плиты сплошного сечения



Рисунок 15 – Армирование формы для модели железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями

После этапа армирования форм была проведена проверка на соответствие геометрических параметров форм и отсутствия смещения верхней и нижней сеток, гвоздей и «лягушек».

Далее для модели плиты со сферическими пустотообразователями, в качестве фиксатора проектного положения шаров из пенополистирола, на каждый гвоздь была надета сердцевина из ПВХ цилиндрической формы телевизионного провода SAT-700 диаметром 5 мм длиной 7 мм. После этого на гвозди были нанизаны шары из пенополистирола в качестве пустотообразователей в бетоне (рисунок 16).



Рисунок 16 – Установка пустотообразователей в форму для модели железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями

После того, как была выполнена визуальная проверка проектного положения пустотообразователей в форме, была начата подготовка к укладке бетонной смеси.

Бетонная смесь была изготовлена по рецепту как для класса В25. Смесь изготавливалась в резиновом ведре с предварительным взвешиванием всех составляющих на кухонных весах. В смесь добавляли пластификатор.

Изготовление бетонной смеси было произведено по ГОСТ 7473-2010 [19]. Полное описание образцов было приведено ранее в п. 2.4 и 3.1 данной магистерской диссертации.

Образец модели железобетонной плиты сплошного сечения был забетонирован 10 апреля 2021 г., образец со сферическими пустотообразователями позже – 17 апреля 2021 г. (рисунок 17).



Рисунок 17 – Бетонирование форм (на фотографии показана 1 модель)

После укладки бетонной смеси в формы, было произведено уплотнение вибратором ENAR DINGO и последующее выравнивание их поверхностей рейкой (рисунок 18).



Рисунок 18 – Выравнивание поверхности бетонной смеси в форме (на фотографии показана 1 модель плиты)

После проведения всех бетонных работ, формы с образцами были накрыты полиэтиленовой пленкой и отправлены в нормальные условия набора прочности с температурой (20 ± 3) °С и относительной влажностью воздуха (95 ± 5) %. В течение всего времени набора прочности бетона (28 суток), за формами осуществлялся уход: была произведена поддержка требуемой влажности и температуры в помещении [14].

Модели плит были распалублены по истечению 30 суток.

Образцы были расположены на подкладки так, чтобы расстояние между ними было не менее 5 мм. Площадь контакта образцов с подкладками была не более 30 % площади опорной грани образца. Отклонения геометрических параметров изделий и армирования, не превышали предельных значений, указанных в ГОСТ 13015-2012 [12].

Уточнение прочности бетона моделей плит путём испытаний контрольных образцов-кубов.

Параллельно с изготовлением образцов моделей монолитных плит, были отформованы кубы бетона. Для изготовления контрольных кубов было произведено извлечение пробы бетонной смеси в соответствии с ГОСТ 10181-2014 [10], ГОСТ 18105-2018 [14] и ГОСТ 7473-2010 [19] из рабочего состава бетонной смеси.

Дата изготовления кубов – 10.04.2021 г. – 17.04.2021 г. Кубы сечением $100\times 100\times 100$ мм в количестве 3 штук, были изготовлены для уточнения класса бетона запланированных для испытаний плит перекрытий (рисунок 19).



Рисунок 19 – Экспериментальные образцы-кубы

Технология изготовления и выдерживания контрольных образцов-кубов аналогична указанной для железобетонных плит перекрытий по ГОСТ 18105-2018 [14]. По прошествии 28 суток после изготовления кубов, после проведения всех предварительных визуальных осмотров и замеров образцов-кубов, были проведены их испытания в соответствии с действующими стандартами [10], [14], [15].

Кубы были испытаны на гидравлическом прессе П-250, который и предназначен для испытания различных строительных материалов на сжатие. Оснащение пресса составляет торсионный силоизмеритель, аналоговый двухдиапазонный циферблат, две винтовые вертикальные колонны, которые электронным приводом вертикально перемещают верхнюю траверсу (рисунок 20).



Рисунок 20 – Гидравлический пресс П-250

Основные технические характеристики гидравлического пресса П-250 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики пресса П-250

Характеристика	Значение
Наибольшая создаваемая нагрузка, кН	2500
Тип привода и силоизмерителя	Электродвигательный, торсионный
Отображение данных испытания	Аналоговый циферблат
Диапазон измерения основной/дополнительный, кН	250-1250/500-2500
Погрешность при нагружении, %	± 2
Рабочий ход гидравлического поршня, мм.	50
Высота рабочего пространства, включая ход гидравлического поршня, мм.	1000
Максимальная скорость перемещения гидравлического поршня, мм/мин.	20
Расстояние между колоннами, мм.	530
Размеры плит сжатия, мм.	500×500
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм.	2100×900×2715
Масса испытательной машины, кг.	3530
Мощность, кВт.	3,5
Электропитание	~380V/50Hz (с нулевым проводом)

При проведении испытаний образцов-кубов не отмечено дефектов структур. Кубы разрушены по удовлетворительной схеме (рисунок 21).

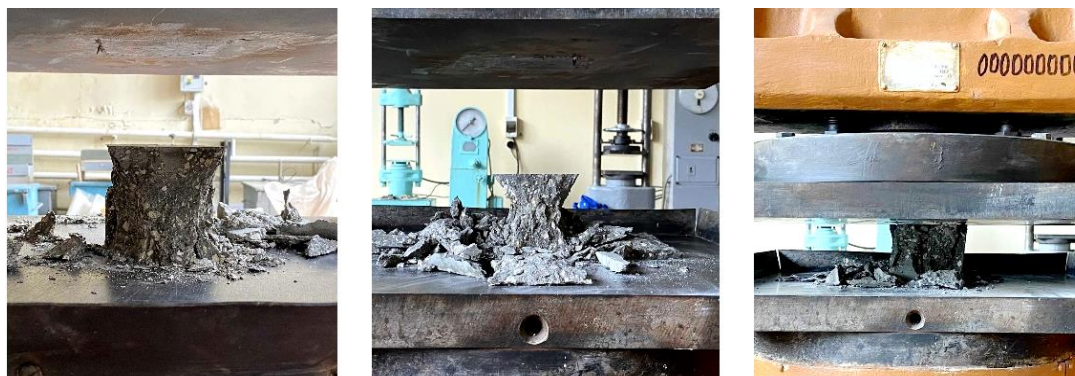


Рисунок 21 – Разрушенные образцы-кубы

Прочность бетона на сжатие R , МПа, вычисляется с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A}, \quad (1)$$

где R – прочность бетона на сжатие, МПа;

α – масштабный коэффициент, приводящий найденную прочность бетона к прочности бетона базового размера [7];

F – разрушающая нагрузка, н;

A – площадь рабочего сечения образца, м³

Аналогичным образом находятся прочности всех образцов-кубов. Результаты испытаний кубов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний по определению прочности образцов-кубов на сжатие

Дата изготовления контрольного образца	Предполагаемый класс бетона, по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Сутки после изготовления, сут	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образцов в серии, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17.05. 2021	В25	15.06. 2021	28	-	10×10×10	-	250,7	23,8	29,9	Прочность бетона в серии – среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью
				-		-	306,5	29,1		
				-		-	323,6	30,7		

По результату испытания образцов-кубов значение средней прочности бетона равно $R = 29,9$ МПа, что соответствует классу бетона изделия В25.

3.2 Подготовка моделей монолитных плит к испытаниям

После того, как образцы моделей монолитных плит набрали в нормальных условиях хранения требуемую ожидаемую прочность, можно было приступить к их испытаниям. Стоит отметить, что образцы должны быть без повреждений, храниться без изменений влажности и должны быть без следов замораживания.

Перед началом испытаний, каждый из образцов подвергался визуальному осмотру. Как отмечалось ранее, на образцах не должно быть обнаружено дефектов в виде трещин, больших, чем указано в ГОСТ 13015-2012 [12]. На модели плиты сплошного сечения был обнаружен скол (рисунок 22).

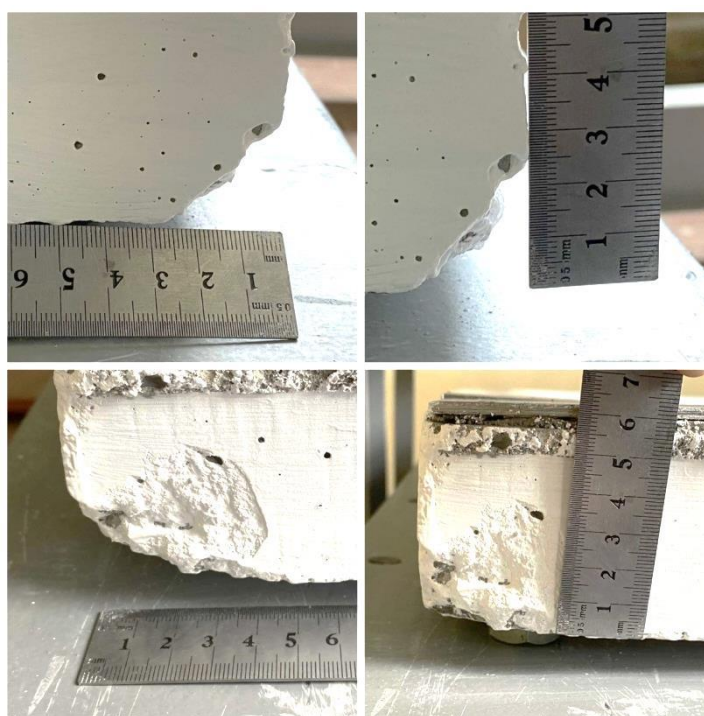


Рисунок 22 – Скол угла на модели плиты сплошного сечения

Обнаруженный скол не нарушает требований ГОСТ 13015-2012 и может быть использован в испытаниях. Не было замечено сколов и раковин на предполагаемо сжатой поверхности при последующих испытаниях. Нарушение сцепления арматуры с бетоном также не отмечено.

