

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 / специальности)

Строительство, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Гибридная балка на основе тяжелого бетона, стальной арматуры и несъемной опалубки из фибробетона

Обучающийся

Е.А. Костерина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

канд.техн.наук, доцент, Д.С.Тошин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Содержание

Введение.....	3
Глава 1 Обзор литературы. Постановка задач исследования.....	6
1.1 История развития монолитного железобетона и опалубки.....	6
1.2 Виды опалубок. Их преимущества и недостатки.....	10
1.3 Бетон. Свойства бетона.....	21
1.4 Физико-механические свойства бетона.....	27
1.5 Фибробетон и его свойства.....	30
1.6 Виды фибры.....	31
1.7 Методы производства фибробетона.....	36
Глава 2 Разработка экспериментальных исследований.....	40
2.1 Сталефибробетон.....	40
2.2 Несъемная опалубка. Размеры сечения балки с несъемной опалубкой.....	41
2.3 Разработка деформационной модели расчета гибридной балки по нормальному сечению.....	46
2.4 Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям второй группы.....	52
Глава 3 Сравнение полученных результатов.....	56
3.1 Расчет железобетонной балки по предельным усилиям.....	56
3.2 Расчет железобетонной балки по деформационной модели.....	57
3.3 Расчет гибридной балки по деформационной модели.....	63
3.4 Сопоставление результатов расчета по двум балкам.....	67
Заключение.....	68
Список используемой литературы и используемых источников.....	69
Приложение А Результаты итераций.....	73

Введение

Актуальность темы. В настоящее время широко распространено устройство монолитных зданий и сооружений. Свою популярность данная технология получила из-за экономической выгоды, так как монолитные здания нестандартных размеров строятся в несколько раз быстрее. Также данные конструкции популярны из-за отсутствия швов, что способствует повышению устойчивости к возникновению трещин в несущих стенах в процессе эксплуатации.

Благодаря технологии монолитного строительства зданию можно предать разнообразные проектные решения. Для придания формы конструкциям чаще всего используется съемная опалубка, что, в свою очередь, сильно замедляет и усложняет процесс строительства.

Так как в настоящее время наблюдается увеличение роста строительства гражданских и промышленных зданий и сооружений для улучшения качества получаемых построек, есть необходимость в постоянной модернизации и совершенствовании используемых строительных конструкций.

При строительстве монолитных зданий и сооружений производство перекрытий и балок перекрытия является одним из наиболее материалоемких и трудоемких процессов. При новом строительстве устройство конструкций перекрытия может потребовать большого количества грузоподъемных механизмов или работ, связанных с устройством съемной опалубки, что повлечет за собой увеличение сроков строительства, сделает процесс более трудоемким и дорогостоящим.

В отличие от демонтируемой опалубки несъемная опалубка, после набора прочности бетона, становится единым целым со всей конструкцией перекрытия. Такая технология монтажа зданий и сооружений может способствовать повышению некоторых физико-механических свойств конструкции.

Таким образом, при использовании гибридной балки с несъемной опалубкой из фибробетона можно добиться повышения эксплуатационных характеристик при этом снизить материалоемкость и трудоемкость изготовления строительных конструкций, а также добиться более экономически выгодных результатов.

Цель исследования – повышение эксплуатационных свойств монолитных конструкций перекрытия зданий и сооружений с несъемной опалубкой из фибробетона при снижении материалоемкости и трудоемкости процесса.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить научную литературу, публикации зарубежных и отечественных ученых, связанные с гибридными балками с несъемными опалубками;
- разработать программу теоретических исследований;
- подготовить проект несъемной опалубки для исследуемой конструкции;
- разработать деформационную модель расчета гибридной балки по нормальному сечению;
- разработать деформационную модель расчета классической железобетонной балки;
- проанализировать и сравнить результаты расчета;
- оценить преимущества гибридной конструкции.

Предметом исследования является несущая способность гибридной балки на основе тяжелого бетона, стальной арматуры и несъемной опалубки из фибробетона, а также ее жесткость и трещиностойкость.

Объектом исследования магистерской диссертации является – железобетонная гибридная балка.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

- снижении материалоемкости процесса строительства;

- снижении трудоемкости процесса строительства;
- повышении эксплуатационных свойств;
- снижении стоимости строительства монолитных зданий и сооружений.

Основные методы исследования, применяемые при написании магистерской диссертации:

- теоретический;
- эмпирический.

Практическая значимость заключается в:

- возможности массового применения в строительстве гибридных балок из тяжелого бетона и опалубкой из фибробетона;

- повышении технических характеристик;
- снижении трудоемкости процесса строительства;
- снижении материалоемкости;
- снижении стоимости строительства.

Структура магистерской диссертации.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, содержит 22 рисунка, 12 таблиц, список используемой литературы (30 источников). Текст работы изложен на 99 листах.

Глава 1 Обзор литературы. Постановка задач исследования

1.1 История развития монолитного железобетона и опалубки

На сегодняшний день строительство из монолитного железобетона является наиболее востребованной технологией возведения как зданий или сооружений, так и отдельных частей здания.

Впервые бетон начали применять в строительстве в Древнем Риме. В то время бетон включал в свой состав гипс, известь и глину. Из данной смеси возводили арки, купола и водоводы. Но данная смесь не похожа на тот бетон, который применяют в современном строительстве, так как она не была жидкой. Такой бетон укладывался вручную слоями между камней разных размеров и форм.

Помимо бетона Римская Империя стала первым государством, в документации которого упоминается использование опалубки. Строительство в ней развивалось с огромными темпами. Для знати возводились великолепные дворцы, а для развлечений строились арены. В то время использовался аналог современного бетона, который применялся в комплексе с формами того времени для придания форм конструкциям. Эту роль выполняла первая опалубка, цена которой была достаточной высокой.

В качестве опалубки древние римляне использовали деревянные щиты для создания временных форм, которые позволяли предать бетону различные очертания. Использование щитов давало людям возможность создавать сложные архитектурные формы, достичь которых было невозможно при использовании традиционных строительных материалов, таких как камень. При помощи опалубки стали создаваться арочные конструкции и купола, которые дали начало для новых архитектурных решений. Благодаря таким щитам были созданы величественные сооружения, которые поражают своей красотой до сих пор. Одним из таких творений является Пантеон.

Хоть использование деревянных щитов занимало много времени и требовало больших усилий при их установке новый подход к строительству позволял добиться более высокой прочности конструкций и ее долговечности. Эти факторы и повлияли на успех в применении опалубки при строительстве.

Мастера того времени использовали опалубку двух видов: разборную и капитальную. При использовании в строительстве капитальной опалубки она оставалась частью возводимого здания и не была подвержена демонтажу. Благодаря использованию такой технологии строительства возводились здания, которые по сей день выглядят очень красиво и величественно.

После Римской империи применение бетона в строительстве было замечено в средние века. Состав цемента был усовершенствован и в него стали входить вода, заполнитель и вяжущий компонент.

Опалубочная система усложнилась, помимо этого люди стали лучше понимать как работает бетон и как лучше можно избежать деформаций при возведении конструкций. Это позволило возводить здания и сооружения еще более сложных форм.

В девятнадцатом веке здания, построенные из монолитного бетона, не имели большой популярности среди населения, так как, в основном, при строительстве домов предпочитали камень или кирпич. Из монолитного бетона возводились только здания промышленного назначения.

В двадцатом веке на смену деревянным опалубкам пришли металлические. Такие опалубки были более долговечными, а при их использовании было проще добиться точности в строительстве. При использовании металла в качестве опалубки скорость строительства возросла в несколько раз, так как она поспособствовала в развитии сборно-разборных систем и была легче при демонтаже, чем деревянные щиты.

Использование металлической опалубки позволило вывести строительство на новый этап. Благодаря металлической опалубки стали строить небоскребы, мосты и тоннели. также были разработаны первые

стандартные элементы опалубок, что также позволило увеличить скорость строительства при необходимости массовой застройки.

Впервые идея использовать металл вместе с бетоном в девятнадцатом веке пришла в голову сразу нескольким людям. Это были Жан Луи Ламбо – адвокат, Франсуа Куанье – инженер, Жозеф Монье – садовник, Ньюкасла Вильям Уилкинсон – штукатур. Идея создания железобетона заключалась в том, что бетон совместно работает с арматурой. Арматура принимает на себя растягивающие усилия, в то время как бетон воспринимает на себя сжимающие напряжения, а также защитный слой бетона защищает арматуру от коррозии.

Большинство научных открытий, связанных с изобретением железобетона и опалубки было получено во Франции. Так, садовник Жозеф Монье стал первым кто в 1867 году запатентовал сочетание двух материалов: металла и бетона, и съемную опалубку. При помощи монолитного железобетона и опалубки он создавал прочные горшки из бетона для пальм для отправления их на острова.

Технология устройства конструкций из монолитного железобетона с применением опалубки начала широко использоваться в строительстве только после 1886 года. Именно в то время свойства железобетона были изучены в той степени, которой достаточно для того, чтобы безопасно возводить здания и сооружения.

Таким образом железобетон и опалубка обрели популярность в строительстве и в других странах, где, в течении долгого времени модернизировались и становились практичнее и удобнее.

В России монолитные железобетонные конструкции обрели свою популярность только после 1891 года, после того как выдающийся русский строитель Н.А.Белелюбский провел первую серию испытаний таких конструкций.

После того, как монолитное строительство обрело огромную популярность было проведено огромное количество испытаний с целью

увеличения несущей способности производимых конструкций. В 1917 году инженер Эжен Леон Фрейсине изобрел новую технологию уплотнения бетонной смеси, а именно способ механической вибрации. Данная технология по сей день актуальна в строительстве.

На сегодняшний день строительство монолитных железобетонных зданий имеет огромную популярность. В строительстве таких зданий невозможно обойтись без применения опалубки. С течением времени технологии изготовления данной вспомогательной конструкции развивались, поэтому современная опалубка отличается своей прочностью, доступной ценой, простотой и точностью установки. Ее можно разделить на следующие категории:

- для заливки стен, фундаментов;
- для заливки колонн;
- для заливки перекрытий.

Для изготовления опалубок применяют следующие материалы:

- дерево;
- ламинированная фанера;
- металл;
- железобетон;
- ткань и резина;
- пластик и армоцемент.

«Технология возведения строительных конструкций с использованием несъемной опалубки более 30 лет успешно применяется в западных странах. В России дома из несъемной опалубки стали востребованы и строятся уже около 10 лет» [23].

1.2 Виды опалубок. Их преимущества и недостатки

Опалубка является неотъемлемой частью при возведении монолитных конструкций. Основное назначение данной конструкции заключается в придании и сохранении формы бетона в процессе его застывания до приобретения им достаточной прочности для самостоятельного существования. Опалубку можно разделить на две группы: съемная и несъемная.

В настоящее время несъемная опалубка приобрела большую популярность в строительстве зданий и сооружений, так как строительство при использовании данной конструкции занимает меньше времени и материалов, чем при использовании съемной опалубки. Помимо увеличения скорости строительства несъемная опалубка позволяет создавать более сложные формы зданий и сооружений при меньших усилиях.

В современных технологиях строительства монолитных железобетонных конструкций используются различные виды опалубок и различные методы их установок. В связи с этим, во время использования опалубок при строительстве могут возникнуть вопросы с выбором того или иного способа установки, связанные со спецификой строительства того или иного объекта.

«Монолитное бетонное и железобетонное строительство в современном мире позволяет создавать конструкции любой сложности с повышенными конструктивными характеристиками благодаря своим технологическим особенностям. Эффективность монолитного строительства во многом зависит от совершенствования опалубочных систем. Опалубочные системы – сложные конструкции, состоящие из формообразующих, поддерживающих, соединительных, технологических и других элементов» [23].

При использовании опалубки время, затрачиваемое на строительство монолитных зданий, уменьшается. Качество опалубки напрямую влияет на качество возводимого объекта, а также от опалубки зависит внешний вид

бетонных конструкций. Поэтому при строительстве монолитных зданий и сооружений зачастую встает вопрос о выборе основной вспомогательной конструкции для устройства стен, перекрытий, колонн и других составляющих элементов здания.

Современные опалубки имеют различные характеристики и могут предназначаться для установки в местностях с различными климатическими условиями.

«Главная отличительная черта несъемной опалубки – несъемная опалубка после схватывания с ней бетона становится частью конструкции здания. Это обеспечивает точность и прочность бетонной конструкции, а также ускоряет процесс строительства» [23].

Несъемные опалубки имеют несколько оснований для использования в строительстве:

- повышенное требование к поверхностям монолитных конструкций;
- отсутствие необходимости демонтировать опалубку после использования, что важно в труднодоступных местах;
- отсутствие возможности оборудования мест для хранения опалубки и ее сборки в связи с стесненными условиями строительной площадки;
- теплоизоляция строительных конструкций;
- небольшая масса изделий, что позволяет строить облегченные как малоэтажные, так и высотные здания, вести строительство без применения тяжелой грузоподъемной техники;
- улучшение условий твердения бетона.

Помимо облегчения строительства и экономии времени, опалубка должна выполнять еще ряд функций: защита бетона от повреждений; удержание влаги; теплоизоляция; правильная укладка бетонной смеси и арматуры.

«Несъемная опалубка является предварительно изготовленным изделием, поэтому:

- можно широко варьировать формы поверхностей;
- можно обеспечить однородность поверхности;
- появляется возможность использования различных материалов;
- при серийном изготовлении можно добиться существенного снижения стоимости» [5].

В современном строительстве имеются следующие виды несъемной опалубки:

- опалубка из деревянной фанеры;
- стальная опалубка из металлических щитов;
- опалубка из стекломагнезита;
- опалубка из арболита;
- опалубка из бетонных блоков;
- опалубка из пенополистирола.

Деревянная опалубка является самой дешевой конструкцией из всех представленных на строительном рынке. Помимо цены с ней также нельзя соперничать в простоте монтажа.

«Опалубка из деревянной фанеры характеризуется большой шириной панели, плоской поверхностью и большой несущей способностью. Она изготавливается из дерева и обладает высокой прочностью и устойчивостью к влаге. Она также может быть легко обрезана и изменена в размере, что делает ее очень удобной в использовании» [23].

