

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Назиров Р.А.
подпись Ф.И.О
«__» _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Проектные решения при реконструкции и реставрации с использованием
углеродных волокон

тема

08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	<u>доцент, к.ф.-м.н.</u>	<u>Г.Е. Нагибин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Е. А. Вахрушева</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	_____
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Назиров Р.А.
подпись Ф.И.О
« ___ » _____ 20__ г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме магистерской диссертации

Красноярск 2020 г

Студенту Вахрушевой Екатерине Андреевной
фамилия, имя, отчество

Группа СФ18-04М Направление (профиль) 08.04.01 «Строительство»
(номер) (код)

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

Тема выпускной квалификационной работы: Проектные решения при реконструкции и реставрации с использованием углеродных волокон

Утверждена приказом по университету № 16412/с от 25.10.2018 г.

Руководитель ВКР: Г.Е. Нагибин, к.ф.-м.н., доцент кафедры ПЗиЭН
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР Нормативно-правовые документы, законодательные нормы и правила, нормативные акты Красноярского края, официальные материалы статистических органов, учебники, справочники, научные доклады и отчеты, материалы конференций и семинаров, справочные данные сети Internet, материалы научно-исследовательской практики

Перечень разделов ВКР:

- Введение;
- Глава 1. Теоретические аспекты;
- Глава 2. Описание используемых методов исследования;
- Глава 3. Обоснование эффективности применения углеродного волокна;
- Заключение;
- Список используемых источников;
- Приложения.

Перечень графического материала: 10-15 слайдов презентационного материала, дающие полное отображение о ходе и итогах исследования

Руководитель ВКР

подпись

Г.Е. Нагибин
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

Е. А. Вахрушева

« _____ » _____ 2020 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения ВКР

Наименование раздела	Срок выполнения
1. Анализ литературных источников	Сентябрь-декабрь 2018
2. Формирование Главы 1 магистерской диссертации	Январь-март 2019
3. Разработка проектных решений, изучение методологии проведения работ	Апрель- май 2019
4. Формирование Главы 2 магистерской диссертации	Июнь –август 2019
5. Подготовка образцов, проведение испытаний и анализ результатов по схеме 1. Выполнение прочностного и экономического расчета	Сентябрь-декабрь 2019
6. Подготовка образцов, проведение испытаний и анализ результатов по схеме 2.	Январь-март 2020
7. Формирование Главы 3 магистерской диссертации	Март –май 2020
8. Формирование и оформление магистерской диссертации. Рецензирование	Июнь 2020
9. Защита	Июль 2020

« ____ » _____ 2020 г.

Руководитель ВКР

подпись

Задание принял к исполнению

подпись

Г.Е. Нагибин

инициалы, фамилия

Е. А. Вахрушева

инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Теоретические аспекты	8
1.1 Актуальность реконструкции и реставрации зданий и сооружений	8
1.2 Существующие методы усиления конструкций, применяемые при реконструкции и реставрации.....	11
1.3 Свойства углеродных волокон. Технические характеристики. Достоинств и недостатки применения в строительстве.	18
1.4 Нормативная база	21
1.5 Изученность метода	25
2. Общие положения экспериментальной работы.....	28
2.1 Изготовление образцов	28
2.2 Армирование образцов углеродным волокном.....	30
2.3 Испытание образцов	31
3. Обоснование эффективности применения углеродного волокна.....	33
3.1. Разработка конструктивного решения.....	33
3.2 Прочностной анализ методов усиления	47
3.2.1 Расчет на прочность при усилении углеродным волокном.....	52
3.2.2 Расчет усиления железобетонной балки созданием упругой опоры....	57
3.2.3 Расчет по прочности железобетонной балки, усиленной наращиванием снизу	63
3.3 Определение стоимости увеличения прочности балки различными методами усиления	69
3.4 Техничко-экономическое обоснование применение углеродного волокна при усилении строительных конструкций	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ А	86
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ В	88
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	92

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Область обеспечения надежной эксплуатации зданий и сооружений на сегодняшний день изучается многими учеными, как за рубежом, так и внутри страны. Необходимость решения проблемы надежности отмечается, как при возведении зданий или сооружений, так и в процессе их эксплуатации. Обеспечение потребности в безопасной эксплуатации конструкций отмечается во всех областях строительства, как при капитальном строительстве (жилые, административные и производственные здания) так и при линейном (мосты, дороги).