Перед началом проведения испытаний были проведены осмотр и подготовка рабочего места. Были убраны лишние и мешающие предметы в зоне работы, проверена достаточность освещения и чистота полов помещения, осмотрен испытательный стенд, инструменты, механизмы и приспособления, которые планировалось использовать. На их корпусах не было отмечено трещин и повреждений.

После этого, согласно методике проведения испытаний, была произведена установка модели плиты в испытательный стенд (рисунок 23).



Рисунок 23 – Модель железобетонной монолитной плиты установлена в испытательный стенд (показана модель плиты перекрытия сплошного сечения)

Ранее в патенте было указано, что замкнутый контур создается при помощи досок и силового мешка с воздухом. Здесь было принято решение об их замене на швеллер №16 и внутрь него швеллер №12 (вместо досок), домкрат и пластины с шариками. На внутренний швеллер был установлен домкрат с динамометром NC123, на который сверху были уложены две металлические пластины (толщиной 14 мм). Сверху были заложены 4 металлических шарика диаметром 16 мм. На них была произведена установка четырех пластин размером 100×100 мм, которые в тоже время были приклеены ремонтной смесью Ceresit CN 83 на нижнюю поверхность плиты (рисунок 24).



Рисунок 24 – Установка нагружающего домкрата с динамометром NC123, пластин и металлических шариков

Модели плит в стенде необходимо центрировать, для этого была произведена разметка их центров.

По периметру моделей на ремонтную смесь были приклеены пластины шириной 60 мм и толщиной 3 мм.

После этого модели плит были выкрашены в белый цвет, так как при проведении испытаний будут более заметны образовавшиеся трещины.

Затем, на пластины на двусторонний скотч были установлены подвижные шаровые опоры, посередине трех сторон – шарнирные подвижные линейные опоры (катки), согласно методике испытаний, п. 2.5 (рисунок 25).

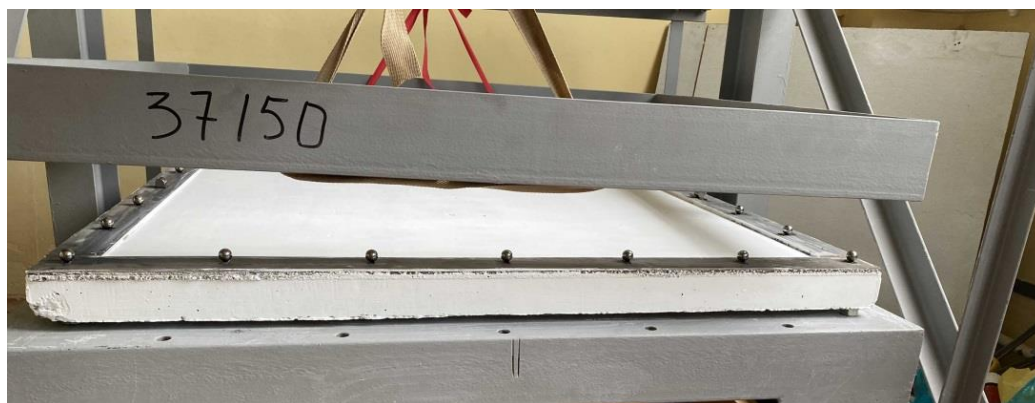


Рисунок 25 – Установка подвижных шаровых и линейных опор по периметру моделей (показана модель плиты сплошного сечения)

После чего сверху модели плиты устанавливался каркас из уголка, шпилек М14 и гаек М14 в количестве 20 и 40 штук соответственно. Шайбами был соединен стенд и каркас из уголка (рисунок 26).



Рисунок 26 – Установка каркаса из уголков над моделью плиты (показана модель плиты сплошного сечения)

Тем самым была произведена окончательная фиксация моделей плит в стенде.

После окончательной установки моделей плит в стенд, производилось размещение на них измерительных приборов. Принятая установка – стенд для проведения испытаний, позволяет проводить необходимые наблюдения и измерения на визуально удобной заданной высоте; поэтому все необходимые приборы для замеров, кроме тех, что фиксируются на самом образце, были расположены в пределах рабочей зоны в удобном доступе.

Перед покраской были просверлены в моделях плит отверстия для установки прогибомеров, была очищена резьба гаек в модели плиты для установки мессур. Затем в просверленные отверстия (одно в центре модели плиты и четыре посередине каждой стороны модели плиты) возле края были закреплены канцелярские скрепки, к которым подвязывалась проволока с грузами от прогибомеров. Была произведена установка механических прогибомеров (рисунок 27).

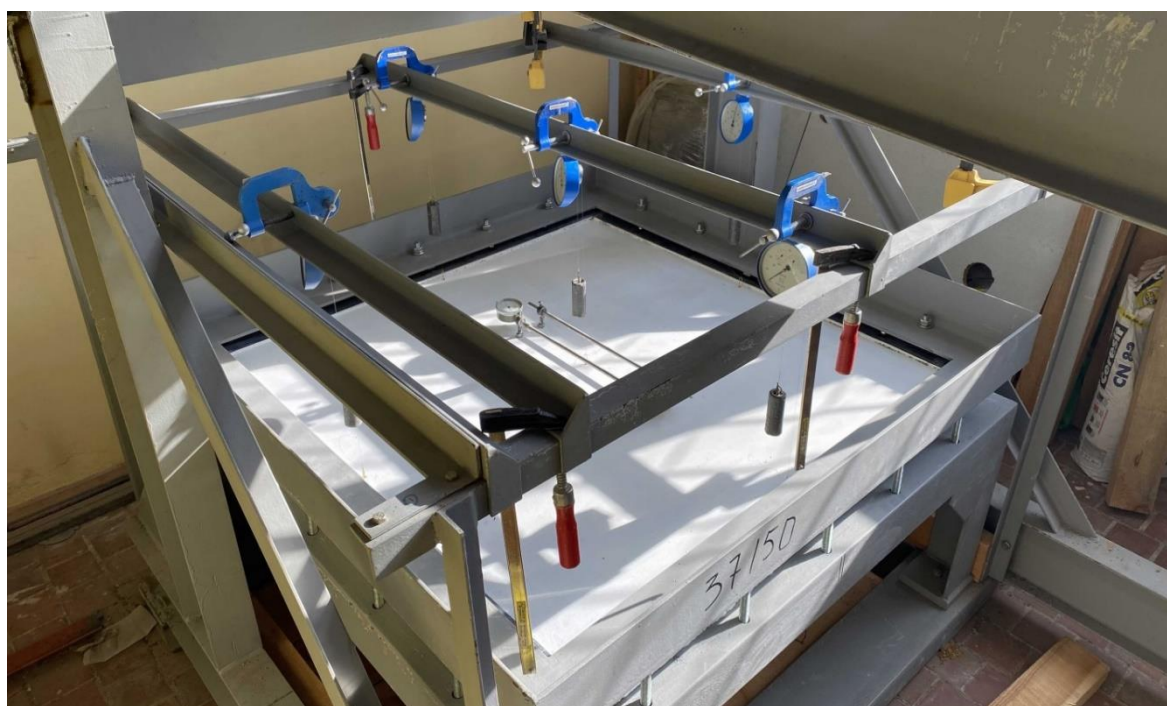


Рисунок 27 – Установка прогибомеров на испытываемую модель плиты

Затем была произведена установка индикаторов мессур (рисунок 28).



Рисунок 28 – Установка мессур на модель полнотелой плиты

После визуальной проверки образцов в стенде и размещенных на них измерительных приборов, были начаты испытания.

3.3 Проведение испытания модели плиты сплошного сечения

Перед испытаниями был подготовлен журнал проведения испытаний. После этого при помощи домкрата, согласно методике испытаний, п. 2.5, была произведена пошаговая подача нагрузки на модель плиты снизу вверх. Выдержка между шагами составляла 3 минуты. Перед и после каждого шага проводился визуальный осмотр образца, производились снятия и запись показаний прогибомеров и мессур.

Первая трещина появилась на образце при нагрузке 1960 кг, после чего их количество начало расти (рисунок 29).