Преимущества фанеры также заключаются в том, что она является очень гибким материалом и имеет способность сохранять сложную форму. Такие качества ценятся при создании сложных и необычных форм зданий, которые воплощают дизайнеры и архитекторы по требованиям заказчиков.

При применении деревянной опалубки в качестве съемной возможна ее полная или частичная потеря при демонтаже. Этот критерий является недостатком данной строительной конструкции. Кроме того, «деревянные

панели могут быть менее прочными, чем металлические или бетонные, и могут требовать дополнительного ухода и обслуживания» [23].

Для сборки деревянной опалубки может применяться фанера различных видов:

– Обыкновенная фанера. Такая опалубка имеет количество слоев достаточное только лишь для того, чтобы выдержать нагрузку, воспринимаемую от раствора. Данный вид опалубки может быть деформирован в процессе заливания бетона, поэтому для избежания деформаций необходимо применять дополнительные крепления.

– Неламинированная. Степень шлифовки данного вида опалубка в несколько раз выше, чем у опалубки из обыкновенной фанеры, а также неламинированная фанера имеет пропитку, благодаря которой имеет более высокий уровень влагостойкости.

– Ламинированная. Имеет покрытие из полимерной пленки.

Опалубка из деревянной фанеры представлена на рисунке 1.

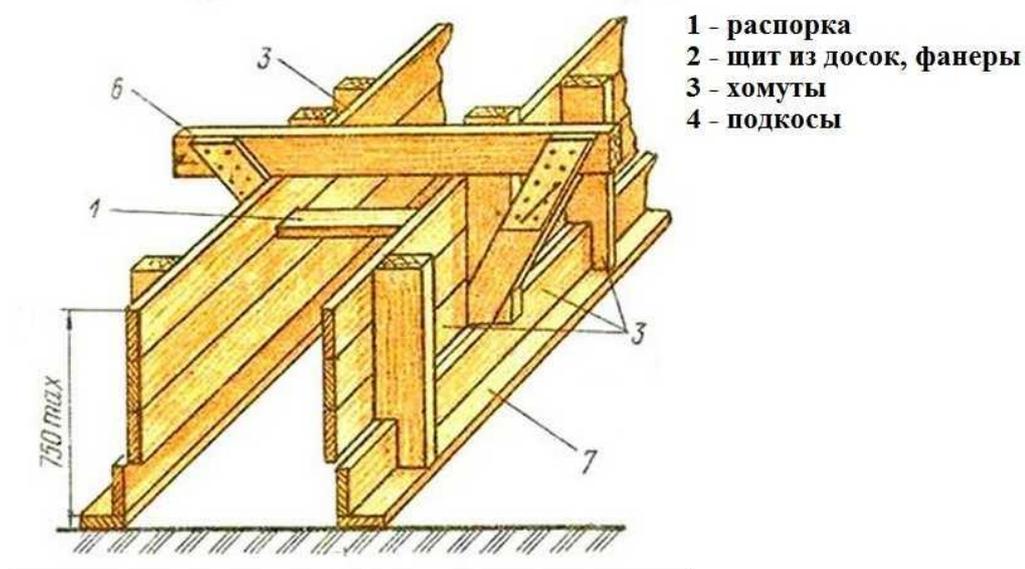


Рисунок 1 – Опалубка из деревянной фанеры

В современном профессиональном строительстве опалубка из деревянной фанеры принимается все реже и реже. Предпочтения отдаются другим видам, с применением которых строительные конструкции получаются более качественными.

«Стальная опалубка из металлических щитов – это современная технология опалубки, обладающая преимуществами высокой универсальности и удобной сборки. Она изготавливается из стали или алюминия и имеет различные размеры и формы. Однако она может быть тяжелой и сложной в транспортировке, а также могут потребоваться дополнительные инструменты для установки» [23].

Стальная опалубка представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Стальная опалубка

При применении стальной опалубки поверхность полученных конструкций получается идеально гладкой, поэтому демонтировать щиты получается в разы легче. Кроме того, при демонтаже щиты опалубки остаются целыми и не имеют повреждений, что позволяет применять их многократно.

Стальная опалубка бывает следующих видов:

– балочно-ригельная;

- крупнощитовая;
- мелкощитовая.

Опалубка из стекломагнезита. Стекломагнезит – новый материал на строительном рынке, альтернатива таким материалам как гипсокартон, ОСП, ЦСП. Состав данного материала дает ему такие преимущества, как влагостойкость, огнестойкость, повышенная прочность, а также устойчивость к плесени и грибкам. Благодаря данным положительным качествам этот материал подходит для применения в качестве несъемной опалубки.

«Опалубка из стекломагнезита – конструкция из листов стекломагнезита, которые скрепляются друг с другом с помощью специальных крепежных элементов. В состав материала входит стекло и магнезит – горная порода. Стекломагнезит обладает высокой прочностью и пожаробезопасностью. Такая опалубка имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными опалубками из дерева или металла. Она долговечна и не подвержена коррозии или плесени, а также легка в установке и не требует особых навыков в работе» [23].

Опалубка из стекломагнезита представлена на рисунке 3.

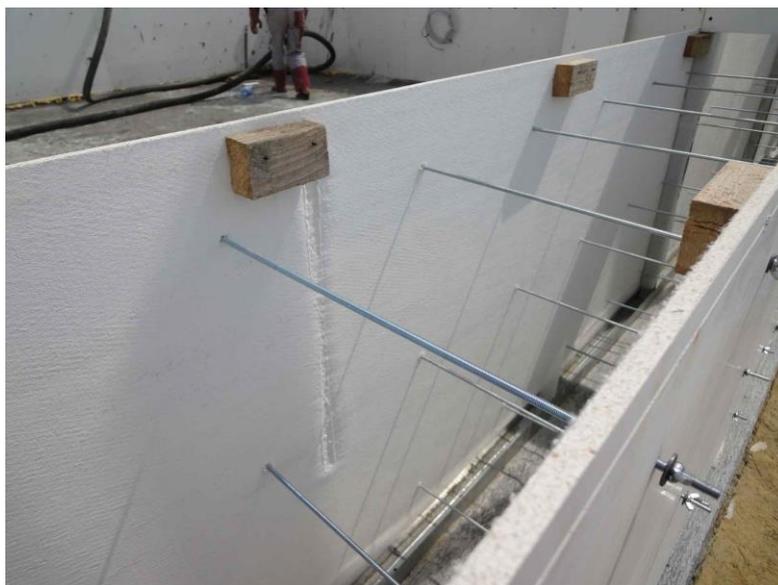


Рисунок 3 – Опалубка из стекломагнезита

«Опалубка из арболита. Арболит – материал на основе щепы, цемента и связующего. Для несъемной опалубки используются панели или полые блоки из арболита. Для скрепления панелей между собой применяются гвозди, стяжки и клей. Одним из главных преимуществ несъемной опалубки из арболита является ее легкость. Арболит обладает низкой теплопроводностью и является отличным утеплителем. Материал также обеспечивает качественную шумозащиту» [23]. Данный вид опалубки финансово выгодный, так как арболит недорогой, но прочный материал.

К недостаткам данного материала можно отнести пониженную устойчивость к влаге, из-за его состава. В связи с этим, при возведении зданий с применением данного вида опалубки стоит учитывать дополнительную гидроизоляцию поверхности.

Опалубка из арболита представлена на рисунке 4.

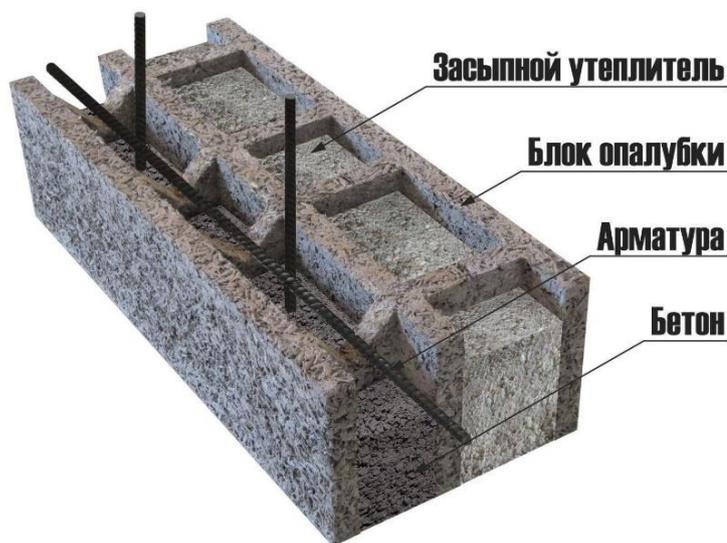


Рисунок 4 – Опалубка из арболита

Такой вид опалубки используется как правило для зданий и сооружений малой этажности.

«Опалубка из бетонных блоков состоит из специальных блоков из бетона, которые соединяются между собой и образуют определенную форму. Главным преимуществом несъемной опалубки из бетонных блоков является ее простота и удобство в установке. Она не требует специальных навыков и инструментов для монтажа, что экономит время и деньги на строительстве. На блоки выстилается паро- и гидроизоляция для обеспечения герметичности. Бетонный раствор заливается между блоками и при затвердении образуется монолитная конструкция с высокой несущей способностью» [23].

Конструкции, изготовленные с применением данной опалубки, получаются герметичными, так как не поглощают влагу, кроме того, такие конструкции имеют длительный срок эксплуатации. Кроме того, применение бетонных блоков в качестве опалубки позволяет добиться четких углов и правильной формы.

Недостатком данной вспомогательной конструкции являются возможные сложности с транспортировкой. Некоторые влоги могут иметь большой вес и быть крупногабаритными. Также данная опалубка не позволяет проводить строительные работы в зимнее время.

Опалубка из бетонных блоков представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Опалубка из бетонных блоков

«Опалубка из пенополистирола. В настоящее время в мире и в нашей стране наибольшее распространение получила несъемная изоляционная опалубка из пенополистирола. Надежная теплоизоляция, обеспечиваемая несъемной опалубкой из пенополистирола, позволяет относить здания с такой опалубкой к энергоэффективным строительным системам, что особенно важно для наших дней, когда проблема экономии энергетических ресурсов никогда еще не была столь острой» [17].

Опалубка из пенополистирола имеет следующие преимущества:

1. С применение блоков из пенополистирола в качестве несъемной опалубки можно возводить как простые постройки, так и монолитные конструкции сложных форм;

2. За счет небольшого веса блока из пенополистирола, опалубка проста в монтаже, так как блоки легко можно переносить без применения специальной техники;

3. Материал не выделяет вредных веществ и является полностью безопасным для окружающей среды.

Но, перед тем как принять решение использовать опалубку для монолитного строительства именно из этого материала, следует изучить недостатки, которые могут стать веской причиной, по которой стоит дать предпочтение другому виду опалубки.

Данный вид опалубки имеет следующие недостатки:

1. Пенополистирол не разлагается с течением времени, поэтому, при истечении срока эксплуатации здания или сооружения, построенного с применением данной опалубки, ее необходимо утилизировать.

2. Строительство с применением пенополистирола можно проводить только при положительных температурах не ниже плюс пяти градусов, поэтому строительство в зимнее время будет приостановлено.

3. Технология заливки бетона в данный вид опалубки имеет некоторые особенности, которые необходимо учитывать при строительстве. В связи с

этими особенностями время, затрачиваемое на возведение зданий или сооружений, может увеличиться в несколько раз.

4. Пенополистирол является слабогорючим материалом, а также относится к категории дымообразующих. Этот факт следует учитывать при строительстве, так как при возгорании опалубка из данного материала начнет выделять ядовитый газ, что может быть опасно для жизни.

Опалубка из пенополистирола представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Опалубка из пенополистирола

У каждой строительной конструкции имеются свои преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые из них.

К преимуществам несъемной опалубки можно отнести следующее:

– Экономия времени и денег на строительство, в связи с тем, что конструкция из несъемной опалубки сразу получается теплой и не требует дополнительного утепления.

– Нагрузка на фундамент от конструкций с применением несъемной опалубки меньше, а также такие конструкции равномерно распределяют нагрузку по всему фундаменту.

– Благодаря несъемной опалубке в конструкциях отсутствуют швы и просветы между элементами, поэтому конструкций получаются более прочные и надежные, а также герметичные.

– При использовании несъемной опалубки не нужно проводить дополнительную отделку поверхностей.

К недостаткам несъемной опалубки можно отнести следующее:

– «Ограниченность в выборе формы и размеров – несъемная опалубка не может быть изменена в процессе строительства, что может стать проблемой при необходимости создания нестандартных форм и размеров» [23].

– По технологии монтажа несъемная опалубка устанавливается в разы сложнее, чем съемная.

– «Построение конструкции из несъемной опалубки требует тщательной подготовки поверхности, на которой она должна быть установлена, чтобы обеспечить ее точность и прочность» [23].

«Требования и ограничения, применяемые к опалубкам, делятся на 2 группы:

– технические, предъявляемые к качеству готовых элементов и методу производства;

– экономические, касающиеся экономичности решений.

Технические требования опалубки вытекают из следующих условий:

– не должна мешать твердению бетона;

– должна защищать бетон от обезвоживания, замерзания и тому подобное;

– должна быть устойчива к щелочной среде, воздействию солнца, ветра и дождя;

– получаемые элементы должны быть прочными, точными и иметь нормальную поверхность.

Экономические требования заключаются в сокращении трудоемкости, расхода ресурсов и капиталовложений. Однако одним из недостатков несъемной опалубки является, тот факт, что при обследовании зданий и сооружений с несъемной опалубкой нельзя визуально оценить состояние несущих конструкций» [5].

«Несъемная опалубка и бетон должны характеризоваться идентичными свойствами, что связано с усадкой, ползучестью и возникновением температурных напряжений, поэтому несъемную опалубку целесообразно изготавливать из материалов с содержанием цемента» [5].

1.3 Бетон. Свойства бетона

Бетон – это каменный строительный материал, который состоит из щебня, цемента, воды, песка и различных добавок, которые способны значительно изменять его свойства. Бетона является одним из самых распространенных строительных материалов, свою популярность он приобрел за счет высоких физико-механических свойств и технологичность.