На сегодняшний день в отечественной и зарубежной практике накоплено множество различных способов и конструктивных приемов усиления строительных конструкции. Традиционные методы усиления железобетонных конструкций уже показали свою эффективность на практике, и доказали, что они отлично выполняют свою роль в плане повышения или восстановления несущей способности элементов конструкции. Но несмотря на это, большинство традиционных методов имеют ряд общих недостатков, таких как высокая стоимость проведения работ, большие затраты по рабочему времени на производство единицы продукции, а также невозможность проведения ремонтных работ без выведения сооружения из эксплуатации.

Основываясь на приведенных выше факторах можно сделать вывод о том, что в современном мире существует потребность в разработке и последующем применении современных технологий и способов усиления с применением новых материалов, которые бы позволяли проводить работы с меньшими трудозатратами и меньшей стоимостью.

Одними из таких новшеств являются композиционные материалы на основе высокопрочных углеродных волокон. Данный материал уже нашел свое применение во многих областях, таких как аэрокосмическая и авиационная промышленности, а также в сфере строительства. Углеродное волокно успешно применяется в зарубежных странах как материал для усиления железобетонных

конструкций. Данный материал уже давно применяется в аэрокосмической и авиационной промышленности, и зарекомендовал себя, как материал обладающий большой прочностью, гибкостью, устойчивостью к давлению и высокой коррозионной стойкостью. В большинстве случаев усиление конструкций композиционными материалами на основе углеродного волокна оказывается конкурентоспособно по сравнению с традиционными методами, как по срокам производства работ, так и по стоимости. В России также имеется успешная практика применения в строительном производстве углеродных материалов в качестве усиливающих элементов железобетонных и каменных конструкций.

Степень научной разработанности проблемы диссертационного исследования определена путем изучения и анализа работ отечественных и зарубежных ученых ведущих научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений, а также производителей систем внешнего армирования.

Исследователи, Овчинников, Ефимов, Тимофеев, Кондратов, занимались вопросами, связанными с усилением конструкций пролетных строений, выполненных из железобетона, такие как мосты [1-8].

В рамках работ Ата Эль Карим Шоеаб, Михуба Ахмада, Картузова, Шилина, Устинова была рассмотрена проблема применения углеродных композитов в строительстве при усилении железобетонных сооружений [9-16].

В рамках своих работ, С.А. Бокаревым, В.М. Картопольцевым, В. Колотти (Италия), А. Нанни (США), Д.Н. Смердовым, В.И. Шестериковым, были рассмотрены вопросы применения в качестве усиления конструкций мостовых сооружений систем внешнего армирования на основе углеродных материалов [17-26].

Работа упрочнённых углеволокном элементов под многократно повторяющимися нагрузками была изучена Д.Н. Смердов, Р. Гуссенговен, Ж.А.О. Баррос, А. Прота [25,26, 29-32].

А.А. Шилиным была предложена и рассмотрена методика по расчету железобетонных элементов в промышленных зданиях и в зданиях и сооружениях

гражданского назначения. Методика расчета несущей способности железобетонных пролетных строений, таких как автодорожные мосты, которые были усилены композиционными материалами, рассматривалась в рамках работ Д.Н. Смердова и В.И. Шестерикова [27, 28].

АО «Препрег - современные композиционные материалы», ООО «Инженерно-производственный центр «Интераква»», ООО «БАСФ Строительные Системы», ФГУП «Российский дорожный научно-исследовательский институт», ООО «Научно-исследовательский институт бетона и железобетона» и другие организации разработали руководства или стандарты организации по усилению железобетонных конструкций зданий, сооружений и автодорожных мостов композиционными материалами [33-36].

На основании накопленного зарубежного и отечественного опыта производства работ по усилению конструкций внешним армированием материалами на основе углеродного волокна были разработаны различные нормативные документы в виде стандартов, технических условий организаций и другой технической литературы.

Первый отечественный свод правил был разработан и принят в 2015 году, назывался СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами», в нем продемонстрирована методика расчета усиленных железобетонных балочных конструкций по двум группам предельных состояний, а также описаны конструктивные требования, предъявляемые при усилении [35].

Целью диссертационного исследования является разработка проектных решений по увеличению прочности строительных конструкций при реконструкции и реставрации с использованием композиционного материала на основе углеродного волокна.