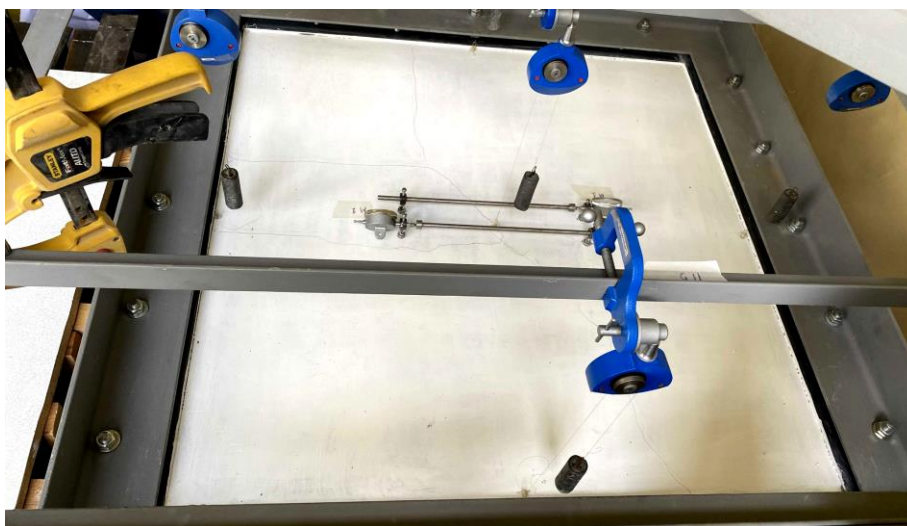


Рисунок 29 – На образце модели плиты сплошного сечения появляются первые трещины

После окончания испытания, по технике безопасности, была снята нагрузка с образца и отмечены все трещины (рисунок 30).

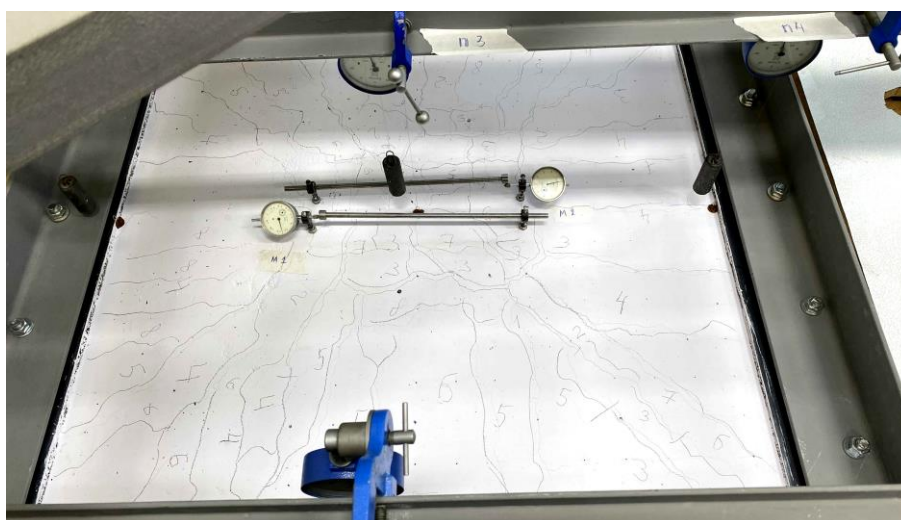


Рисунок 30 – Испытанная модель железобетонной плиты сплошного сечения

В журнал испытаний были занесены остаточные деформации без нагрузки (таблица 3).

Таблица 3 – Протокол проведения испытаний модели плиты перекрытия сплошного сечения

№ ступени нагрузки	Маркировка образцов	Дата испытания	Класс бетона	t, сек	П1, мм	П2, мм	П3, мм	П4, мм	П5, мм	М1, мм	М2, мм	D, 1 ед = 7 кг	N нагр.	Прогиб (П3-(П1+П3+П4+П5)/4)	деформация относит-я (М1)	деформация относит-я (М2)	Примечания		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	ПОЛП	10.06.2021	В25	0,00	35,66	82,75	35,78	74,62	55,36	9,00	9,00	0,00	-	-	-	-	начальный отсчет		
				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2				0,05	35,66	82,75	35,78	74,62	55,35	9,00	9,00	5,00	350	0,00	0,0000000	0,0000000			
				0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00		3500,00							
3				0,10	35,66	82,75	35,79	74,62	55,34	9,00	9,00	10,00	700	-0,01	0,0000000	0,0000000			
				0,00	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00		7000,00							
4				0,15	35,65	82,75	35,77	74,61	55,32	9,00	9,00	15,00	1050	-0,01	0,0000000	0,0000000			
				-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,04	0,00	0,00		10500,00							
5				0,20	35,64	82,75	35,75	74,60	55,31	8,99	8,99	20,00	1400	0,01	0,0000333	0,0000333			
				-0,02	0,00	-0,03	-0,02	-0,05	0,01	0,01		14000,00							
6	0,25	35,62	82,74	35,72	74,57	55,28	8,99	8,99	25,00	1750	0,01	0,0000333	0,0000333						
	-0,04	-0,01	-0,06	-0,05	-0,08	0,01	0,01		17500,00										
7	0,30	35,59	82,73	35,69	74,55	55,26	8,99	8,99	30,00	2100	0,03	0,0000333	0,0000333						
	-0,07	-0,02	-0,09	-0,07	-0,1	0,01	0,01		21000,00										
8	0,35	35,59	82,72	35,68	74,55	55,24	8,99	8,99	35,00	2450	0,03	0,0000333	0,0000333						
	-0,07	-0,03	-0,10	-0,07	-0,12	0,01	0,01		24500,00										
9	0,40	35,59	82,71	35,66	74,53	55,22	8,99	8,99	40,00	2800	0,04	0,0000333	0,0000333						
	-0,07	-0,04	-0,12	-0,09	-0,14	0,01	0,01		28000,00										
10	0,45	35,55	82,68	35,61	74,48	55,17	8,98	8,98	50,00	3500	0,04	0,0000667	0,0000667						
	-0,11	-0,07	-0,17	-0,14	-0,19	0,02	0,02		35000,00										

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
11	ПОЛП	10.06.2021	В25	0,50	35,47	82,62	35,51	74,41	55,11	8,98	8,98	60,00	4200	0,08	0,0000667	0,0000667				
															42000,00					
12				0,55	35,43	82,60	35,47	74,37	55,07	8,97	8,98	70,00	4900	0,08	0,0001000	0,0000667				
																49000,00				
13				0,60	35,34	82,53	35,35	74,26	54,98	8,97	8,97	80,00	5600	0,11	0,0001000	0,0001000				
																56000,00				
14				0,65	35,29	82,48	35,27	74,17	54,90	8,97	8,97	90,00	6300	0,12	0,0001000	0,0001000				
																63000,00				
15				0,70	35,21	82,43	35,17	74,08	54,84	8,96	8,97	100,00	7000	0,15	0,0001333	0,0001000				
																70000,00				
16				0,75	35,15	82,37	35,09	74,00	54,77	8,96	8,97	110,00	7700	0,16	0,0001333	0,0001000				
																77000,00				
17				0,80	35,08	82,31	35,00	73,91	54,70	8,95	8,96	120,00	8400	0,18	0,0001667	0,0001333				
																84000,00				
18	0,85	34,95	82,21	34,84	73,75	54,56	8,94	8,96	140,00	9800	0,21	0,0002000	0,0001333							
													98000,00							
19	0,90	34,83	82,10	34,68	73,60	54,44	8,93	8,95	160,00	11200	0,24	0,0002333	0,0001667							
													112000,00							
20	0,95	34,70	81,99	34,51	73,46	54,31	8,92	8,95	180,00	14000	0,29	0,0002667	0,0001667							
													126000,00							
21	1,00	34,60	81,89	34,39	73,36	54,22	8,92	8,94	200,00	15400	0,31	0,0002667	0,0002000							
													140000,00							
22	1,05	34,49	81,79	34,26	73,25	54,14	8,91	8,93	220,00	15400	0,34	0,0003000	0,0002333							
													154000,00							
23	1,10	34,38	81,70	34,09	73,13	54,06	8,90	8,92	240,00	16800	0,41	0,0003333	0,0002667							
													168000,00							
24	1,15	34,28	81,59	33,86	72,99	53,98	8,88	8,90	260,00	18200	0,53	0,0004000	0,0003333							
													182000,00							