Бетон не является строительным материалом с одинаковым составом для различных условий строительства. Поэтому при строительстве важно правильно выбрать состав бетонной смеси. Рассмотрим подробнее компоненты бетонной смеси.

Щебень.

Щебень используется в качестве крупного заполнителя при приготовлении бетонной смеси и выполняет следующие функции:

- создание структурного каркаса, противостоящего усадочным напряжениям;
- увеличение прочностных показателей и модуля упругости;

– уменьшение стоимости материала, так как цемент стоит в разы дороже.

«Щебень – это рыхлый материал, получаемый путем искусственного дробления изверженных, осадочных метаморфических горных пород или отходов различных производств» [24].

«Прочность заполнителя определяется прочностью горной породы, из которой он получен. Заполнители из прочных горных пород (гранита, диабаз) обладают высокой прочностью (80 МПа и выше). Заполнители из осадочных пород. Например, из известняка, имеют прочность 30 МПа и выше. Прочность легких пористых заполнителей зависит от плотности и составляет 2...20 МПа»[24].

При приготовлении бетонной смеси нужно учитывать размер фракции щебня в соответствии с областью применения данной смеси:

– 5-20 мм – мелкозернистый материал. Пользуется большим спросом при производстве железобетонных изделий, в малоэтажном строительстве.

– 20-40 мм – средняя фракция. Используется при производстве фундаментов в многоэтажных зданиях, при строительстве объектов производственного назначения.

– 40-70 мм – крупнозернистый материал. Используется при строительстве крупногабаритных объектов, автодорог.

– 70-120 мм – крупнофракционное сыпучее. Используется при производстве габионов, для отделки водоемов, бассейнов.

«Крупный заполнитель мало влияет на прочность бетона, если его прочность более чем на 20 % выше прочности бетона. Однако в заполнителе могут встречаться отдельные слабые зерна, поэтому для большей надежности рекомендуется, чтобы прочность исходной горной породы была в 1,5...2 раза выше прочности бетона. На некоторые виды изделий марка щебня нормируется.

В нормативной документации на щебень ограничивается содержание пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен, увеличивающих пустотность заполнителя. В обычном заполнителе содержание таких зерен не должно превышать 35%, в щебне с улучшенной формой зерен – 25%, с кубовидной формой зерен – 15%» [24].

Цемент.

Цемент – один из важнейших материалов, используемых при приготовлении растворов и бетонов, при взаимодействии с водой образует пластичную массу, которая застывает и превращается в искусственный камень.

Цемент обладает способностью набирать прочность находясь во влажных условиях, поэтому он является гидравлическим вяжущим.

Качество цемента и его пригодность к использованию для изготовления раствора определяют следующие характеристики:

- прочность, позволяющая выдерживать большие нагрузки и сохранять свои свойства при воздействии внешних факторов;
- склонность к твердению – быстрый переход из пластичного состояния в твердое, что обеспечивает образование прочной связи между элементами и конструкциями;
- хорошее сцепление цемента с другими материалами;
- устойчивость к воздействию химических веществ и агрессивным средам;
- огнестойкость – способность сопротивляться высоким температурам;
- устойчивость к деформациям – способность сохранять свой объем при изменении окружающей температуры и влажности.

Цемент можно разделить на несколько видов в зависимости от наличия основного минерала в его составе:

1. Романцемент.

В составе преобладает белит (в настоящее время не производится).

2. Портландцемент.

В составе преобладает алит. В настоящее время данный вид цемента наиболее широко распространен в строительстве.

3. Глиноземистый цемент.

В составе преобладает алюминатная фаза.

4. Магнезиальный цемент – на основе магнезита.

5. Кислотоупорный цемент.

Данный вид цемента представляет собой сухую смесь кварцевого песка и кремнефтористого натрия.

6. Шлаковый цемент.

7. Белый цемент.

В таблице 1 показано соответствие марок цемента к классам прочности.

Таблица 1 – Соответствие марок и классов прочности

Марка цемента, кг/см ³	Класс цемента, МПа
1	2
M300	22,5
M400	32,5
M500	42,5
M600	52,5

Чем выше марка цемента, тем прочнее, качественнее и долговечнее приготовленный раствор или бетон.

Песок.

Песок – сыпучий материал, который является необходимым компонентом при разных видах строительных работ, природного или искусственного происхождения.

Природный песок бывает трех видов:

- речной;
- морской;
- карьерный.

Речной песок является наилучшим вариантом для приготовления строительных смесей, так как данный вид практически не имеет в составе глинистых примесей.

Искусственный песок делится на следующие виды:

- кварцевый;
- керамзитовый;
- перлитовый;
- мраморный;
- известняковый.

При выборе песка для приготовления смесей, который будут использоваться для строительства или отделки здания, в которых будут находиться люди, необходимо учитывать степень радиоактивности материала.

Хоть искусственный песок и имеет преимущество над природным отсутствием в составе посторонних примесей и однородности состава, радиоактивность у такого песка выше, чем у природного. Поэтому искусственный песок используется при устройстве железнодорожных насыпей и автомобильных дорог, а песок природного происхождения подходит для всех видов работ без ограничений.

Для изготовления бетона используется песок с содержанием глины менее 1%. Также песок для приготовления растворов и бетонных смесей должен соответствовать ГОСТ 8736-2014.

Вода.

Один из наиболее важных компонентов при изготовлении бетонной смеси. Вода должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011. При добавлении воды, не соответствующей требованиям, могут быть нарушены прочностные характеристики бетонной смеси или некачественная вода может способствовать развитию плесени и грибков в конструкциях.

Помимо вредных примесей в воде ее количество тоже играет огромную роль при приготовлении бетонной смеси. Так, например, при избытке воды в

растворе замедляется гидратация цемента, что приводит к тому, что цемент не набирает должной прочности. Недостаток воды в растворе не позволит компонентам перемещаться должным образом, что также повлияет на пластичность приготавливаемой смеси.

Химические добавки.

Добавление химических добавок в состав бетонной смеси способствует увеличению некоторых характеристик бетона. Например, химические добавки используются для улучшения следующих свойств:

1. Пластификаторы.

При добавлении пластификаторов бетонная смесь становится плотной и повышается ее текучесть, что позволяет проще работать со смесью, легче заполнять опалубку. Также пластификаторы на четверть увеличивают прочность бетона.

2. Суперпластификаторы.

При использовании в составе замешиваются суперподвижные смеси, применение таких смесей сокращает время на заливку бетона, что способствует сокращению времени на строительство. Помимо этого, суперпластификаторы снижают риск расслоения и преждевременного застывания бетона.

3. Ускорители и замедлители твердения.

Данный вид добавок применяется в бетонных смесях в зависимости от ситуации. Например, ускорители используются в основном в зимнее время, так как при производстве работ в этот период при низких температурах бетон твердеет значительно медленнее, чем при благоприятных условиях.

Замедлить процесс твердения бетона может стать необходимым при транспортировке смеси на большие расстояния, так при добавке замедлителя бетонная смесь дольше времени может оставаться в жидком состоянии. Кроме того, замедлить процесс твердения бетона может быть необходимо при больших объемах строительных работ для избежания стыков между отдельными участками конструкции.

4. Противоморозная добавка.

Противоморозные добавки сохраняют пластичность бетона при минусовых температурах.

5. Гидроизолирующие добавки.

При добавлении гидроизолирующих добавок бетон приобретает гидрофобные свойства, это способствует продлению срока эксплуатации здания, а также экономит средства, так как пропадает необходимость использования битума или других гидроизолирующих материалов.

6. Пигменты.

Для приготовления смесей, применяемы для декоративных работ, в их состав добавляю пигменты для придания нужного цвета производимой конструкции.

1.4 Физико-механические свойства бетона

Для производства железобетонных конструкций бетон должен обладать определенными, наперед заданными, физико-механическими свойствами. Такими как прочность, хорошее сцепление с арматурой, достаточная плотность для защиты арматуры от коррозии.

Чаще всего бетон классифицируют по следующим параметрами:

– По структуре:

1) плотной структуры – с полным заполнением пространства между зернами заполнителя затвердевшим вяжущим;

2) крупнопористые – с частичным заполнением пространства между зернами заполнителя вследствие нехватки песка в бетонной смеси;

3) поризованные – вяжущее между зернами заполнителя поризованно с помощью специальных добавок;

4) ячеистые – с искусственно созданными замкнутыми порами.

– По средней плотности:

1) особо тяжелые – средняя плотность более 2500 кг/м^3 ;

- 2) тяжелые – средняя плотность 2200-2500 кг/м³;
- 3) мелкозернистые – средняя плотность 1800-2200 кг/м³;
- 4) легкие – средняя плотность 500-1800 кг/м³.

– По виду вяжущего (цементные, полимерцементные, на известковом вяжущем и так далее).

– По виду заполнителя:

1) на плотных естественных заполнителях (щебень горных пород, кварцевый песок);

– на пористых естественных (перлит, пемза) или искусственных (керамзит, шлак) заполнителях.

– По зерновому составу:

1) крупнозернистый;

2) мелкозернистый.

– По условиям твердения:

1) бетон естественного твердения;

2) бетон подвергнутый тепловлажностной или автоклавной обработке.

В период твердения бетонной смеси происходят объемные деформации цементного камня, такие как усадка и набухание. Они имеют значительное влияние на напряженное состояние бетона.

Усадка – это уменьшение размеров и объема бетона при твердении. Основной причиной усадки является уменьшение содержания свободной воды, которая расходуется на испарение и гидратацию цемента.

Виды усадки бетона приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Виды усадки

	Пластическая	Аутогенная	Усадка при высыхании
Время возникновения	Сразу после заливки, длится до 8 часов	От начала схватывания, особенно в течение первых дней и недель	С момента прекращения ухода за бетоном
Величина усадки	0-4 мм/м	0-1 мм/м	до 5 мм/м

Усадкой не обладают бетоны, приготовленные на специальном цементе – расширяющемся или безусадочном.

Набухание происходит при поглощении бетоном воды из окружающей среды. Набухание сопровождается увеличением веса бетона на величину около 1%.

Так как бетон представляет собой неоднородный материал на его прочность влияет несколько факторов:

- 1) возраст, условия твердения, размеры и форма образцов;
- 2) состав бетона, марка цемента, состав заполнителей.

Процесс твердения цементного камня происходит годами, и все это время его прочность увеличивается. Но период наиболее интенсивного роста прочности бетона приходится на начальный период твердения. Процесс набора прочности в цементном камне представлен на рисунке 7.

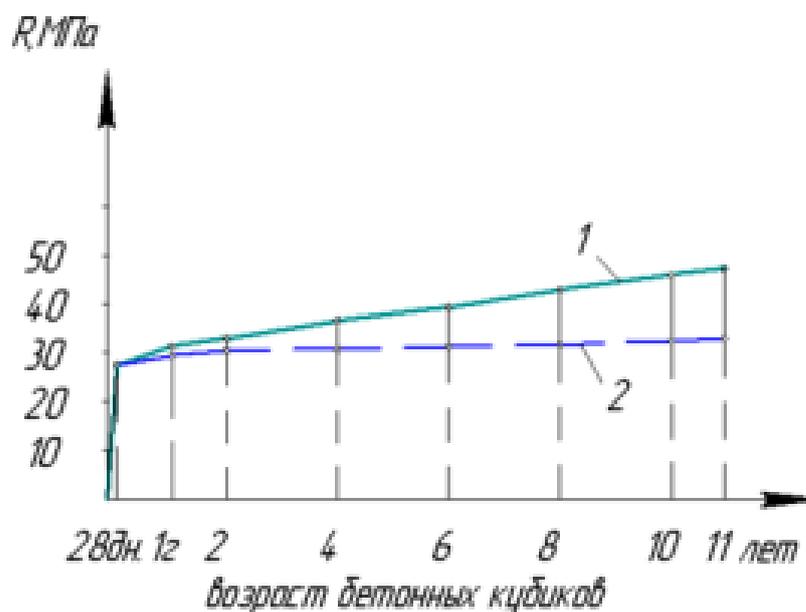


Рисунок 7 – Нарастание прочности бетона во времени:
1 – при хранении во влажной среде, 2 – при хранении в сухой среде.

Так прочность бетона, приготовленного на портландцементе, интенсивно нарастает в первые 28 суток.

1.5 Фибробетон и его свойства

«Фибробетон – материал, который получается в следствии добавления к бетону дисперсных волокон из различных материалов. Материал фибробетона и класс бетона могут варьироваться в зависимости от области применения фибробетона.

Фибробетон имеет ряд качеств, превосходящих обычный бетон. Поэтому фибробетон набирает свою популярность благодаря таким качествам, как:

- жаропрочность и пожаростойкость;
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- трещиностойкость, меньшая подверженность сколам;
- высокая устойчивость к химическим воздействиям;
- высокая прочность на срез и растяжение;
- высокая ударная прочность;
- меньший вес;
- хорошие показатели адгезии;
- более длительный срок эксплуатации;
- уменьшение толщины конструкции»[20].

Помимо перечисленных выше качеств, фибробетон, в процессе затвердевания, меньше подвержен усадке, чем обычный бетон.

Благодаря всем перечисленным характеристикам фибробетон имеет широкое применение в промышленном и гражданском строительстве. Из данного материала возводят такие конструкции, как: фундаменты под ударное и динамическое оборудование, разнообразные резервуары, своды тоннелей, промышленные полы, покрытия дорог и мостов, гидротехнические сооружения и так далее.

Кроме достоинств фибробетон, как и любой другой материал имеет недостатки. Главным недостатком фибробетона является высокая стоимость самого материала.

1.6 Виды фибры

«Фибра – это волокно в виде нитей разной длины и из различного материала, применяемое при дисперсном армировании бетонных конструкций.

Фибра изготавливается из разных материалов, например: сталь, базальт, стекловолокно, полипропилен, целлюлоза и другие материалы. Каждое волокно имеет разную длину, диаметр и форму. Изготовленная фибра должна отвечать требованиям ГОСТ 14613-83. От этих показателей зависят свойства бетона.

Существует шесть видов фиброволокна, которые добавляются в строительную смесь»[7].

1. Стальная фибра.