В соответствии с поставленной целью в работе сформулированы следующие задачи:

- Рассмотреть понятия реконструкции и реставрации;

- Изучить существующие методы усиления строительных конструкций;
- Разработать схемы усиления строительных конструкций;
- Провести испытания разработанной схемы;
- Провести экономическое сравнение.

Область исследования диссертационной работы соответствует паспорту специальности ВАК 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения», а именно пункту 3 «Создание и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований вновь возводимых, восстанавливаемых и усиливаемых строительных конструкций наиболее плотно учитывающих специфику воздействия на них, свойства материала, специфику конструктивных решений и другие особенности».

Объектом исследования являются усиливаемые бетонные конструкции.

Предметом исследования является усиление конструкций углеродным волокном.

Научная гипотеза диссертационного исследования заключается в том, что применение углеродного волокна для усиления строительных конструкций должно способствовать уменьшению затрат на усиления конструкций, при обеспечении необходимой прочности.

Научную новизну диссертационного исследования составляют разработанные проектные решения по усилению строительных конструкций, позволяющие повысить прочность при проведении работ по реконструкции и реставрации.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные методы можно использовать, как при реконструкционных, так и при реставрационных работах, при этом обеспечивается минимальное изменение габаритов усиливаемой конструкции в сочетании с достаточно эффективными показателями повышения прочности.

Теоретической базой для диссертации послужили научные работы отечественных и зарубежных ученых различных научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений и производителей систем внешнего армирования, а также нормативная документация.

Методология исследования основана на комплексе способов научного познания: натурных обследований строительных конструкций, логического и компьютерного моделирования. Проведены численно-аналитические исследования, использованы приемы системного анализа и сопоставительный анализ результатов.

Публикации результатов исследования. Результаты диссертационного исследования были опубликованы в 2 статьях, в сборниках, входящих в систему научного цитирования РИНЦ.

Структура и объем диссертации. Структура работы, была определена в соответствии с поставленными целями и задачами. Работа состоит из следующих разделов, введение, три главы, а также заключение, список использованных источников и приложения. Текст диссертации представлен на 74 страницах, включая 8 таблиц, 4 графика и 30 рисунка, библиографию из 85 источников, приложения изложены на 8 страницах.

Авторские разработки основаны на данных полученных автором в ходе исследований в период 2018-2020 года.

1. Теоретические аспекты

1.1 Актуальность реконструкции и реставрации зданий и сооружений

В процессе своего жизненного цикла здания и сооружения подвергаются воздействию различных силовых и не силовых воздействий, влияние которых вызывает физический износ, и как следствие уменьшение долговечности за счет потери его элементами эксплуатационных качеств.

Помимо физического износа строительные сооружения претерпевают моральный износ, который может быть вызван несоответствием планировки зданий, конструктивных решений и инженерных систем современным требованиям эксплуатации.

Для обеспечения нормального функционирования зданий, их необходимо привести в соответствие нормативным требованиям. Вопрос восстановления физического и морального состояния зданий и сооружений решается в процессе реконструкции или реставрации.

Согласно статьи 1 Градостроительного кодекса Российской Федерации под реконструкцией понимается:

Реконструкция объектов капитального строительства (за исключением линейных объектов) – изменение параметров объекта капитального строительства, его частей (высоты, количества этажей, площади, объема), в том числе надстройка, перестройка, расширение объекта капитального строительства, а также замена и (или) восстановление несущих строительных конструкций объекта капитального строительства, за исключением замены отдельных элементов таких конструкций на аналогичные или иные улучшающие показатели таких конструкций элементы и (или) восстановления указанных элементов.

Реконструкция линейных объектов - изменение параметров линейных объектов или их участков (частей), которое влечет за собой изменение класса,

категории и (или) первоначально установленных показателей функционирования таких объектов (мощности, грузоподъемности и других) или при котором требуется изменение границ полос отвода и (или) охранных зон таких объектов.

Основной задачей реконструкции является защита от преждевременного старения зданий и сооружений путем переустройства и модернизации с целью улучшения их потребительских качеств.

Одним из аспектов, требующих на сегодняшний день проведения реконструкционных и реставрационных работ, является жилищный фонд, находящийся в аварийном состоянии, в результате воздействия непредвиденных нагрузок, износом строительных конструкций в процессе эксплуатации, а также моральном износе.