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
25	ПОЛП	10.06.2021	B25	1,20	34,12	81,39	33,44	72,71	53,85	8,81	8,83	280,00	19600	0,76	0,0006333	0,0005667	Первая трещина			
															196000,00					
26				1,25	34,01	81,28	33,17	72,55	53,76	8,78	8,80	300,00	21000	0,91	0,0007333	0,0006667				
																210000,00				
27				1,30	33,90	80,77	32,50	72,03	53,66	8,70	8,72	320,00	22400	1,27	0,0010000	0,0009333				
																224000,00				
27				1,35	33,86	80,70	32,33	72,94	53,57	8,70	8,70	320,00	22400	1,62	0,0010000	0,0010000				
																224000,00				
28				1,40	33,67	80,44	31,69	72,55	53,37	8,60	8,61	340,00	23800	2,00	0,0013333	0,0013000				
																238000,00				
29				1,45	33,30	80,22	31,40	72,35	53,14	8,45	8,44	360,00	25200	2,04	0,0018333	0,0018667				
																252000,00				
30				1,50	32,58	79,79	29,34	70,74	52,76	7,99	8,05	380,00	26600	3,31	0,0033667	0,0031667				
																266000,00				
31				1,55	32,24	79,30	27,49	70,31	52,17	7,45	7,51	400,00	28000	4,70	0,0051667	0,0049667				
																280000,00				
32				1,60	31,97	79,06	27,23	70,00	51,92	7,10	7,16	420,00	29400	4,69	0,0063333	0,0061333				
													294000,00							
33	1,65	31,68	78,75	24,62	69,55	51,50	6,76	6,79	440,00	30800	6,93	0,0074667	0,0073667							
													308000,00							
34	1,70	31,43	78,46	23,38	69,28	51,19	6,47	6,51	460,00	32200	7,89	0,0084333	0,0083000							
													322000,00							
35	1,75	31,11	77,95	21,05	68,77	50,64	5,90	5,95	480,00	33600	9,75	0,0103333	0,0101667				полное нагружение			
													336000,00							
36	1,80	35,24	81,60	31,19	73,40	54,29	7,82	7,84	0,00	0	3,63	0,0039333	0,0038667				остаточная деформация без нагрузки			

Испытания модели плиты сплошного сечения были закончены на нагрузке 3360 кг.

3.4 Проведение испытания модели плиты со сферическими пустотообразователями

Испытание модели железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями было произведено по той же методике, что и для модели плиты сплошного сечения, которая изложена в п. 3.3 данной магистерской диссертации.

Образец – модель железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями, уже установленный в стенд и подготовленный к проведению испытания, показан на рисунке 31.



Рисунок 31 – Испытываемая модель плиты со сферическими пустотообразователями подготовлена к проведению испытания, прогибомеры и мессуры установлены

Проведение испытания над второй моделью плиты не отличалось от предыдущего испытания. Была получена немного другая картина трещин (рисунок 32).

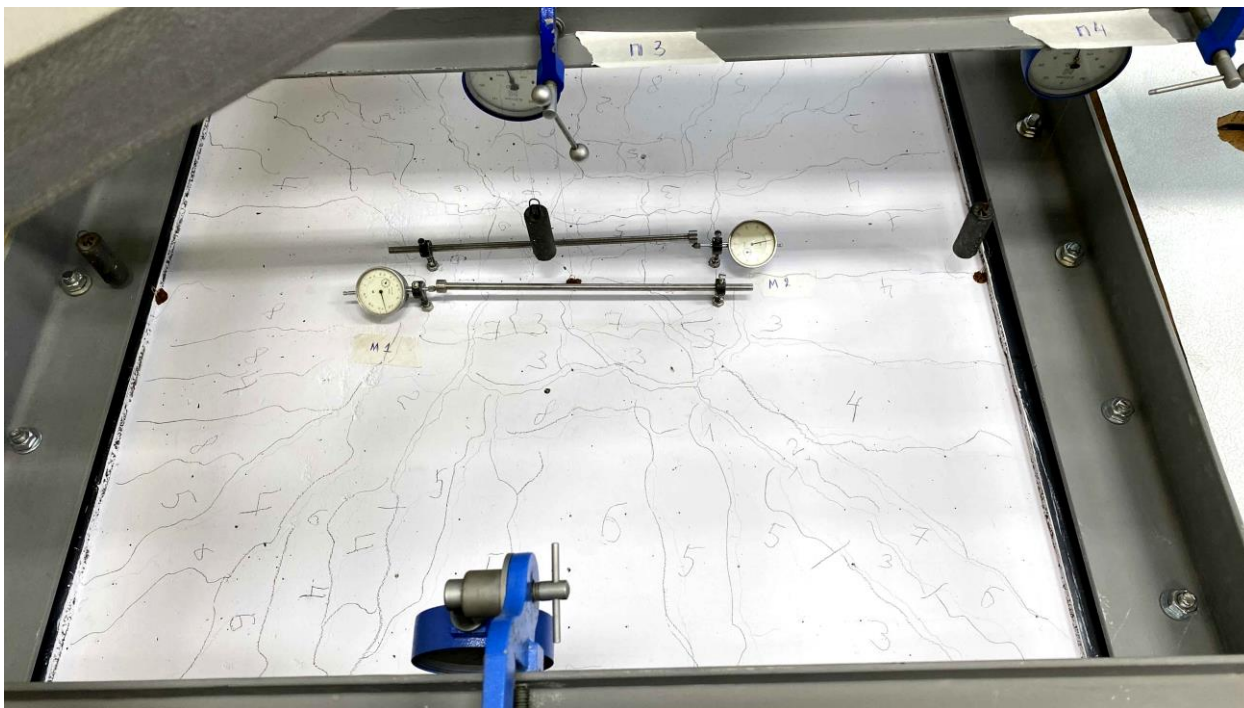


Рисунок 32 – Испытанная модель железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями

Первая трещина появилась на образце при меньшей нагрузке – 1400 кг. При нагрузке 2240 кг была случайно сбита мессура М2, что значительно не повлияло на проведение испытания.

В ходе проведения испытания образца – модели плиты со сферическими пустотообразователями были получены немного другие значения исследуемых параметров (таблица 4).

Таблица 4 – Протокол проведения испытаний модели плит со сферическими пустотообразователями

№ ступени нагрузкм	Маркировка образцов	Дата испытания	Класс бетона	t (сек)	П1 (мм)	П2 (мм)	П3 (мм)	П4 (мм)	П5 (мм)	M1 (мм)	M2 (мм)	D (1ед=7кг)	N нагр.	Прогиб (П3- П1+П3+П4+ П5)/4	деформация относит-я (M1)	деформация относит-я (M2)	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	пуст	11.06.2021	B25	0,00	24,78	74,99	16,08	76,39	34,44	9,000	9,000	0,00	-	-	-	-	начальный отсчет
2				0,05	24,78	74,98	16,07	76,38	34,43	9,000	9,000	5,00	350	0,00	0,000000	0,000000	
3				0,10	24,77	74,98	16,07	76,38	34,42	8,995	8,995	10,00	700	0,00	0,000017	0,000017	
4				0,15	24,75	74,97	16,03	76,38	34,41	8,995	8,995	15,00	1050	0,03	0,000017	0,000017	
5				0,20	24,73	74,97	16,01	76,38	34,39	8,990	8,990	20,00	1400	0,04	0,000033	0,000033	
6				0,25	24,70	74,95	15,97	76,36	34,36	8,990	8,990	25,00	1750	0,05	0,000033	0,000033	
7				0,30	24,67	74,93	15,94	76,35	34,35	8,985	8,985	30,00	2100	0,07	0,000050	0,000050	
8				0,35	24,62	74,88	15,89	76,33	34,31	8,980	8,985	35,00	2450	0,07	0,000067	0,000050	
9				0,40	24,58	74,83	15,83	76,28	34,26	8,980	8,980	40,00	2800	0,09	0,000067	0,000067	
10				0,45	24,47	74,73	15,70	76,21	34,15	8,975	8,975	50,00	3500	0,12	0,000083	0,000083	
				-0,31	-0,26	-0,38	-0,18	-0,29	0,025	0,025		35000,00					

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
11	пуск	11.06.2021	B25	0,50	24,38	74,63	15,61	76,12	34,06	8,975	8,975	60,00	4200	0,12	0,000083	0,000083				
															42000,00					
12				0,55	24,29	74,53	15,48	76,03	33,96	8,970	8,970	70,00	4900	0,15	0,000100	0,000100				
																49000,00				
13				0,60	24,22	74,43	15,35	75,95	33,87	8,965	8,965	80,00	5600	0,20	0,000117	0,000117				
																56000,00				
14				0,65	24,13	74,33	15,25	75,86	33,77	8,960	8,960	90,00	6300	0,20	0,000133	0,000133				
																63000,00				
15				0,70	24,06	74,25	15,15	75,79	33,68	8,955	8,955	100,00	7000	0,23	0,000150	0,000150				
																70000,00				
16				0,75	23,99	74,17	15,04	75,71	33,59	8,950	8,950	110,00	7700	0,26	0,000167	0,000167				
																77000,00				
17				0,80	23,93	74,10	14,94	75,64	33,52	8,945	8,945	120,00	9800	0,29	0,000183	0,000183				
																98000,00				
18				0,85	23,79	73,99	14,76	75,50	33,37	8,930	8,930	140,00	9800	0,33	0,000233	0,000233				
																98000,00				
19				0,90	23,65	73,85	14,52	75,34	33,21	8,905	8,910	160,00	11200	0,42	0,000317	0,000300				
																112000,00				
20				0,95	23,53	73,72	14,30	75,22	33,08	8,875	8,880	180,00	12600	0,52	0,000417	0,000400				
																126000,00				
21				1,00	23,36	73,60	13,98	75,09	32,88	8,810	8,815	200,00	14000	0,68	0,000633	0,000617				первая трещина
																140000,00				
22				1,05	23,14	73,43	13,40	74,9	32,51	8,660	8,670	220,00	15400	1,03	0,001133	0,001100				
																154000,00				
23	1,10	22,86	73,20	12,52	74,61	32,20	8,480	8,420	240,00	16800,00	1,63	0,001733	0,001933							
													168000,00							
24	1,15	22,59	72,79	11,42	74,28	31,92	8,290	8,175	260,00	18200	2,41	0,002367	0,002750							
													182000,00							