Данный вид представлен в виде металлической проволоки длиной 1-5 см. может иметь прямую или волнообразную форму. Изготавливается путем формовки из расплава, также может быть вырезанной из проволоки или стального листа. Данный вид фибры может быть покрыт различными составами для лучшего сцепления с бетоном.

При применение стальной фибры фибробетон приобретает следующие результаты:

- «увеличивается срок службы конструкции;
- увеличивается прочность на сжатие до 25%;
- увеличивается прочность на растяжение при изгибе до 250%;
- увеличивается прочность при осевом растяжении до 60-80%;
- увеличивается модуль упругости до 20%;

- увеличивается сопротивляемость удару до 10-12 раз;
- увеличивается морозостойкость, водонепроницаемость.

Расход стальной фибры на 1 м³ раствора:

- при малых нагрузках – 15-20 кг/м³;
- при средних нагрузках – 30-45 кг/м³;
- при больших нагрузках – 45-75 кг/м³;
- в особых случаях – 75-150 кг/м³.

Данный вид фибры чаще всего используют для производства железнодорожных шпал, транспортных тоннелей и полов, тротуарного, дорожного покрытия, оснований аэродромов, бордюров, декоративной плитки, каркасов зданий, монолитных конструкций, подземных магистралей»[7].

2. Базальтовая фибра.

Базальтовую фибру получают при расплавлении минералов вулканического происхождения. Она является стойкой к агрессивным средам – это главный отличительный признак данного вида фибры. Помимо этого материал имеет следующие достоинства:

- конструктивная прочность;
- долгий срок службы;
- высокая термостойкость, негорючесть;
- морозостойкость, водонепроницаемость;
- экологичность.

«Расход базальтовой фибры на 1 м³ раствора:

- при малых нагрузках – от 0,3 до 0,9 кг;
- при средних нагрузках – от 0,9 до 1,8 кг;
- при больших нагрузках – от 1,8 до 2,7 кг»[7].

Базальтовая фибра используется при гражданском строительстве, при строительстве сооружений с высоким уровнем износа поверхности и так далее.

3. Стекловолоконная фибра.

Стекловолоконное волокно получают при помощи вытягивания нитей из расплавленного стекла. Это экологически чистый материал. При его применении повышается трещиностойкость конструкции и снижается величина деформации при усадке.

Расход стекловолоконной фибры на 1 м³ раствора в среднем составляет от 0,3 до 1,2 кг.

4. Углеродная фибра.

Углеродная фибра представляет собой рубленые нити из углерода при максимально высоких температурах. Данный вид фибры обеспечивает высокую устойчивость конструкций и химическим и механическим воздействиям.

Расход углеродной фибры на 1 м³ раствора составляет 0,6-1,1 кг.

5. Фибра из полипропилена.

Синтетическое волокно производят при нарезании полипропиленовой стружки при высоких температурах. Также волокна могут быть покрыты специальными растворами для лучшего сцепления с бетонной смесью.

«Расход фибры из полипропилена на 1 м³ раствора:

- при слабых нагрузках – 0,6 кг;
- при средних нагрузках – от 1 кг;
- при высоких нагрузках – от 1,8 до 2,7 кг.

Фибра из полипропилена применяется при строительстве дорог, тоннелей и в составе строительных смесей»[7].

6. Целлюлозная фибра.

Полимерный материал из углеводорода, который не растворяется в воде, устойчив к химическому воздействию. При применении данного вида фибры улучшается паропроницаемость смеси и замедляется усадка.

С применением целлюлозной фибры возводят тонкослойные бетонные покрытия, облицовки.

Сравнительная характеристика наиболее часто используемых видов фибр представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика различных фиброволокон

Показатель	Базальтовая фибра	Полипропиленовая фибра	Стекловолоконная фибра	Стальная фибра
1	2	3	4	5
«Материал	Базальтовое волокно	Полипропилен	Стекловолокно	Проволока из углеродистой стали
Прочность на растяжение, Мпа	3500	150-600	1500-3500	600-1500
Диаметр волокна	13-17 мкм	10-25 мкм	13-15 мкм	0,5-1,2 мм
Длина волокна	3,2-15,7 мм	6-18 мм	4,5-18 мм	30-50 мм
Модуль упругости Гпа	Не менее 75	35	75	190
Коэффициент удлинения, %	3,2	20-150	4,5	3-4
Температура плавления, °С	1450	160	860	1550
Стойкость к щелочам и коррозии	Высокая	Высокая	Только у щелочестойкого волокна	Низкая
Плотность, г/см ³	2,60	0,91	2,60	7,80»[7]

Преимущества и недостатки различных видов фибр представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики фибробетона

Вид смеси	Характеристика	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4
«Стальной	В отличие от обычного бетона, материал обладает повышенной прочностью, трещиностойкостью, долговечностью.	1. Устойчив на разрыв и растяжку; 2. Не дает усадку; 3. Форма остается неизменной; 4. Низкая вероятность возникновения трещин.	1. Подвержен коррозии; 2. Стальная добавка плохо связывается с бетоном.
Базальтовый	Эффективно воспринимает сжимающие и растягивающие нагрузки, фибробетон прочнее обычного бетона в 3 раза.	1. Устойчив к механическим воздействиям; 2. Не боится химических веществ; 3. Устойчив к огню и высоким температурам.	Высокая стоимость.
Стекловолоконный	Стеклофибробетон по пластичности, способности передавать все особенности рельефа конструкции не имеет себе равных. Можно возвести сооружения с изгибами и узорами	1. Бетон имеет меньший вес при высокой прочности; 2. Невероятная гибкость и упругость; 3. Устойчивость к морозам.	1. Низкая щелочестойкость; 2. Раствор заливается с помощью специального оборудования, чем усложняется монтаж фибробетона.
Углеродный	Высокий уровень прочности, при этом не увеличивается вес фибробетона	1. Устойчивость к любым химическим средам; 2. Высокая прочность; 3. Хорошая адгезия наполнителя с бетоном; 4. Устойчивость к механическим воздействиям.	Высокая стоимость.
Полипропиленовый	Введение полимеров уменьшает вес строительных конструкций, улучшает их эксплуатационные свойства.	1. Химическая устойчивость; 2. Стойкость к перепадам температур; 3. Низкая электропроводимость.	1. Не сжимается и не растягивается; 2. Не впитывает воду; 3. Чувствителен к высоким температурам.

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Целлюлозный	Фибробетон лучше и равномернее сохнет, имеет сниженную усадку, исключается появление трещин.	1. Устойчивость к кислотам и щелочам; 2. Паропроницаемость.	Практически не используется в строительстве»[7].

Исходя из перечисленных преимуществ и недостатков можно сделать вывод, что несъемная опалубка из фибробетона будет повышать качество конструкции.

1.7 Методы производства фибробетона

Качество конструкций, изготовленных из фибробетона, зависит не только от компонентов, входящих в его состав и свойств металла из которого изготовлена фибра, но и, в большей степени, от технологии производства смеси.

Наиболее важным правилом при приготовлении сталефибробетонной смеси является равномерное распределение фибры в бетонной смеси и исключение ее комкования, а также хорошее сцепление фибры с бетоном.

«Фибробетон производится при применении двух видов технологий. Первый вид – совместное перемешивание компонентов смеси. Второй вид – технология отдельной укладки компонентов.

При применении технологии с отдельной укладкой компонентов в опалубку в первую очередь укладывается фиброкаркас, а затем заливают бетонную смесь методом литья.

При применении технологии совместного перемешивания компонентов все составляющие фибробетонной смеси перемешиваются вместе одновременно.

Технология производства сталефибробетона отличается от производства классического бетона в первую очередь тем, что армирование происходит на этапе создания смеси – фибру вводят в бетонную смесь и перемешивают, исключая ее комкование»[20].

Для введения фибры в бетон было придумано множество изобретений, которые позволяют исключить комкование фибры в бетонной смеси. Одно из таких изобретений показано на схеме на рисунке 8.

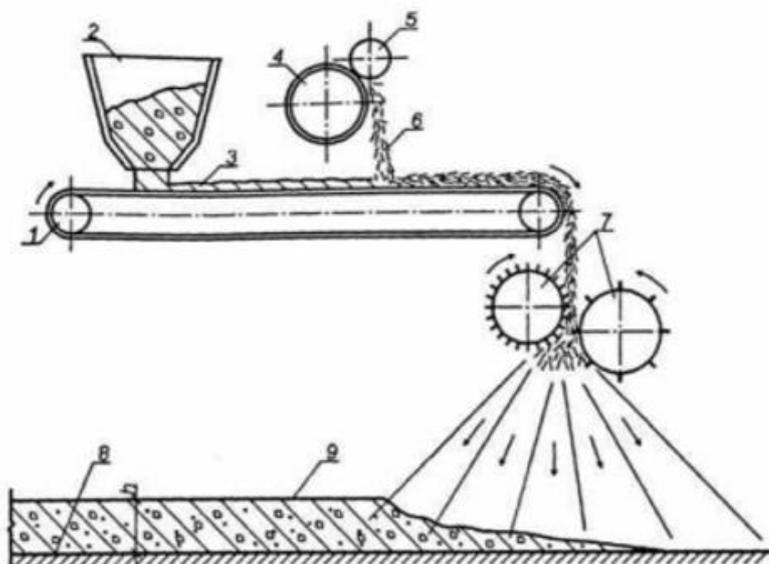


Рисунок 8 – Схема формирования сталефибробетонных изделий
1 – ленточный конвейер; 2 – расходный бетоносмеситель; 3 – бетонная смесь;
4 – бухта-лента из тонколистного проката; 5 – станок для нарезки из листа фибры; 6 – поток фибры; 7 – большой и малый лопастные роторы; 8 – поддон-форма; 9 – формируемое изделие.

Перемешивание фибробетонной смеси является самым ответственным пунктом при ее производстве. Для достижения качественной смеси существует несколько способов ее перемешивания:

- барабанные;
- с принудительным лопастным перемешиванием;
- гравитационные;

- прутково-шнековые;
- спирально-вихревые.

Помимо различных способов перемешивания бетонной смеси с добавлением фибры также выделяют три основных метода для производства фибробетонов:

1. «Метод принудительного перемешивания».

Суть данного метода заключается в последовательном добавлении в смесь ее составляющих. При применении данного метода в первую очередь смешивают цемент и песок, затем вводят фиброволокно. Введенные компоненты перемешивают, после чего вводят щебень и воду. Готовую смесь еще раз перемешивают. Время перемешивания смеси не должно превышать 5 минут.

2. Метод виброэкструзии.

Суть данного метода заключается в том, что в итоге фибробетон получается с ориентированным расположением волокон фибры, что сильно влияет на физико-механические свойства бетона. При использовании данного метода показатели прочности бетона при растяжении на 15-20% выше в сравнении с фибробетоном приготовленным методом принудительного перемешивания. При применении метода виброэкструзии возможно изготавливать конструкции только прямолинейных форм – это главный недостаток данного метода.

3. Метод набрызга.

Бетонная смесь подается под давлением с одновременным вводом волокон фибры в опалубку под действием воздушного потока.

Помимо всего вышперечисленного существует такой показатель, как сыпучесть фибры.

Критерий сыпучести имеет количественную оценку и рассчитывается по формуле (1):

$$K_{\text{сып}} = \frac{l}{n \cdot d_{\text{экв}}}, \quad (1)$$

где l – длина фибры;

$d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр фибры;

n – характеристика формы поперечного сечения фибры»[20].

Фибра разной формы имеет разные показатели сыпучести.

Выводы по первой главе

Опалубка – важный элемент в современном строительстве, который должен соответствовать высоким стандартам качества и безопасности, для обеспечения прочности и долговечности строительной конструкции.

В первой главе были рассмотрены история развития монолитного строительства и опалубки, виды съемных и несъемных опалубок, имеющих на строительном рынке на сегодняшний день, также были рассмотрены свойства бетона и фибробетона.

При помощи научной литературы, используемой при написании данной главы, были изучены свойства конструкций из несъемной опалубки. Помимо этого, рассмотрены преимущества и недостатки конструкций, используемых в строительстве зданий и сооружений с применением несъемной опалубки. Кроме того, были рассмотрены методы производства фибробетона, приведены преимущества и недостатки использования различных видов фибры для производства фибробетона.

Рассмотрев материалы, применяемые для изготовления опалубок в первой главе, можно отметить, что каждому из этих материалов присущи те или иные недостатки, описанные в той же главе. Чтобы усовершенствовать конструкцию несъемной опалубки и избежать перечисленных недостатков, ниже будет рассмотрен проект несъемной опалубки на основе фибробетона.

Глава 2 Разработка экспериментальных исследований

2.1 Сталефибробетон

Сталефибробетон – самодостаточный конструкционный материал, поэтому конструкции из сталефибробетона можно проектировать без арматуры.

По сравнению с обычным бетоном сталефибробетон имеет большую ударную прочность, помимо этого у сталефибробетона трещиностойкость выше, чем у классического бетона, примерно в 4 раза.

Также фибробетон по сравнению с классическим бетоном имеет повышенную:

- коррозионную стойкость;
- термостойкость;
- морозостойкость;
- истираемость.

Помимо всего этого предел прочности на растяжение у сталефибробетона выше, чем у обычного бетона.

Нормативные и расчетные значения сопротивления сталефибробетона осевому сжатию принимают равными их значениям, установленным в СП 63.13330 для аналогичного класса обычного бетона.

Модуль упругости сталефибробетона E_{fb} – расчетная величина и определяется по формуле 2:

$$E_{fb} = E_b(1 - \mu_{fv}) + E_f\mu_{fv}, \quad (2)$$

где E_b – модуль упругости бетона-матрицы;

μ_{fv} – коэффициент фибрового армирования;

E_f – модуль упругости фибры, определяется как отношение количества фибры к единице объема бетона.

Модуль упругости фибры принимается по данным от производителя фибры.

2.2 Несъемная опалубка. Размеры сечения балки с несъемной опалубкой

В рамках научно-исследовательской работы предлагается провести сравнение показателей прочности и деформативности проектов образцов железобетонной балки и балки из тяжелого бетона, арматуры и несъемной опалубки из фибробетона.