Определение аварийного жилого фонда приводится в п. 2 ст. 2 Федерального закона "О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства" от 21.07.2007 N 185-ФЗ.

Аварийный жилищный фонд — это совокупность жилых помещений в многоквартирных домах, признанных в установленном порядке до 01.01.2017 аварийными и подлежащими сносу или реконструкции в связи с физическим износом в процессе их эксплуатации.

Состояние аварийности жилищного фонда начиная с 1995 года в России на сегодняшний момент отражено в графике 1.1 [39].

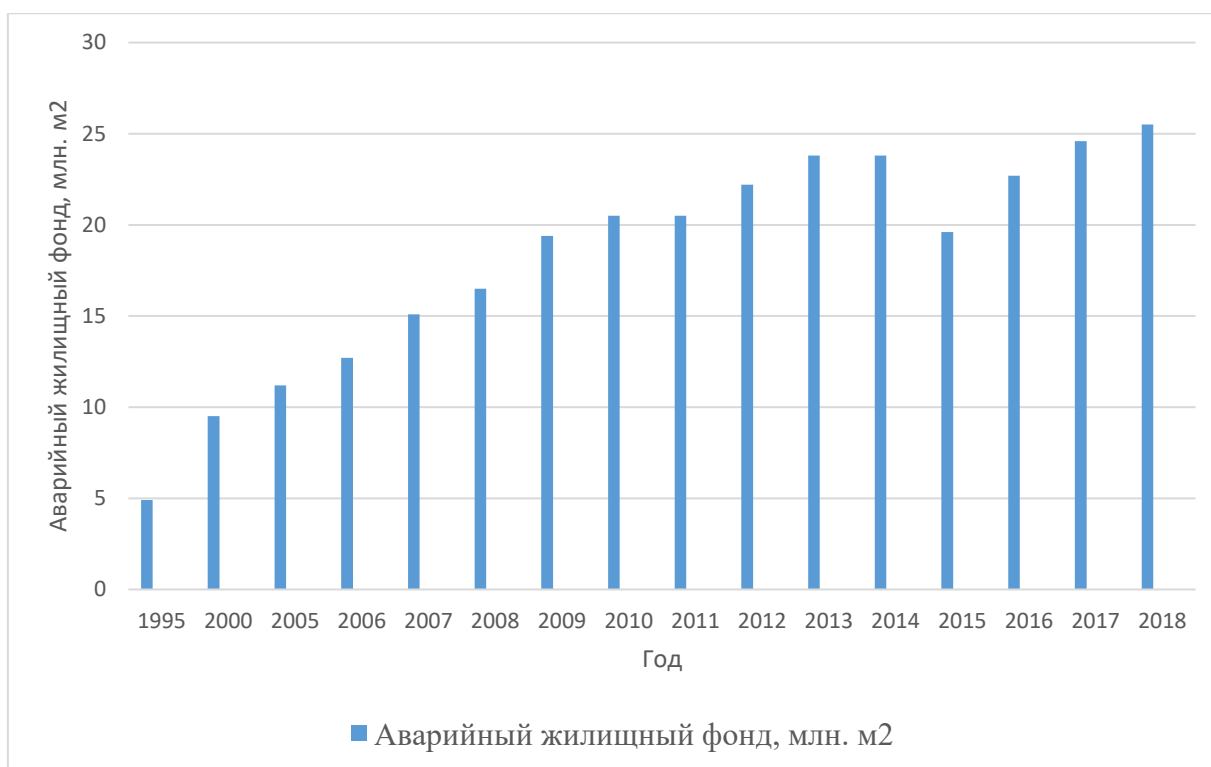


График 1.1 – Состояние аварийности жилищного фонда

По графику видно, что с 1995 года происходит рост жилья, которое подлежит реконструкции и сносу.

Так же на сегодняшний день требует внимания восстановление мостовых сооружений, которые не соответствуют современным нормативным требованиям или утратили свои эксплуатационные характеристики в результате аварий, изменения нагрузок или в ходе физического износа самого сооружения.

По состоянию на начало 2019 года 64 тыс. 943 искусственных сооружения числятся на автомобильных дорогах регионального и местного значения, из них более 52 тыс. – капитальные сооружения, 12,5 – деревянные. По информации органов управления дорожным хозяйством, 3 тыс. 867 мостов находятся в аварийном и предаварийном состоянии.