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
25	пуст	11.06.2021	B25	1,20	22,25	72,51	10,00	73,68	31,66	7,980	7,800	280,00	19600	3,46	0,003400	0,004000				
															196000,00					
26				1,25	21,96	72,33	8,81	73,34	31,38	7,660	7,430	300,00	21000	4,37	0,004467	0,005233				
																210000,00				
27				1,30	21,70	72,14	7,90	73,07	31,15	7,420	–	320,00	22400	5,05	0,005267	0,000000			сбит M2	
																224000,00				
27				1,35	21,44	71,95	6,80	72,75	30,90	7,050	–	320,00	22400	5,89	0,006500	0,000000				
																224000,00				
28				1,40	21,14	71,67	5,60	72,45	30,59	6,700	–	340,00	23800	6,79	0,007667	0,000000			полное напряжение	
																238000,00				
29	–	24,09	74,57	13,30	75,60	33,77	8,260	–	0,00	0	2,14	0,002467	0,000000			остаточная деформация без нагрузки				
					-0,69	-0,42	-2,78	-0,79	-0,67	0,740	–									

Испытания модели плиты с пустотообразователями были закончены на нагрузке 2380 кг.

Выводы по третьей главе

В этой главе было произведено уточнение и правка, ранее принятого, испытательного стенда.

Также в этой главе были поэтапно описаны проведённые испытания, результаты которых приведены в табличном виде.

При проведении экспериментального исследования образцов – моделей плит, контролировались показатели прочности, жесткости и трещиностойкости, в том числе ширина раскрытия трещин, образовавшиеся прогибы и значения нагрузок, которые вызывают контролируемое предельное состояние. Модель плиты со сферическими пустотообразователями выдержала меньшую приложенную нагрузку, в отличие от полнотелой плиты.

В модели плиты со сферическими пустотообразователями под нагрузкой, сначала образуются трещины, диагональные ее сторонам; затем продольные. В полнотелой модели плиты – сначала появилась продольная, затем диагональные с продольными одновременно.

Глава 4 Оценка результатов испытаний моделей плит

Чтобы оценить полученные результаты, построим графики. Для этого, требуется найти значения моментов от каждой нагрузки, снятой с динамометра.

Для нахождения значений моментов в программе «Ли́ра-САПР» была задана модель плиты с необходимыми характеристиками и приложенной силой в виде четырех сосредоточенных сил, симитировав тем самым ситуацию, близкую к эксперименту. Расстояние между силами вдоль осей X и Y составило 335 мм. Фрагмент расчета в программе «Ли́ра-САПР» показан на рисунке 33.

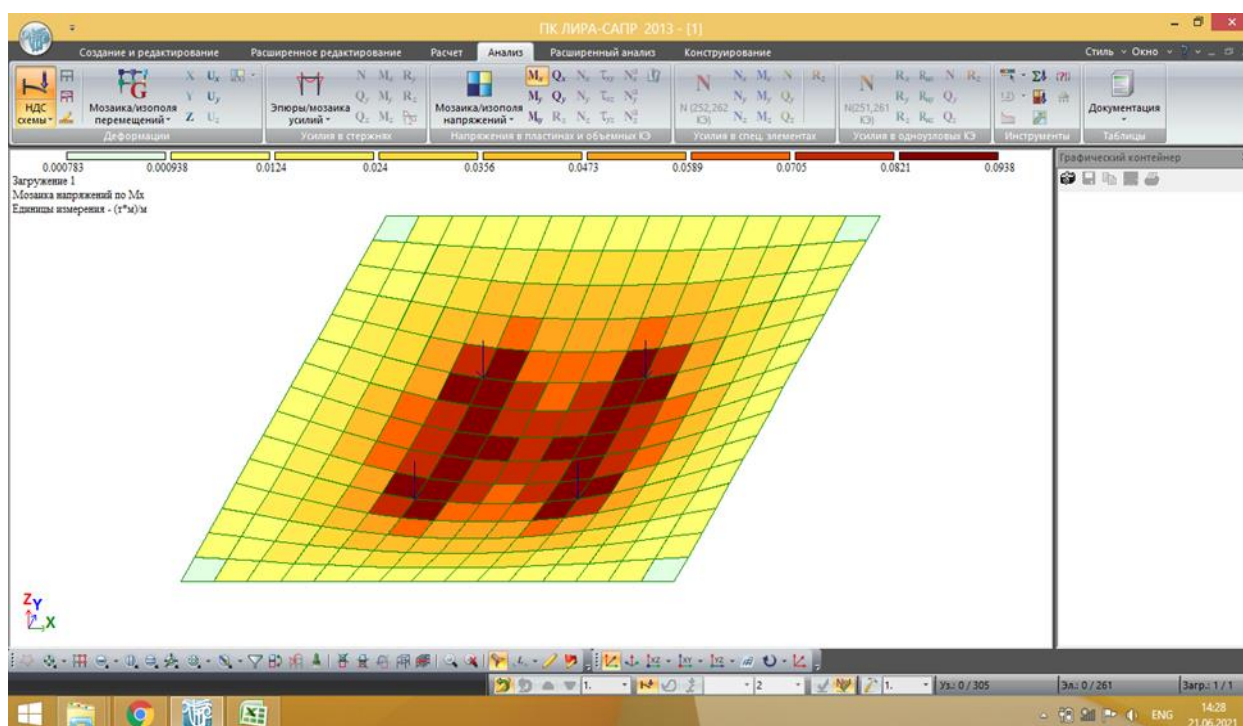


Рисунок 33 – Испытанная модель железобетонной плиты в программе «Ли́ра-САПР»

Максимальный момент от каждой тонны приложенной нагрузки ($4 \times 0,25 \text{ т} = 1 \text{ т}$) составил $0,094 \text{ (т} \times \text{м)}/\text{м}$. В дальнейших расчётах он будет использоваться как коэффициент.

Значения моментов находятся по формуле:

$$M_i = 0,094 \times F_i, \quad (2)$$

Все полученные в результате расчётов значения моментов для каждой модели плиты были перенесены в таблицу. Значения прогибов с небольшой корректировкой для плавности, перенесены из таблиц 3 и 4 столбец (15) в таблицу 5.

Таблица 5 – Сводная таблица результатов испытаний

№ ступени	M, (Т×М)/М×10 ³		f, мм		Деформации арматуры, εs × 10 ⁵					
	M ^{полнп}	M ^{пусп}	f ^{полнп}	f ^{пусп}	M1 ^{полнп}	M2 ^{полнп}	M ^{полнп} _{ср}	M1 ^{пусп}	M2 ^{пусп}	M ^{пусп} _{ср}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,29	3,29	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	6,58	6,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	9,87	9,87	-0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	1,49	1,49	1,49
4	13,16	13,16	-0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	1,49	1,49	1,49
5	16,45	16,45	0,01	0,05	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
6	19,74	19,74	0,01	0,07	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
7	23,03	23,03	0,03	0,07	2,99	2,99	2,99	4,48	4,48	4,48
8	26,32	26,32	0,03	0,09	2,99	2,99	2,99	5,97	4,48	5,22
9	32,90	32,90	0,04	0,12	2,99	2,99	2,99	5,97	5,97	5,97
10	39,48	39,48	0,04	0,12	5,97	5,97	5,97	7,46	7,46	7,46
11	46,06	46,06	0,08	0,15	5,97	5,97	5,97	7,46	7,46	7,46
12	52,64	52,64	0,08	0,20	8,96	6,67	7,81	8,96	8,96	8,96
13	59,22	59,22	0,12	0,20	8,96	10,00	9,48	10,45	10,45	10,45
14	65,80	65,80	0,12	0,23	8,96	10,00	9,48	11,94	11,94	11,94
15	72,38	72,38	0,16	0,26	11,94	10,00	10,97	13,43	13,43	13,43
16	78,96	78,96	0,16	0,29	11,94	10,00	10,97	14,93	14,93	14,93
17	92,12	92,12	0,18	0,33	14,93	13,33	14,13	16,42	16,42	16,42
18	105,28	105,28	0,22	0,42	17,91	13,33	15,62	20,90	20,90	20,90
19	118,44	118,44	0,25	0,52	20,90	16,67	18,78	28,36	26,87	27,61
20	131,60	131,60	0,30	0,68	23,88	16,67	20,28	37,31	35,82	36,57
21	144,76	144,76	0,31	1,03	23,88	20,00	21,94	56,72	55,22	55,97
22	157,92	157,92	0,35	1,63	26,87	23,33	25,10	101,49	98,51	100,00
23	171,08	171,08	0,41	2,41	33,33	26,67	30,00	155,22	173,13	164,18
24	184,24	184,24	0,53	3,46	40,00	33,33	36,67	211,94	246,27	229,10
25	197,40	197,40	0,77	4,37	63,33	56,67	60,00	304,48	358,21	331,34
26	210,56	210,56	0,91	5,05	73,33	66,67	70,00	400,00	468,66	434,33
27	217,14	217,14	1,26	5,89	100,00	93,33	96,67	471,64	–	471,64
28	223,72	223,72	1,75	6,79	100,00	100,00	100,00	582,09	–	582,09
29	236,88	236,88	1,75	–	133,33	130,00	131,67	686,57	–	686,57
30	250,04	–	2,41	–	183,33	186,67	185,00	220,90	–	220,90
31	263,20	–	3,39	–	336,67	316,67	326,67	–	–	–