Для проведения сравнения необходимо разработать проект несъемной опалубки. «Опалубка и ее опорные элементы и основания должны быть сконструированы таким образом, чтобы обладать:

- достаточной прочностью и жесткостью, позволяющими выдерживать все предусмотренные нагрузки, которым они подвергаются при транспортировании, в ходе строительных работ и при эксплуатации;

- достаточной жесткостью, позволяющей выдерживать установленные для конструкции допуски и не оказывать отрицательного влияния на целостность конструкции»[17].

«Конструкция опалубки должна обеспечивать:

- прочность, жесткость и геометрическую неизменяемость формы и размеров под воздействием монтажных, транспортных и технологических нагрузок;

- проектную точность геометрических размеров монолитных конструкций и заданное качество их поверхностей;

- максимальную адгезию к схватившемуся бетону;

- минимальное число типоразмеров элементов в зависимости от характера монолитных конструкций;

- возможность укрупнительной сборки и переналадки (изменения габаритных размеров или конфигурации) в условиях строительной площадки;
- возможность фиксации закладных деталей в проектном положении и с проектной точностью;
- технологичность при изготовлении и возможность применения средств механизации при монтаже;
- герметичность формообразующих поверхностей (кроме специальных);
- температурно-влажностный режим, необходимый для твердения и набора бетоном проектной прочности;
- быструю установку опалубки без повреждения элементов опалубки»[17].

Методы контроля геометрических параметров конструкции приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Методы контроля геометрических параметров конструкции

«Параметр	Метод контроля	Средства измерений	Объем контроля
1	2	3	4
Вертикальность и горизонтальность поверхностей	Провешивание, нивелирование, ГОСТ 26433.0, ГОСТ 26433.1, ГОСТ 26433.2	Рейка-отвес, нивелир	Каждый конструктивный элемент
Неровность поверхностей	Микронивелирование, ГОСТ 26433.1, ГОСТ 26433.2	Двухметровая рейка со щупами	Не менее пяти измерений на каждые 50-100 м длины элементов
Длина (пролет), размеры поперечного сечения элементов	Линейные измерения, ГОСТ 26433.2-94, пункт 1 таблицы А.1	Стальная рулетка 10 м, линейка	Каждый элемент
Отметки опорных частей	Нивелирование, ГОСТ 26433.2	Нивелир	Каждый опорный элемент
Уклоны опорных частей под сборные элементы	Нивелирование, ГОСТ 26433.2	Нивелир, уровень	Каждый опорный элемент

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
Раскрытие трещины	Визуальный, измерительный	Измерительная лупа со шкалой 0,1 мм, электронный измеритель ширины трещины	Каждый конструктивный элемент»[17]

Опалубка, как правило, изготавливается в форме прямоугольного параллелепипеда с вертикальными пустотами, пазами в поперечных стенках блоков для укладки арматуры и создания сплошной опорной поверхности бетона.

По заявке потребителя допускается изготовление блоков другой формы.

«При проектировании несъемной опалубки следует учитывать вертикальные и горизонтальные нагрузки.

К вертикальным нагрузкам на опалубку относят:

– собственный вес опалубочных элементов, их креплений и поддерживающих устройств, $P_{оп}$ (определяется в соответствии с проектом несъемной опалубки);

– вес уложенной бетонной смеси, $P_б$;

– вес арматуры;

– вес транспортных средств и рабочих, находящихся на опалубке при бетонировании, P_t ;

– вес сосредоточенной нагрузки от технологических средств согласно фактическому возможному загрузению в соответствии с проектом производства работ;

– ветровые нагрузки;

– снеговые нагрузки.

К горизонтальным нагрузкам на опалубку относят:

– ветровые нагрузки;

– максимальное боковое давление бетонной смеси, P_{max} »[17].

Максимальное давление от бетонной смеси, действующее на вертикальные стенки несъемной опалубки, расположенной в нижней части ограждающей конструкции вычисляется по формуле (3):

$$P_{max} = \gamma H k, \quad (3)$$

где H – высота слоя опалубки, на которую загружается бетонная смесь, м;
 γ – средняя плотность смеси, принимаемая для тяжелого бетона равной 2500 кг/м³;
 k – коэффициент перегрузки равный 1,3.

Максимальный изгибающий момент находим по формуле 4:

$$M_{max} = \frac{P_{max} l^2}{6}, \quad (4)$$

По результатам проведенных расчетов были получены следующие значения:

– максимальное давление от бетонной смеси равно:

$$P_{max} = 2500 \cdot 0,75 \cdot 1,3 = 2437,5 \text{ кг/м}^2$$

– давление от толщины укладываемой бетонной смеси равно:

$$M_{max} = \frac{2437,5 \cdot 0,75^2}{6} = 2,2852 \text{ кНм.}$$

Чтобы прочность стенки несъемной опалубки из фибробетона на восприятие давления от бетонной смеси была обеспечена должно выполняться условие 5:

$$M_{max} \leq R_{bt} W_{pl} \quad (5)$$

Упругопластичный момент сопротивления поперечного сечения стенок W_{pl} вычисляется по формуле 6:

$$W_{pl} = bh^2/6, \quad (6)$$

Отсюда толщина стенки опалубки вычисляется по формуле 7:

$$h = \sqrt{\frac{6M}{bR_{bt}}}, \quad (6)$$

По результатам расчета толщина стенки опалубки составляет 90 мм.

Для проведения сравнения были приняты размеры сечения железобетонной балки и балки с несъемной опалубкой представленные на рисунке 9 и рисунке 10 соответственно.

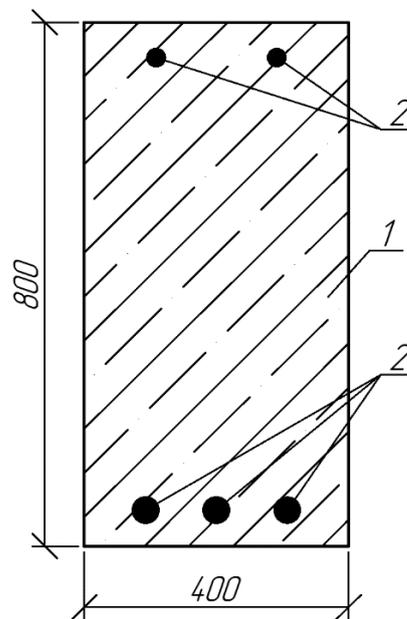


Рисунок 9 – Схема сечения железобетонной балки
1 – тяжелый бетон В25, 2 – арматура А400

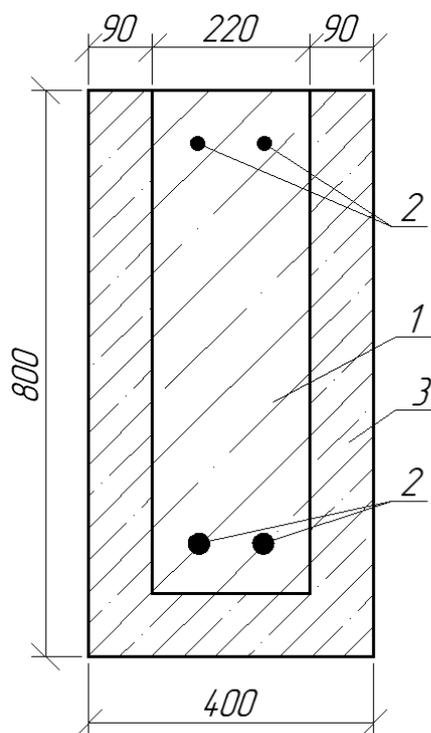


Рисунок 10 – Схема сечения несъемной опалубки
 1 – тяжелый бетон В25, 2 – арматура А400, 3 – несъемная опалубка из фибробетона

Таким образом, условие (5) соблюдается, а значит найденные размеры стенок опалубки из фибробетона обеспечивают прочность и могут быть приняты при проектировании балки с несъемной опалубкой из фибробетона.

Чтобы произвести расчет необходимо составить деформационную модель железобетонной балки и балки с несъемной опалубкой из фибробетона.

2.3 Разработка деформационной модели расчета гибридной балки по нормальному сечению

Расчет по деформационной модели с применением диаграмм деформирования арматуры и бетона стал востребованным, так как данный метод расчета дает возможность высоко оценить прочностные и

деформационные свойства. «Деформационный метод расчета прочности производят на основе диаграмм деформирования растяжения арматуры, осевого сжатия бетона и гипотезы плоских сечений.

Метод расчета по деформационной модели основывается на разделении элемента по высоте сечения на простые участки, затем, последовательно для каждого участка, вычисляют напряжения. На практике данный метод применяют для определения предельных усилий по заданным параметрам сечения»[19].

В качестве диаграмм используют криволинейную диаграмму деформирования (рисунок 11).

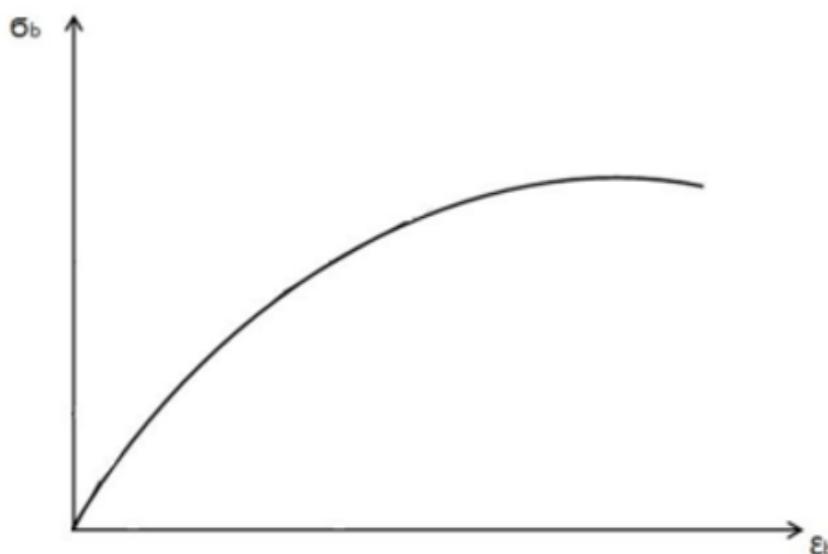


Рисунок 11 – Криволинейная диаграмма при испытании бетона на сжатие

Но при практических расчетах используют упрощенные двухлинейные и трехлинейные диаграммы деформирования материалов представленные на рисунке 12 и 13.

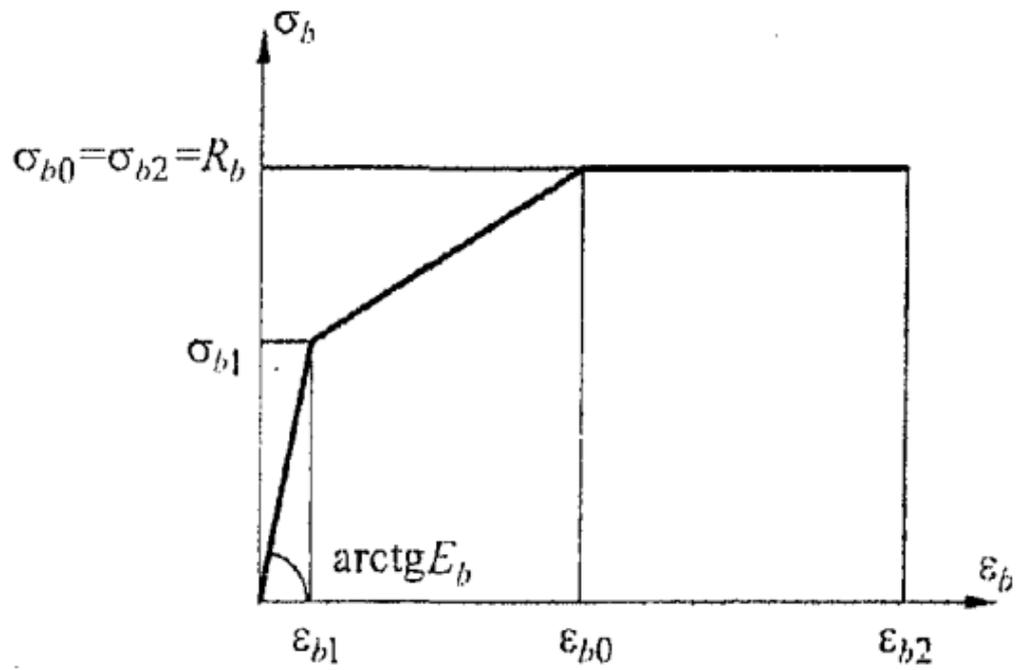


Рисунок 12 – Трехлинейная диаграмма состояния сжатого бетона

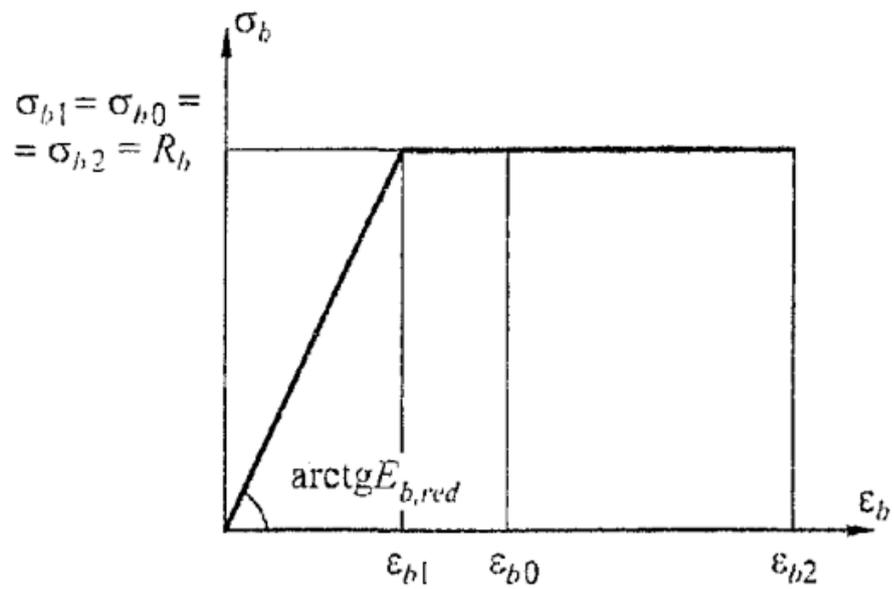


Рисунок 13 – Двухлинейная диаграмма состояния сжатого бетона

В научно-исследовательской работе при проведении расчетов для сравнения образцов железобетонной балки и балки с несъемной опалубкой из фибробетона была принята двухлинейная диаграмма.

«Напряжения в бетоне σ_b в зависимости от относительных деформаций ε_b по двухлинейной диаграмме состояния определяются по формулам 7 и 8.

$$\text{При } 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}, \text{ где } \varepsilon_{b1} = \frac{R_b}{E_{b,red}}$$
$$\sigma_b = E_{b,red} \cdot \varepsilon_b. \quad (7)$$

$$\text{При } \varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$$
$$\sigma_b = R_b. \quad (8)$$

Значение приведенного модуля деформации бетона $E_{b,red}$ вычисляют по формуле 9:

$$E_{b,red} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b1,red}}. \quad (9)$$

Для тяжелого бетона значение относительной деформации $\varepsilon_{b1,red}$ принимают равным 0,0015»[19].

Также как и для бетона при расчете используют двухлинейную и трехлинейную диаграммы состояния растянутой арматуры показанные на рисунках 14 и 15.

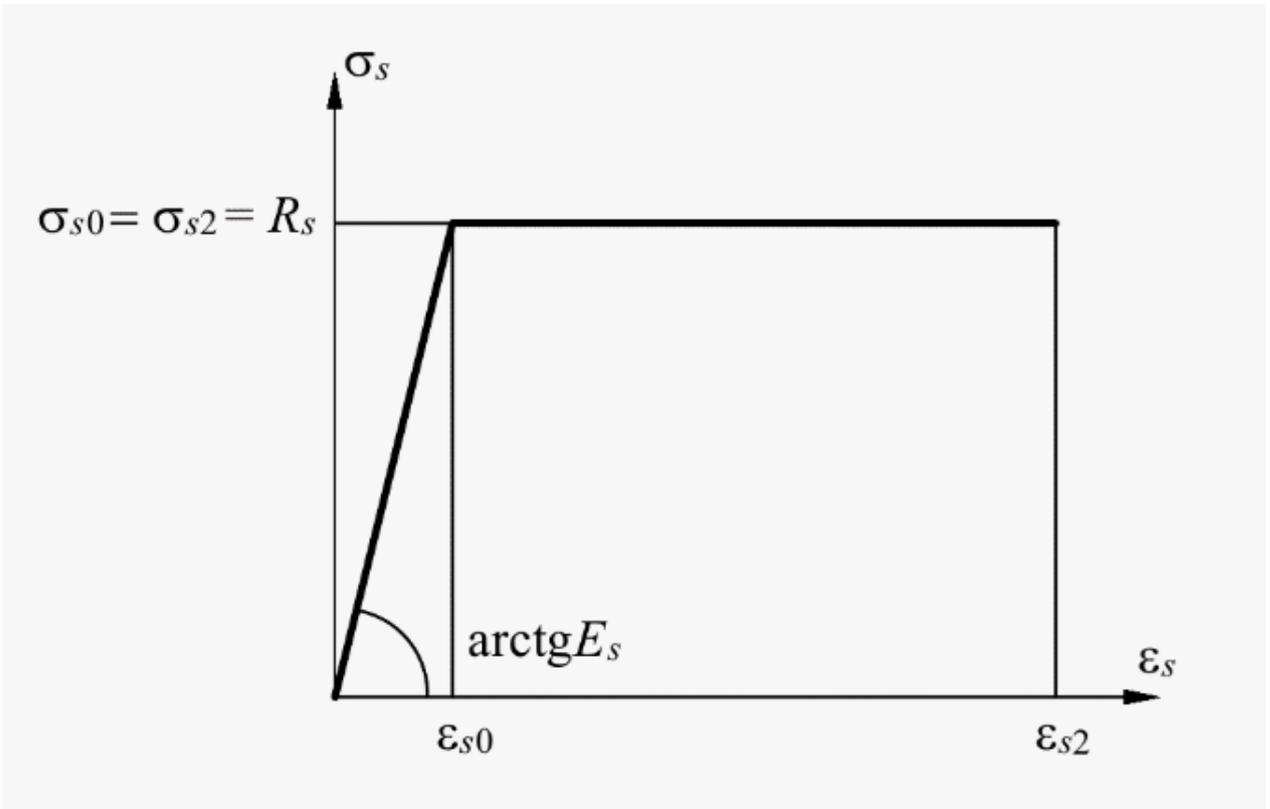


Рисунок 14 – Двухлинейная диаграмма состояния растянутой арматуры

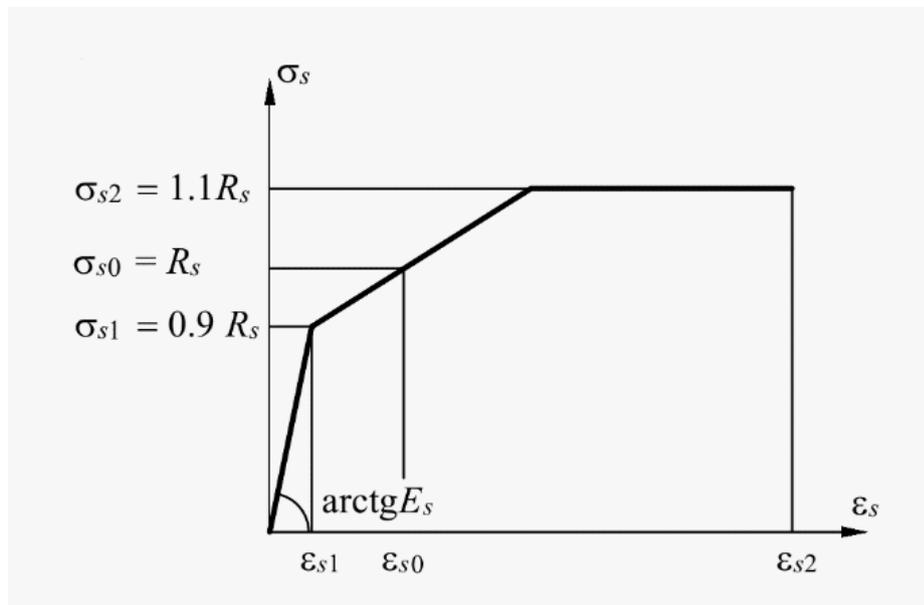


Рисунок 15 – Трехлинейная диаграмма состояния растянутой арматуры

В научно-исследовательской работе также использовалась двухлинейная диаграмма состояния.

«Напряжения в арматуре в зависимости от относительных деформаций определяются по формулам 10 и 11.

$$\text{При } 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s0}, \text{ где } \varepsilon_{s0} = \frac{R_s}{E_s}$$
$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s. \quad (10)$$

$$\text{При } \varepsilon_{s0} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$$
$$\sigma_s = R_s. \quad (11)$$

Значение относительной деформации ε_{s2} принимаем равным 0,025.

При расчете элементов с использованием деформационной модели принимают:

- значения сжимающей продольной силы, а также сжимающих напряжений и деформаций укорочения бетона и арматуры со знаком «минус»;
- значения растягивающих напряжений деформаций удлинения бетона и арматуры со знаком «плюс».

Знаки координат центров тяжести арматурных стержней и выделенных участков бетона принимают в соответствии с назначенной системой координат ХОУ»[19]. Расчетная схема нормального сечения представлена на рисунке 16.

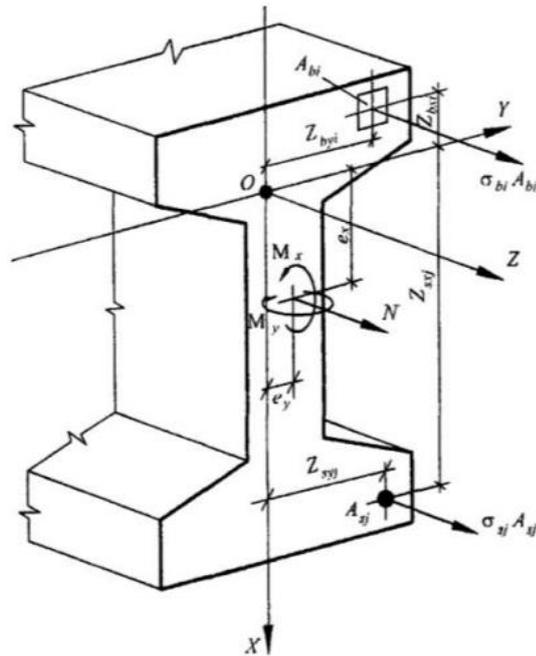


Рисунок 16 – Расчетная схема нормального сечения железобетонного элемента (общий случай)

Таким образом, имея алгоритм расчета строительных конструкций, можно произвести расчет по деформационной модели железобетонного элемента и балки с несъемной опалубкой из фибробетона и провести сравнение полученных результатов.

2.4 Расчет сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям второй группы

«Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;
- расчет по деформациям» [17].

Помимо сравнения расчетов образцов по деформационной модели был проведен расчет по образованию трещин.

«Момент трещинообразования M_{crc} для сталефибробетонных элементов определяю:

– по формуле 12 для элементов без предварительного напряжения арматуры:

$$M_{crc} = W_{pt}R_{bt,ser}; \quad (12)$$

– по формуле 13 для элементов с предварительным напряжением арматуры:

$$M_{crc} = W_{pt}R_{bt,ser} \pm M_p, \quad (13)$$

где W_{pt} – момент сопротивления для крайнего растянутого волокна сечения с учетом неупругих деформаций растянутого бетона»[17].

«Величину W_{pt} определяют по формуле 14:

где I_{bc}, I_{fc1}, I_{ft1} – моменты инерции сжатой зоны бетона, площадей сечения фибровой или фибровой и стержневой (проволочной) арматуры, расположенной соответственно в сжатой и растянутой зонах сечения, относительно нулевой линии;

S_{bt} – статический момент площади сечения растянутой зоны бетона относительно нулевой линии;

= α_f – отношение модулей упругости фибровой арматуры E_f и бетона

«Положение нулевой линии определяют по формуле 15:

$$S_{bc} + \alpha_f S_{fc1} - \alpha_f S_{ft1} = \frac{(h-x)A_{bt}}{2}, \quad (15)$$

где S_{bc}, S_{fc1}, S_{ft1} – статические моменты площадей сечения сжатой зоны бетона, площадей сечения фибровой или фибровой и стержневой (проволочной) арматуры, расположенной в сжатой и растянутой зонах сечения, относительно нулевой линии»[18].

«Элементы сталефибробетонных конструкций рассчитывают по раскрытию трещин:

- нормальных к продольной оси элемента;
- наклонных к продольной оси элемента.

Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, a_{crc} , мм, определяют по формуле 16

$$a_{crc} = \delta \varphi_t \eta_{f1} \eta_{red} \frac{\sigma_f}{E_f} \cdot 20(3,5 - \mu_{red})^3 \sqrt{d_{red}}, \quad (16)$$

где δ – коэффициент, принимаемый равным для элементов:

- изгибаемых и внецентренно сжатых – 1,0;
- растянутых – 1,2;

φ_t – коэффициент, принимаемый равным при учете:

кратковременных нагрузок и непродолжительного действия постоянных и длительных нагрузок – 1,0;

многократно повторяющейся нагрузки, а также продолжительного действия постоянных и длительных нагрузок для конструкций из мелкозернистого бетона групп:

А – 1,75;

Б – 2,00;

В – 1,65;

η_{f1} – коэффициент, учитывающий влияние фибрового армирования;

η_{red} – приведенный коэффициент армирования;

σ_f – условные напряжения в крайнем растянутом волокне или приращение напряжений от действия внешней нагрузки (при наличии предварительного напряжения);

μ_{red} – приведенный коэффициент армирования по площади сечения;

d_{red} – приведенный диаметр фибровой и стержневой арматуры.

«Расчет по образованию трещин проводят, когда необходимо обеспечить отсутствие трещин, а также как вспомогательный при расчете по раскрытию трещин и по деформациям»[18].

Выводы по второй главе

Во второй главе были рассмотрены характеристики сталефибробетона.

Было разработано сечение балки из тяжелого бетона и арматуры с применением несъемной опалубки из фибробетона, найдены необходимые параметры для проведения дальнейших расчетов, также проведена проверка размеров сечения на обеспеченность прочности стенок опалубки. Рассмотрены диаграммы состояния сжатого бетона.

Был рассмотрен метод расчета по деформационной модели, получен алгоритм расчета, который будет проводиться в третьей главе научно-исследовательской работы.

Глава 3 Сравнение полученных результатов

В качестве расчетных моделей примем балку пролетом 6 м. Габариты двух балок 400x800 мм. Бетон балок примем класса В30 и класс прочности фибробетона по остаточным растягивающим напряжениям класса V_{ft1a} . Толщина стенок опалубки равна 90 мм.

Армирование балок из арматуры класса А400 сжатая диаметром 14 мм, растянутая — 18 мм. Каждой по два стержня.

Защитный слой арматуры для железобетонной балки 40 мм для всей арматуры. В фибробетонной балке требуется обеспечить бетонирование поэтому расстояние от опалубки до края растянутой арматуры минимально допустимо 25 мм.

3.1 Расчет железобетонной балки по предельным усилиям

Определим несущую способность железобетонной балки. Максимально допустимая относительная высота сжатой зоны равна:

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{340}{200000 \cdot 0,0035}} = 0,538 \quad (17)$$

Высота сжатой зоны равна:

$$x = \frac{340 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (18^2 - 14^2)}{4 \cdot 17 \cdot 300} = 13,4 \text{ мм} < 0,538 \cdot \left(700 - 40 - \frac{18}{2}\right) = 651 \text{ мм} \quad (18)$$

Предельный момент воспринимаемый балкой:

$$M_{ult} = 17 \cdot 1 \cdot 0,0134 \cdot (0,651 - 0,5 \cdot 0,0134) + 340 \cdot 0,000308 \cdot (0,651 - 0,047) = 107,27 \text{ кНм} \quad (19)$$

3.2 Расчет железобетонной балки по деформационной модели

Так как расчет сечений по деформационной модели является численной задачей, предполагающей последовательное приближение точности решения, будут показаны исходные данные задачи, конечная итерация, условия нахождения напряжений в полосках конечных элементов. Также подтверждением схождения решения покажем графики решения задачи.