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
32	276,36	–	4,46	–	516,67	496,67	506,67	–	–	–
33	289,52	–	5,35	–	633,33	613,33	623,33	–	–	–
34	302,68	–	6,93	–	746,67	736,67	741,67	–	–	–
35	315,84	–	7,89	–	843,33	830,00	836,67	–	–	–
36	–	–	9,75	–	516,67	496,67	506,67	–	–	–

Примечание – При моменте $M_{\text{пуск}} = 217,14(\text{т} \times \text{м})/\text{м} \times 10^3$, была случайно сбита мессура М2_{пуск}, данные не были сняты.

Для наглядности оставлены значения прогибов в миллиметрах. Относительные деформации, снятые по мессурам, были перенесены в таблицу с увеличением в 10^5 раз, подсчитано их среднее значение.

4.1 Сравнение полученных характеристик моделей плит в результате испытаний

Представим показания прогибомеров двух моделей плит в графическом виде (рисунок 34-35).

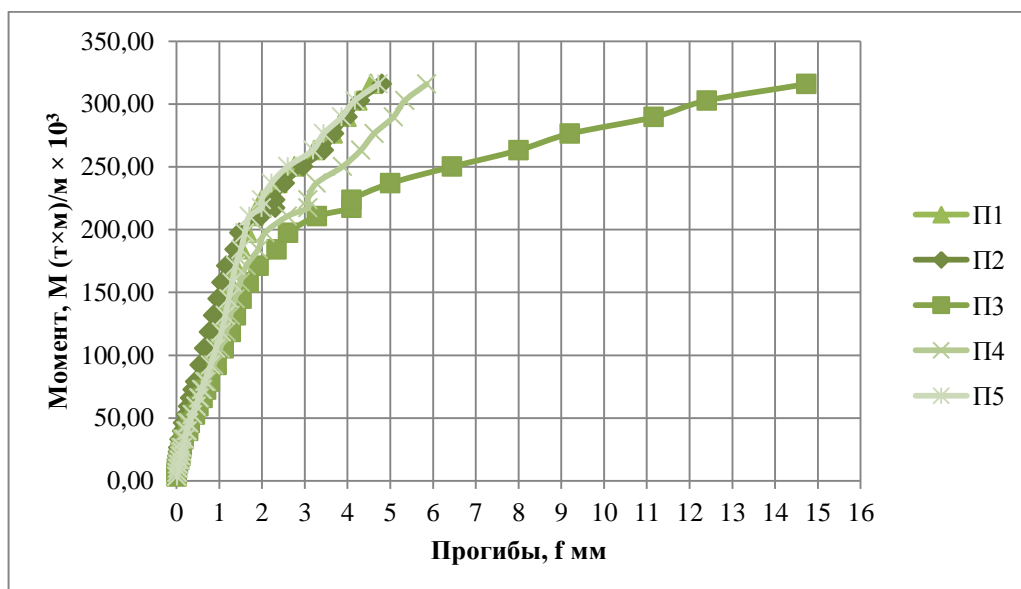


Рисунок 34 – Значения показаний прогибомеров модели плиты сплошного сечения в зависимости от роста моментов

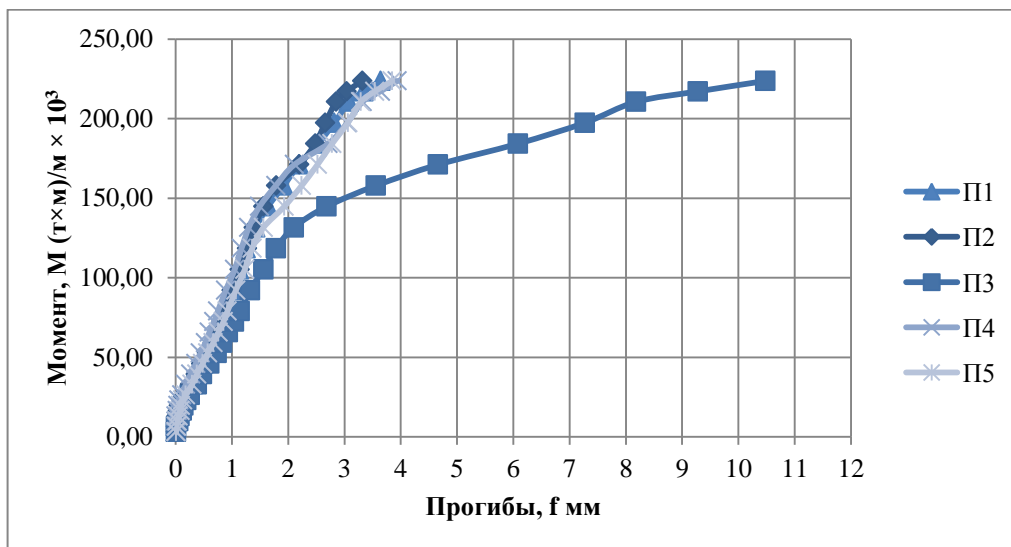


Рисунок 35 – Значения показаний прогибомеров модели плиты с пустотообразователями в зависимости от роста моментов

По графикам заметно, что самые большие прогибы фиксирует прогибомер П3, который установлен в центре каждой из моделей плит. Представим значение прогиба для каждой из моделей плит на рисунке 36.

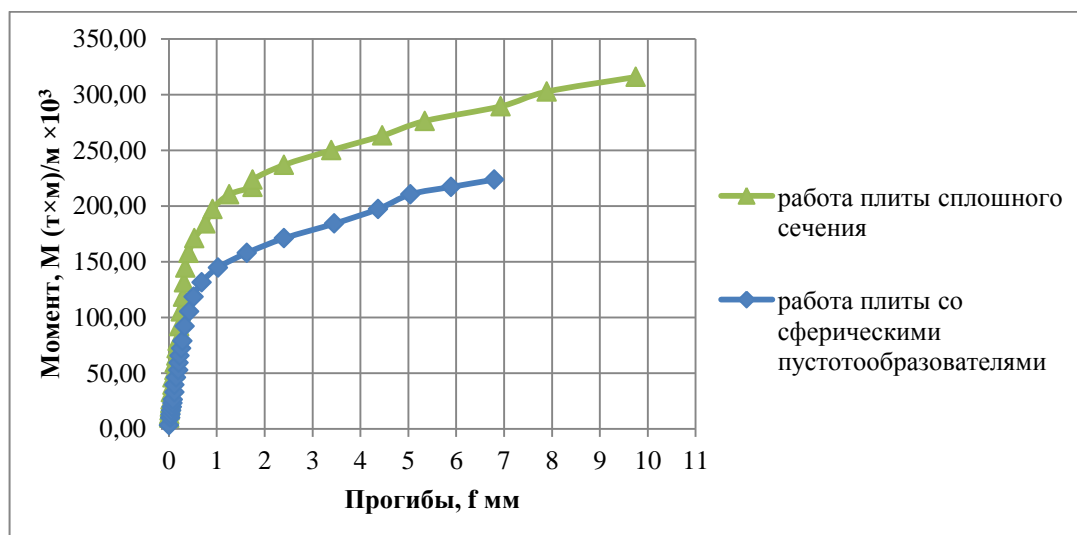


Рисунок 36 – Кривые нарастания прогибов моделей плит в зависимости от роста моментов

Значения показаний мессур в каждой из моделей плит практически идентичны, поэтому представим сразу усредненные значения деформаций арматуры на рисунке 37.

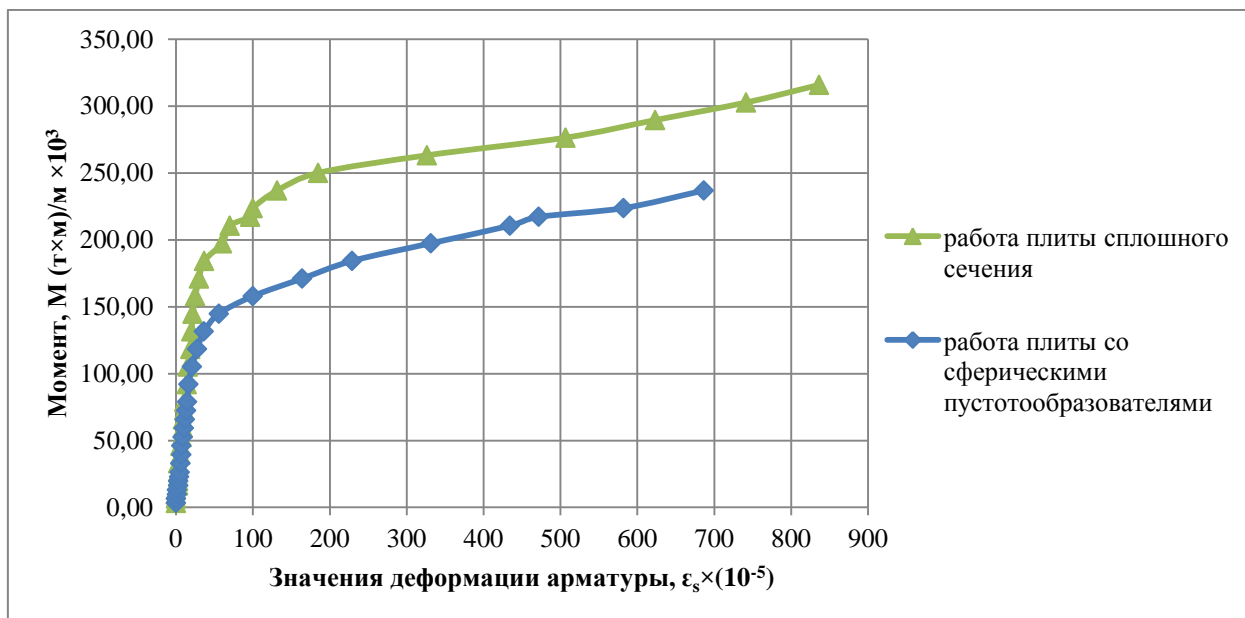


Рисунок 37 – Значения деформации арматуры моделей плит в зависимости от роста моментов

При первом взгляде на графики прогибов и деформаций в арматуре (рисунок 36-37), заметно, что деформации в модели плиты со сферическими пустотообразователями больше, чем модель плиты сплошного сечения при равной нагрузке.

4.2 Экспериментальное обоснование эффективности облегчённой конструкции монолитной плиты со сферическими пустотообразователями

При детальном рассмотрении графиков прогибов как модели полнотелой, так и модели плиты со сферическими пустотообразователями, видно, что при их нагружении обе модели плиты деформируются, изменяя свою форму из плоской в форму купола. Это показывают прогибы четырёх

сторон, осаживая (металлический каркас из уголка 100×100 мм, который удерживает модель плиты сверху, изгибается при повышении нагрузки) опоры установки для испытания.

В ходе испытания полнотелой модели, при достижении нагрузки появления первых трещин и максимальной разрушающей нагрузки, была зафиксирована последовательность появления трещин и их развитие. Аналогичным образом была зафиксирована последовательность и при испытании модели плиты со сферическими пустотообразователями (рисунок 38-39).



Рисунок 38 – Трещины испытанной модели полнотелой железобетонной плиты



Рисунок 39 – Трещины испытанной модели железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями

Заметно, что на модели полнотелой плиты трещин меньше и появлялись они сначала преимущественно в продольных направлениях относительно сторон модели плиты, затем в диагональных. В модели плиты со сферическими пустотообразователями напротив, сначала появлялись диагональные трещины, затем продольные; по количеству их больше, чем на модели полнотелой плиты. Ширина раскрытия трещин модели полнотелой плиты больше на 0,2 мм, чем у модели плиты со сферическими пустотообразователями (0,5 и 0,7 мм соответственно).

Здесь можно сделать вывод по образованию и развитию трещин, что модель плиты со сферическими пустотообразователями предпочтительнее модели полнотелой плиты, так как ее разрушение более прогнозируемо (предсказуемо). Её трещиностойкость меньше. То есть по появлению, количеству и ширине трещин, можно раньше успеть предпринять меры по предотвращению обрушения плиты.

Для корректного обоснования практической эффективности облегчённой конструкции монолитной плиты со сферическими пустотообразователями, был произведен сбор нагрузок для монолитной

плиты толщиной 200 мм, армированной арматурой диаметром 12 мм с шагом 200×200 мм по верхней и нижней сеткам (по которой и была разработана экспериментальная модель плиты, согласно п. 3.1 магистерской диссертации). Сбор нагрузок представлен в таблице А.1 приложения А.

Из сложившейся практики испытаний железобетонных конструкций следует, что величина расчетной эксплуатационной нагрузки с учетом веса плиты – это 60 % от предельной нагрузки, при которой плита разрушается. Из графиков прогибов видно, что появление первых трещин в модели плиты со сферическими пустотообразователями происходит при нагрузке меньше на 25 %, чем у модели полнотелой плиты. Также разрушение модели плиты со сферическими пустотообразователями происходит при нагрузке меньше на 25 %, чем у модели полнотелой плиты. Вес модели полнотелой плиты 144 кг, тогда как модели плиты со сферическими пустотообразователями 117 кг, а значит она легче на 19 %.

Собранные расчетные нагрузки широко применяемой монолитной полнотелой железобетонной плиты, представленные в таблице А.1, дают понять, насколько вес плиты со сферическими пустотообразователями будет легче, а значит передаваемые нагрузки на фундамент будут меньше, соответственно, и осадка здания будет меньше, фундаменты легче. Всё это повлечёт экономию на бетонной смеси и её транспортировке, подъеме к месту укладки, трудозатраты по ее укладке и уходу за бетоном. Численно экономия составит около 19 %. И это, не считая энергоэффективность и лучшую звукоизоляцию от применения плиты со сферическими пустотообразователями.

Из этого следует, что уступающая на 25 % по полученным в ходе испытания характеристикам, модель плиты со сферическими пустотообразователями по сравнению с моделью полнотелой плиты, на самом деле уступает ей лишь на 6 % при учете меньшего веса модели плиты.

Можно добиться идентичности моделей плит по характеристикам, если отдельно исследовать увеличение высоты сжатой зоны модели плиты со

сферическими пустотообразователями, а также исследовать увеличение сечения арматуры растянутой зоны, уменьшив сечение в верхней зоне.

Рекомендации по применению облегченного монолитного перекрытия со сферическими пустотообразователями в строительстве

Данный вид плиты будет полезен при строительстве многоэтажных жилых домов, так как его применение принесет не только экономический эффект, но и улучшит звукоизоляцию и энергоэффективность всего здания в целом. Также его применение целесообразно при строительстве объектов, которые удалены от места расположения бетонных заводов, так как снизятся расходы на доставку бетонной смеси.

Выводы по четвертой главе

В этой главе было произведено экспериментальное обоснование эффективности предложенной и разработанной модели плиты со сферическими пустотообразователями.

При одинаковой нагрузке, полученные характеристики модели плиты со сферическими пустотообразователями были на 25 % меньше модели полнотелой плиты, однако это практически компенсируется снижением количества требуемого бетона, а, следовательно, и снижением нагрузки на фундамент здания или сооружения.

Заключение

1. В результате анализа основных типов железобетонных плит предметом исследования стала монолитная железобетонная плита со сферическими пустотами.

2. Исходя из условий и возможности технической базы, разработаны модели монолитных железобетонных плит – полнотелой и со сферическими пустотообразователями (шарами из пенополистирола).

3. С заменой объема бетона шарами из пенополистирола масса модели плиты со сферическими пустотообразователями составила 117 кг, что на 27 кг (19 %) меньше модели полнотелой плиты массой 144 кг.

4. Модель плиты со сферическими пустотообразователями была разрушена при изгибающем моменте $0,190 \text{ (т}\times\text{м)/м}$, что на 25 % меньше, чем модели полнотелой плиты – $0,255 \text{ (т}\times\text{м)/м}$.

5. При разрушающей нагрузке прогиб модели полнотелой плиты и модели плиты со сферическими пустотообразователями был одинаковым и составил примерно 3,88 мм.

6. При появлении первой трещины в модели полнотелой плиты величина деформации арматуры составила $63,33 \times (10^{-5})$, в модели плиты со сферическими пустотообразователями меньше на 10,5 % и составила $56,72 \times (10^{-5})$.

7. При появлении первой трещины в модели плиты сплошного сечения ($0,1842 \text{ (т}\times\text{м)/м}$) величина прогиба составила 0,76 мм. В модели плиты со сферическими пустотообразователями при моменте $0,1316 \text{ (т}\times\text{м)/м}$ была меньше на 10,5 % и составила 0,68 мм.