Вычисления были проведены в Excel.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные

Габариты балки			Арматура		
		мм			мм
		мм	sc		мм
					мм ²
Толщина стенок опалубки					мм ²
		мм			шт
		мм			шт
Высота конечных элементов			Защитные слои арматуры (до грани арматуры)		
Δh		мм			мм
					мм
Сечение конечных элементов			Координаты арматуры		
Бетонной балки			Бетонной балки		
		мм ²			мм
					мм
Момент в пролете балки					
M		кНм			

Значения, принимаемые в расчетах для определения напряжений, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Условия принятые для расчетов

Характеристики	Числовые значения
1	2
Сжатие	
R_b	-17 МПа
E_b	32500 МПа
$0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$	
σ_{b1}	-10,2 МПа
ε_{b1}	-0,00031
$\varepsilon_{b1} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b0}$	
$k_b = \sigma_{b1} / R_b$	0,6
ε_{b0}	-0,002
$\varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$	
ε_{b2}	-0,0035
Растяжение	
R_{bt}	1,15 МПа
$0 < \varepsilon_{bt} \leq \varepsilon_{bt1}$	
σ_{bt1}	0,69 МПа
ε_{bt1}	0,0000021
$\varepsilon_{bt1} < \varepsilon_{bt} < \varepsilon_{bt0}$	
$k_{bt} = \sigma_{bt1} / R_{bt}$	0,6
ε_{bt0}	0,0001
$\varepsilon_{bt0} \leq \varepsilon_{bt} \leq \varepsilon_{bt2}$	
ε_{bt2}	0,00015
Арматура	
E_s	200000 МПа
R_s	340 МПа
R_{sc}	-340 МПа
$0 < \varepsilon_{s(c)} < \varepsilon_{s(c)0}$	
σ_{s0}	340 МПа
ε_{s0}	0,0017
σ_{sc0}	340 МПа
ε_{sc0}	-0,0017
$\varepsilon_{s(c)0} < \varepsilon_{s(c)} \leq \varepsilon_{s(c)2}$	
σ_{s2}	340 МПа
ε_{s2}	0,025
σ_{sc2}	-340 МПа
ε_{sc2}	-0,025

Крайняя итерация приведена в таблице А.1, приложение А.

Полученные результаты расчета по деформационной модели сведем на рисунок 17 для наглядности.



Рисунок 17 – График схождения результатов

Подтвердить правильность расчета по предельным усилиям можно увеличив момент на любую величину. На рисунке 18 приведен график схождения при моменте на балку равному 108 кНм.

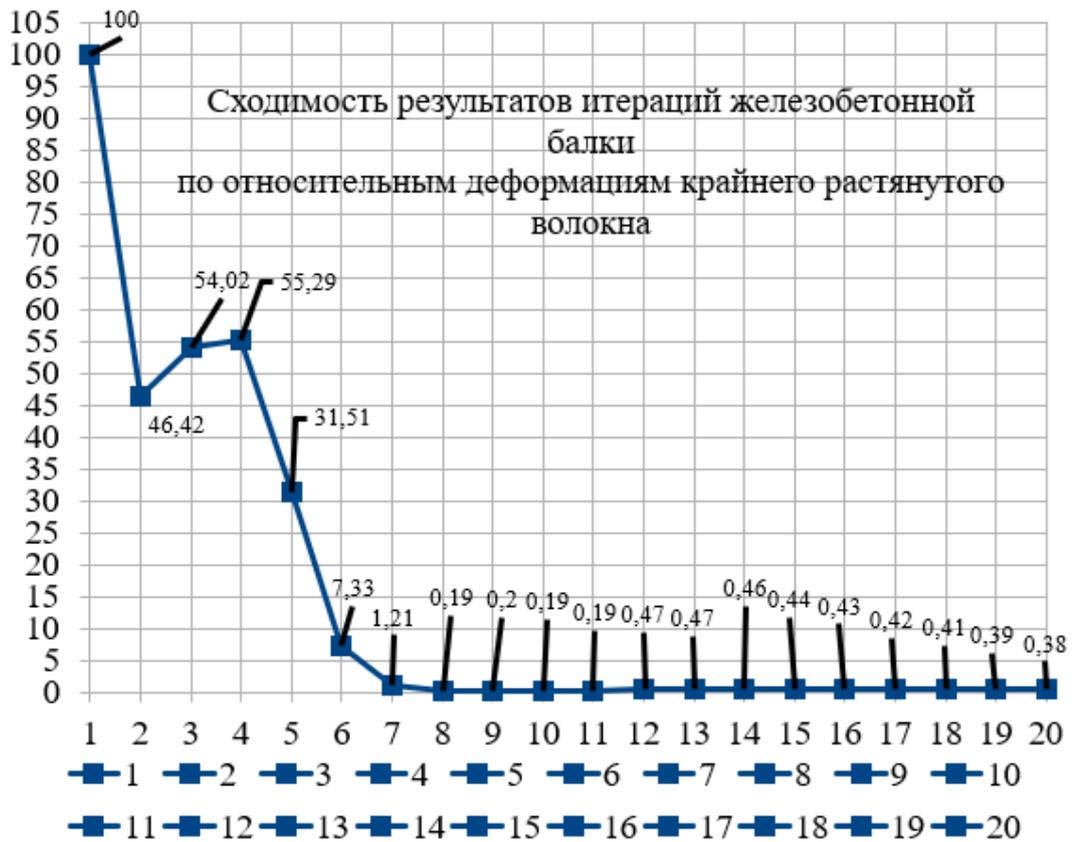


Рисунок 18 – График схождения результатов

Если исследовать балку более точно и продолжить итерации, то можно заметить, что, начиная от момента 108 кНм, арматура начинает испытывать пластические деформации до разрушения.

Далее приведем полученный момент трещинообразования по деформационной модели. В таблице 8 приведены исходные данные для численного решения.

Таблица 8 – Исходные данные для расчета по второй группе предельных состояний

Габариты балки			Арматура		
		мм			мм

Продолжение таблицы 8

		мм	dsc		мм
Толщина стенок опалубки					мм ²
		мм			мм ²
		мм			шт
					шт
Высота конечных элементов			Защитные слои арматуры (до грани арматуры)		
Δh		мм			мм
					мм
Сечение конечных элементов			Координаты арматуры		
Бетонной балки			Бетонной балки		
		мм ²			мм
Фибробетонной балки					мм
		мм ²			
		мм ²			
Момент в пролете балки					
$M_{срс}$		кНм			

Результаты итерации по второй группе предельных состояний приведены в таблице А.2, приложение А.

При проведении расчета по определению момента трещинообразования из условия достижения бетоном краевых участков предельных относительных деформация на 20 итерации деформации растянутой зоны достигли трещинообразования. При продолжении увеличения момента трещины дадут явное раскрытие.

Также на рисунке 19 приведена диаграмма итерационного решения при найденном моменте. На рисунке 20 изображена аналогичная диаграмма при увеличенном усилии до 78 кНм.

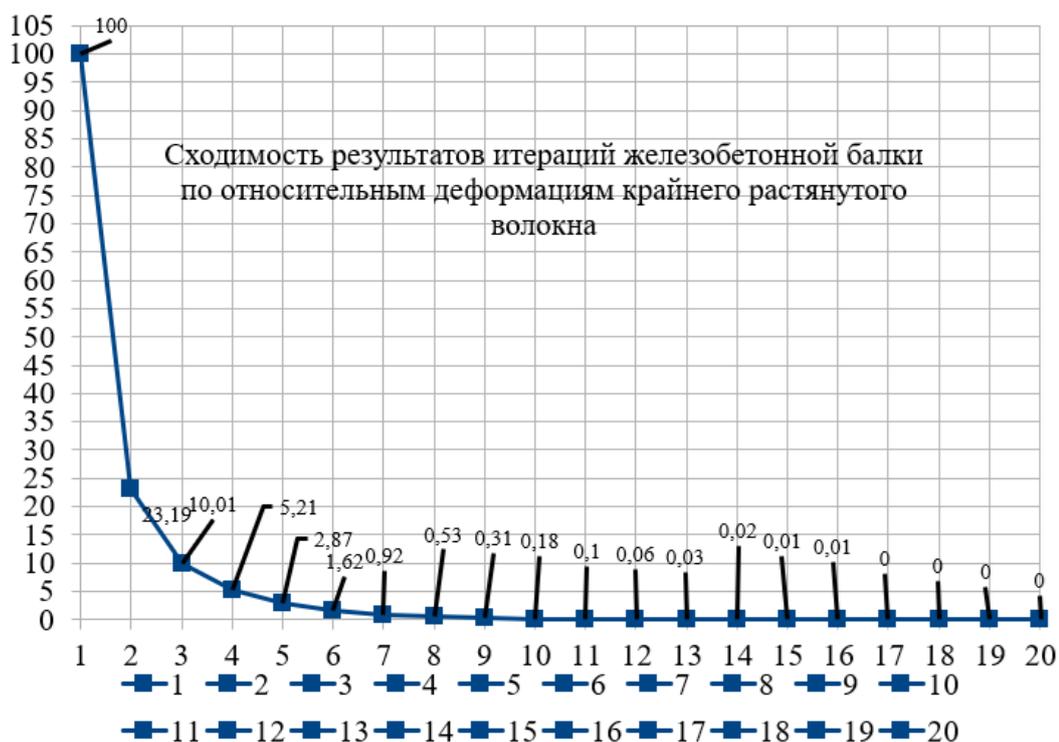


Рисунок 19 – Диаграмма сходимости результатов итераций



Рисунок 20 - Диаграмма сходимости итераций при M=78 кНм

По рисунку можно заметить, что произошел скачек в относительных деформациях, что говорит об образовании трещин.

3.3 Расчет гибридной балки по деформационной модели

Так как диаграмма состояния сжатого фибробетона принимается как для бетона, ее рассматривать не будем. В таблице 9 приведены условия вычисления относительных деформаций для фибробетона растянутой зоны.

Таблица 9 – Условия диапазонов работы растянутого фибробетона

Характеристики	Числовые значения
Характеристики растяжения	
	2 МПа
	1,54 МПа
	0,77 МПа
$0 \leq \varepsilon_{fbt} \leq \varepsilon_{fbt0}$	
ε_{fbt0}	
$\varepsilon_{fbt0} \leq \varepsilon_{fbt} \leq \varepsilon_{fbt1}$	
ε_{fbt1}	
$\varepsilon_{fbt1} \leq \varepsilon_{fbt} \leq \varepsilon_{fbt2}$	
ε_{fbt2}	
$\varepsilon_{fbt2} \leq \varepsilon_{fbt} \leq \varepsilon_{fbt3}$	
ε_{fbt3}	

Армирование остается прежним за исключением того, что растянутую арматуру располагаем выше. В таблице 10 представлены исходные данные для расчета гибридной балки с несъемной опалубкой из фибробетона.

Таблица 10 — Исходные данные для фибробетонной балки.

Габариты балки			Арматура		
		мм			мм
		мм	sc		мм
Толщина стенок опалубки					мм ²
		мм			мм ²
		мм			шт
Высота конечных элементов					шт
Δh		мм	Защитные слои арматуры (до грани арматуры)		
Фибробетонной балки					мм
		мм ²			мм
		мм ²	Условие бетонирования растянутой арматуры		
Момент в пролете балки					мм
М	54	кНм	Координаты арматуры		
					мм
					мм

Последняя итерация по прочности сечения представлена в таблице А.3, приложение А.

На рисунке 21 показана диаграмма итерационного сближения результатов. На рисунке 22 представлен аналогичный график для усилия в 156 кНм.

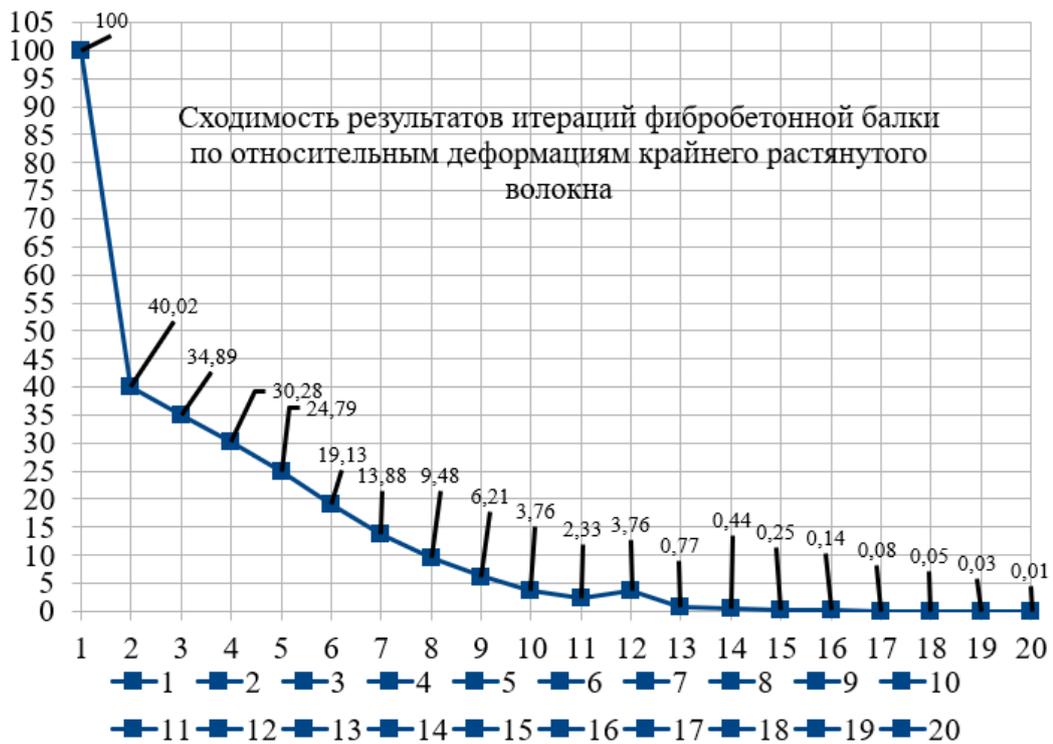


Рисунок 21 – Диаграмма сходимости результатов расчета

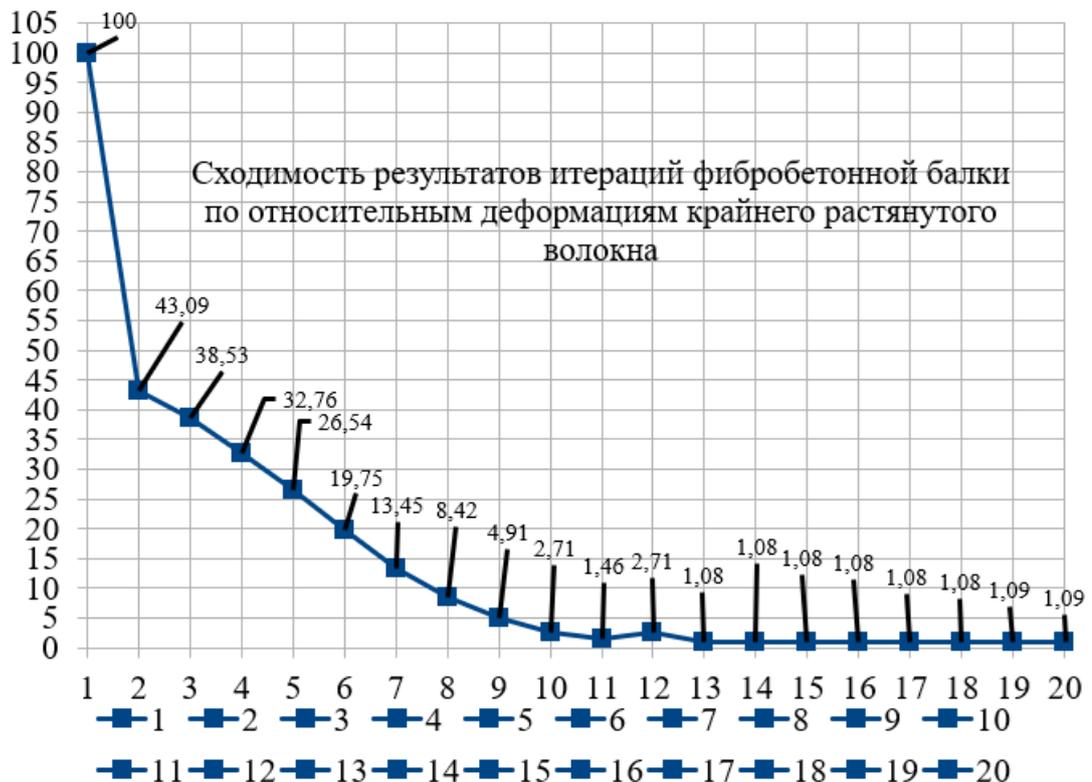


Рисунок 22 – Диаграмма сходимости итерации для $M=156$ кНм

Проведем подбор момента трещинообразования аналогично железобетонной балке. В таблице 11 приведены исходные данные для расчета по трещинообразованию.

Таблица 11 — Исходные данные для гибридной балки.

Габариты балки			Арматура		
		мм			мм
		мм	sc		мм
Толщина стенок опалубки					мм ²
		мм			мм ²
		мм			шт
Высота конечных элементов					шт
Δh		мм	Защитные слои арматуры (до грани арматуры)		
Сечение конечных элементов					мм
Бетонной балки					мм
		мм ²	Условие бетонирования растянутой арматуры		
Фибробетонной балки					мм
		мм ²	Фибробетонной балки		
		мм ²			мм
Момент в пролете балки					мм
$M_{сгс}$		кНм			

В данной балке были рассмотрены 2 случая, когда достигаются деформации трещинообразования в железобетоне и в фибробетоне. При этом подобраны моменты трещинообразования для первого случая 84,5 кНм и для второго 102 кНм.

По результатам расчетов можно сказать следующее, сечение бетона находится на грани до образования первой трещины, тогда как фибробетон имеет до 34% запаса относительно его максимальной деформации по образованию трещин. Во втором же случае деформации бетона превысили его предел на 50%, а фибробетон только подошел к своему пределу по образованию трещин. Что характерно для данной балки по графику

сходимости результатов нельзя четко выделить момент образования трещин, как было с железобетонной балкой.

3.4 Сопоставление результатов расчета по двум балкам

Сведем полученные результаты в таблицу 12.

Таблица 12 — Сопоставление результатов расчетов.

Тип балки	Результаты по предельным усилиям, кНм		Результаты по деформационной модели, кНм	
	M_{ult}	$M_{crс}$	M_{ult}	$M_{crс}$
Железобетонная			107	77,4
Железобетонная с опалубкой из фибробетона				
Относительная разность несущих способностей балок, %				

Полученный прирост несущей способности говорит о том, что можно сделать сечение более экономичным по бетону или арматуре.

Выводы по третьей главе

В проделанных расчетах прослеживается увеличение несущей способности элемента при применении несъемной опалубки из фибробетона. Также повышается трещиностойкость, что говорит о положительном действии опалубки на конструкцию. Нужно подметить, что при применении опалубки пришлось поднять стержни растянутой арматуры выше, что в целом отрицательно сказывается на несущей способности сечения, однако это не помешало опалубке воспринять роль армирующего материала. Так как в поставленной задаче использовался фибробетон самого низкого класса и лучшего подкласса, можно сказать о его эффективности в балках.

Заключение

По заключению выполненной работы можно сказать, что поставленные задачи, для достижения цели, поставленной в магистерской диссертации, были выполнены в полном объеме:

- была изучена научная литература, публикации зарубежных и отечественных ученых;
- рассмотрен состав бетона и разные виды опалубок;
- разработан проект несъемной опалубки, определены размеры стенок опалубки;
- проведены расчеты по деформационным моделям для гибридной балки с несъемной опалубкой из фибробетона;
- проведены расчеты по деформационным моделям для классической железобетонной балки;
- проведено сравнение полученных результатов;
- оценены преимущества гибридной балки.

Таким образом, можно утверждать, что цель исследования достигнута в полном объеме.

В проведенной работе были выявлены следующие преимущества использования гибридной балки на основе тяжелого бетона, стальной арматуры и несъемной опалубки из фибробетона:

1. Опалубка из фибробетона легко несет на себе вес бетонной смеси на пролетах до 6 м.
2. Гибридная балка имеет на более чем 40% больше несущую способность, чем классическая железобетонная балка тех же размеров.
3. Трещиностойкость изделия выросла на 30%.
4. При использовании гибридной балки можно применять меньше армирования, что говорит о экономии.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Блещик Н. П., Жуков Д. Д., Лазовский Д. Н., Казачек В. Г., Кондратчик А. А., Пецольд Т. М., Подобед Д. П., Рак Н. А., Тур В. В., Шуберт И. М. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования. М.: БГТУ; Брест, 2003. 380 с.
2. Бушуев Д. Д. Оценка влияния состава тяжелого бетона на прочность при сжатии / Синергия Наук. – 2020. – № 47. – С. 507-517.
3. Виды армирования бетона: для чего требуется армирование, какие материалы и способы используются в современном строительстве [Электронный ресурс]. URL: <https://cemmix.ru/clauses/vidy-armirovaniya-betona-dlya-chego-trebuetsya-arm> (дата обращения: 10.10.2023)
4. Волков Н. М. Исследование устройства систем монолитных конструкций с использованием несъемной опалубки / Высокие технологии в строительном комплексе. – 2022. – № 2. – С. 110-114.
5. Гарькин И.Н. Технология применения несъемной опалубки в монолитном строительстве/ Аллея науки. – 2018. – Т.2. – № 2(18). – С. 376-379.
6. Гонов М. Е. Механические свойства фибробетонов при динамическом сжатии / Проблемы прочности и пластичности. – 2022. – Т. 84, № 1. – С. 130-148.
7. ГОСТ 14613-83. Фибра. Технические условия. – Введ. 1985-01-01. – М. : Стандартинформ, 1991. 28 с.
8. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования (ред. от 01.12.2019). Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 67 2019. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100938?section=status> (дата обращения: 10.10.2023)
9. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения (ред. от 01.12.2019). Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. URL:

<http://docs.cntd.ru/document/1200101281?section=status> (дата обращения: 10.10.2023)

10. Клявлиная Я. М. Техничко-экономическое обоснование применения современных конструктивных решений в многоэтажном строительстве / Я. М. Клявлиная, А. С. Салов, Э. С. Гайнанова // Экономика и управление: научно-практический журнал. – 2019. – № 2(146). – С. 131-135.

11. Павозков Д. В. Виды армирования бетона: для чего требуется армирование / Д. В. Павозков // Вестник науки. – 2023. – Т. 4, № 8(65). – С. 330-332.

12. Патент № 2789683 С1 Российская Федерация, МПК E04C 3/29. гибридная балка : № 2022119301 : заявл. 13.07.2022 : опубл. 07.02.2023 / К. В. Талантова, В. В. Веселов, Д. В. Балаев, Е. Д. Фролова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

13. Попов В. М. Влияние фибрового армирования на надёжность сталефибробетонных изгибаемых элементов с одиночным армированием / В. М. Попов, М. Г. Плюснин // Актуальные вопросы экономики и менеджмента в агропромышленном комплексе : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Караваево, 15 ноября 2018 года. – Караваево: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 250-252.

14. Рогожина М. И. Основные аспекты технологии тяжелого бетона для возведения монолитных конструкций / М. И. Рогожина, Е. Ю. Мищерина, А. А. Лapidус // Технология и организация строительного производства. – 2018. – № 2. – С. 14-17.

15. Саранчук И. А. Фибробетон для строительной индустрии / И. А. Саранчук // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2016 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород:

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 3228-3232.

16. Современные опалубочные системы: учебное пособие / А.В. Киянец. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 17 с.

17. СП 414.1325800.2018. Несъемная опалубка. Правила проектирования. Введ. 13.05.2019. М.: Стандартинформ, 2019. 28 с.

18. СП 52-104-2006*. Сталефибробетонные конструкции. Введ. 03.10.2006. М.: Стандартинформ, 2006. 67 с.

19. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (ред. от 22.11.2019). М.: 2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/554403082?section=status> (дата обращения: 10.10.2023)

20. Талантова, К.В. О методике проектирования состава сталефибробетонной смеси // Актуальные проблемы строительного материаловедения: материалы Всероссийской научно-технической конф. Томск. 1998. – С. 69–71.

21. Талантова К. В. Современные гибридные строительные конструкции / К. В. Талантова, В. В. Веселов // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения : Материалы Международных академических чтений, Курск, 18 ноября 2020 года / Под редакцией С.И. Меркулова. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2020. – С. 46-55.

22. Фролова А.В. Виды несъемной опалубки и ее применение в монолитном строительстве / А.В. Фролова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 19 (466). – С. 124-127. – URL: <https://moluch.ru/archive/466/102379/> (дата обращения: 06.01.2024).

23. Чаевская Е. А. Расчёт железобетонных конструкций по двум группам предельных состояний. учеб. пособие. М.: Братск, 2010. 68 с.

24. Я. С. Г. Аль-Хаснави, Н. Н. Ласьков, О. И. Ефимов, Ф. С. Замалиев. К вопросу о проектировании балки из ячеистого бетона с жёсткой арматурой / Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3(48). – С. 137-143.

25. A. A. Aniyarov, S. A. Jumabayev, D. B. Nurakhmetov, R. K. Kussainov. A hybrid algorithm for solving inverse boundary problems with respect to intermediate masses on a beam / Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. – 2021. – No. 4(104). – P. 4-13.

26. Asasira Naome, Kunda Kunda, Ngango Justin, Zefack Mac Rollin. A Flexural behaviour of fiber reinforced concrete beams specimens strengthened by hybrid fibers / Экономика строительства. – 2021. – No. 4(70). – P. 70-76.

27. Chumichev N. The economic feasibility of the construction of buildings of fibre-reinforced concrete / AlfaBuild. – 2018. – No. 5(7). – P. 38-46.

28. Kunda Ch. Fixed formwork, its types and advantages in modern monolithic construction / Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 18 апреля 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – P. 212-215.

29. Lazovsky E. D. Strength of reinforced concrete beams, strengthened with additional prestressed transverse reinforcement / European and national dimension in research : Materials of VI junior researchers' conference: In 3 Parts, Новополюцк, 22–23 апреля 2014 года / Ministry of education of Belarus; Polotsk State University. Vol. Part 3. – Новополюцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», 2014. – P. 58-60.

30. O. Khabidolda, Zh. B. Bakirov, Zh. S. Nuguzhinov, N. I. Vatin. Determining stress intensity factor in bending reinforced Concrete beams / Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. – 2019. – No. 4(96). – P. 90-98.

Приложение А
Результаты итераций

Таблица А.1 – Крайняя итерация

Итерация 20																
Коэффициенты матрицы жесткости									ε_0	ε_b	σ_b	ε_s	σ_s	v_b	v_s	
									$\delta\varepsilon_0$							

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

Продолжение приложения А

Таблица А.2 – Итерация по второй группе предельных состояний железобетонной балки

Итерация 20																
Коэффициенты матрицы жесткости									ε_0	ε_b	σ_b	ε_s	σ_s	v_b	v_s	
									$\delta\varepsilon_0$							
									$k_{bt}=\varepsilon_0/\varepsilon_{bt}$							
									$k_b=\varepsilon_h/\varepsilon_{b2}$							

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.2

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.2

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.2

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.2

Таблица А.3 – Последняя итерация по первой группе предельных состояний для гибридной балки

Итерация 20																					
Коэффициенты матрицы жесткости													ϵ_0	ϵ_b	σ_b	σ_{fb}	ϵ_s	σ_s	v_b	v_{fb}	v_s
													$\delta\epsilon_0$								

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3

--	--	--	--	--	--

--	--

--	--	--

--	--

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.3