8. В модели плиты со сферическими пустотообразователями под нагрузкой сначала образуются трещины диагональные ее сторонам, затем продольные попеременно с диагональными, что соответствует общепринятой картине трещинообразования. В модели полнотелой плиты сначала

появилась продольная трещина, затем диагональные попеременно с продольными.

9. В конечной точке нагружения при изгибающем моменте в $0,2237 \text{ (т}\times\text{м)}/\text{м}$ количество трещин у модели плиты со сферическими пустотообразователями больше, максимальная ширина раскрытия трещин в области приложения нагрузки $0,5 \text{ мм}$, у модели полнотелой плиты количество трещин меньше, максимальная ширина раскрытия трещин в области приложения нагрузки $0,3158 \text{ (т}\times\text{м)}/\text{м}$ составила $0,7 \text{ мм}$.

10. Конструкция облегченной монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями должна быть подвергнута дальнейшему тщательному изучению, особенно следует уделить внимание высоте сжатой зоны плиты.

11. Можно говорить о рациональности применения при возведении зданий и сооружений облегченной монолитной железобетонной плиты со сферическими пустотообразователями, так как это не только уменьшает нагрузку на фундаменты, осадку здания, увеличивает экономию средств на строительство, но улучшает на звукоизоляцию.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В. Комплексная разработка технологии возведения монолитных конструкций высотных и уникальных зданий // [Электронный ресурс]: учебное пособие; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. – Электронные текстовые и графические данные (7,3 Мбайт). – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. 148 с.
2. Арискин М. В., Болдырев С. А. Методы экспериментальных исследований строительных конструкций. Определение физико-механических свойств строительных конструкций современными приборами // учеб. пособие; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2015. 80 с.
3. Бай В. Ф., Ротштейн Д. М., Худышкина Н. Ю. О трещиностойкости железобетонных плит перекрытий, изготавливаемых способом непрерывного безопалубочного формования В сборнике: Мировая наука и образование в условиях современного общества // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях // ООО "АР-Консалт". 2014. С. 102–104.
4. Босаков С. В., Мордич А. И., Карякин А. А., Сонин С. А., Дербенцев И. С. Распределение усилий под нагрузкой в многопустотных плитах сборно-монолитного перекрытия, опертого на несущие стены // Наука и техника. 2019. Т. 18. № 2. С. 93–103.
5. Босаков С. В., Мордич А. И., Симбиркин В. Н. К повышению несущей способности и жесткости перекрытий, образованных многопустотными плитами // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 4. С. 30–36.
6. Бугаевский, С. А. Современные облегченные железобетонные перекрытия с применением неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей // Науковий вісник будівництва. – 2015. – № 3. 73 с.

7. Вернигорова В. Н., Саденко С. М. Долговечность строительных материалов // учеб. пособие – Пенза: ПГУАС, 2016. 220 с.
8. Гончарова М. А., Ивашкин А. Н., Коста А. А. Подбор и оптимизация составов бетонов для производства многопустотных плит перекрытия безопалубочного формования // Строительные материалы. 2017. № 3. С. 35–38.
9. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2018.
10. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартиформ, 2019.
11. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности. – Введ. 1980-01-01. – М.: Стандартиформ, 2018.
12. ГОСТ 13015-2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартиформ, 2018.
13. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). – Введ. 1971-01-01. – М.: Стандартиформ, 2012.
14. ГОСТ 18105-2018 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.- Введ. 2020-01-01.- М.: Стандартиформ, 2018.
15. ГОСТ 22690-2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – Введ. 2016-04-01. – М.: Стандартиформ, 2016.
16. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – Введ. 2012-10-01. – М.: Стандартиформ, 2012.
17. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2013.

18. ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – Введ. 2016-09-01. – М.: Стандартинформ, 2017.
19. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия. – Введ. 2012-01-01.- М.: Стандартинформ, 2018.
20. ГОСТ 8829-2018 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. – Введ. 2019-09-01. – М.: Стандартинформ, 2019.
21. Ерышев В. А., Полева М. И. Стенд для испытания плоских конструкций / патентообладатель «федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тольяттинский государственный университет" (RU) // патент на полезную модель RUS № 166196. Заявка № 2015157431/28 от 31.12.2015. Оpubл. 20.11.2016. 10 с.
22. Коноплёв С. Н. Организация контроля прочности бетона монолитных конструкций по образцам. Часть 1 // [Электронный ресурс] – Электрон. журн. – Москва: Композит XXI век, 2015. – Режим доступа: свободный. – статья в журнале - научная статья (elibrary) . С. 36–39.
23. Коцюра И. П., Деркач Е. А., Шалобыта Н. Н. Экспериментальное исследование балочного фрагмента монолитной многопустотной плиты перекрытия // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2016. Т. 6. № 1. С. 74–81.
24. Маилян Д. Р., Сербиновский П. А., Сербиновский А. В. Конструкция усиления железобетонной многопустотной плиты перекрытия // патент на изобретение RUS № 2610951. Заявка № 2015154410 от 17.12.2015. Оpubл. 17.02.2017. 8 с.
25. Мордич А. И., Босаков С. В., Карякин А. А., Сонин С. А. О конструкции и расчете плоского сборно-монолитного перекрытия, опертого на несущие стены с большим шагом // В сборнике: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению

развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2016 году Сборник научных трудов РААСН. Сер. "Научные труды РААСН" Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва, 2017. С. 261–270.

26. Сапожников А. И., Егупов К. А. Работа сборного перекрытия в его плоскости и способы повышения его прочности и жесткости // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 5. С. 54–58.

27. Смоляго Г. А., Дрокин С. В., Дронов А. В., Белоусов А. П., Смоляго Е. Г. Конструктивная безопасность монолитных железобетонных перекрытий по несущей способности и деформативности. Строительство и реконструкция. 2019. № 4 (84). С. 83–92.

28. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – Введ. 2019-06-20.- М.: Минстрой России, 2018.

29. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с Изменениями N 1, 3). – Введ. 2013-07-01.- М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.

30. Шагин Н. Е., Генералова А. А., Савина Н. В. Испытание сборной железобетонной плиты перекрытия В сборнике: VIII Всероссийский фестиваль науки Сборник докладов. В 2-х томах. Под редакцией И. С. Соболя, Н. Д. Жилиной [и др.]. 2018. С. 124–128.

31. Bayan S. Al-Nu'man1 and Caesar S. Abdullah. Modeling Deflection Control of Reinforced Concrete Slab Systems Using Utility Theory and Sensitivity Analysis // Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Ishik University, Erbil, Iraq Structural Engineer. 2018. S. 153–157.

32. Hyung Gyun Noh, Hie Chan Kang, Moo Hwan Kim, Hyun Sun Park. Estimation Model for Effective Thermal Conductivity of Reinforced Concrete Containing Multiple Round Rebars // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2018. 10 s.

33. Joo-Hong Chung, Hyung-Suk Jung, Baek-il Bae, Chang-Sik Choi, and Hyun-Ki Choi. Two-Way Flexural Behavior of Donut-Type Voided Slabs //

International Journal of Concrete Structures and Materials, January 15, 2018. S. 2219–2222.

34. Sergiu Călin, Ciprian Asăvoaie, N. Florea. Issues for Achieving an Experimental Model Concerning Bubble Deck Concrete Slab with Spherical Gaps //Gheorghe Asachi” Technical University of Iași Department of Concrete Structures, Building Materials, Technology and Management. 2016. 8 s.

35. Seunguk Na, Inkwan Paik, Sung-ho Yun, Huu Chi Truong, Young-Sook Roh. Evaluation of the Floor Impact Sound Insulation Performance of a Voided Slab System Applied to a High-Rise Commercial Residential-Complex Building// International Journal of Concrete Structures and Materials. 2019. 10 s.

36. Xudong Hua, Xingwei Xue, Junlong Zhou and Hai Zhang. Experimental and Numerical Analysis of The Used Hollow Slab School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang. 2018. 4 s.

Приложение А

Нормативные и расчётные нагрузки перекрытия

Таблица А.1 – Нормативные и расчётные нагрузки на 1 м² перекрытия

Вид нагрузки	Нормативные нагрузки кН/м ²	Коэффициент надёжности по нагрузке	Расчетные нагрузки кН/м ²
Постоянные:	5,00	1,1	5,50
1. Собственный вес плиты высотой сечения $\delta = 200$ мм $25 \times 0,2 \times 1 = 5,00$			
2. Ограждающие конструкции из пеноблока, базальтового утеплителя и штукатурки	1,5	1,1	1,65
3. Конструкция пола: линолеум толщиной $\delta = 4$ мм $5 \times 0,004 \times 1 = 0,02$	0,02	1,3	0,026
4. Цементно-песчаная стяжка с фиброй $\delta = 50$ мм $18 \times 0,05 \times 1 = 0,90$	0,90	1,3	1,17
Итого постоянная	7,52	–	8,346
Временная	2,50	1,2	3,00
в том числе кратковременная	1,50	1,2	1,80
Полная	10,02	–	11,346
в том числе постоянная и временная длительная нагрузки	8,52	–	9,546