По данным региональных автодорог, сегодня требуется: ремонт – 571 моста, капитальный ремонт 1 тыс. 365 мостов, реконструкция – 1 тыс. 580 мостов [40].

Еще одним аспектом которому необходимо уделить внимание в рамках проведения работ по реконструкции и реставрации является восстановление объектов культурного наследия. Сложность проведения работ по восстановлению памятников культуры заключается в том, что помимо непосредственного усиления объекта, необходимо так же максимально близко сохранить его визуальный облик с первоисточником.

В соответствии с ч. 1 ст. 754 Гражданского кодекса РФ реконструкция включает в себя обновление, перестройку, реставрацию здания или сооружения.

Согласно Федеральному закону "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации" от 25.06.2002 N 73-ФЗ:

Реставрация памятника или ансамбля – это научно-исследовательские, изыскательские, проектные и производственные работы, проводимые в целях выявления и сохранения историко-культурной ценности объекта культурного наследия.

По данным министерства культуры на 2011 год в удовлетворительном состоянии находилось всего 35,7 % памятников истории и культуры, более 8 тысяч объектов культурного наследия имели аварийное состояние. Всего с 2012 по 2019 годы было отреставрировано более 900 объектов культурного наследия [38].

Таким образом на сегодняшний момент во многих сферах связанных с эксплуатацией зданий и сооружений существует высокая потребность в проведении как мероприятий по реконструкции, так и по их реставрации.

1.2 Существующие методы усиления конструкций, применяемые при реконструкции и реставрации

На сегодняшний день существует множество методов усиления строительных конструкций, и не смотря на все их многообразие, их можно свести к двум основным видам (Рисунок 1.1).:

1. Устройство разгружающих и заменяющих конструкций;
2. Повышение собственной несущей способности конструкции.



Рисунок 1.1 – Существующие методы увеличения прочности железобетонных конструкций

Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, такие как степень изменения внешнего вида и габаритов усиливаемой конструкции, сроки работ по усилению, доступность материалов, трудоемкость, экономичность, технологичность и другие показатели. Сущность выбора метода усиления сводится к определению основных требований, предъявляемых к реставрируемой конструкции. Как правило при реставрации основным требованием чаще всего является максимальное сохранение, по крайней мере, внешнего вида реставрируемой конструкции, а при реконструкции максимальное сохранение полезного пространства.

Метод устройства разгружающих и заменяющих конструкций базируется на том, что возле усиливаемого объекта, возводится конструкция, назначение которой воспринимать часть или всю нагрузку, приходящуюся на усиливаемый элемент.

Процесс возведения разгружающих и заменяющих конструкций, как правило, не является сложным, а главным недостатком в этих конструкциях будет значительное изменение интерьера и уменьшение габаритов помещений. При выполнении работ по реставрации зданий или сооружений разгружающие и заменяющие конструкции возможно применять только при условии, что они не будут видны ни изнутри, ни снаружи здания. Как правило их применяют для усиления стропильной системы, чердачного перекрытия, междуэтажного перекрытия, когда удастся разместить конструкции усиления в толще перекрытия или в перегородках, а также для усиления фундаментов.

Усиление методами, происходящих без перемены расчетной схемы и напряженного состояния конструкции, производится путем наращивания сечения. Это является определенным недостатком при проведении реставрационных работ, так как происходит увеличение сечения усиливаемого элемента.

Так как при наращивании новый и старый бетон обладают разными свойствами, а также различными сечениями арматуры, то необходимо проведение мероприятий по обеспечению совместной работы усиливаемой конструкции и самого усиления. Обеспечение единства работы данной конструкции производится путем приварки арматурных отгибов к новой и старой арматуре. Так как при проведении работ производится оголение арматуры и удаление части бетона, то перед усилением необходимо произвести разгрузку элемента, что делает невозможным проведение работ без остановки производства. Так же к сложности этого способа усиления можно отнести необходимость как можно более скорого включения в работу конструкции усиления.

Усиление, осуществляемое путем изменения напряженного состояния, производится путем устройства предварительно напряженных распорок и затяжек для сжатых и изгибаемых и растянутых элементов соответственно.

При использовании в усилении дополнительных опор, происходит изменение расчетной схемы усиливаемой конструкции, а также превращение разрезных конструкций в неразрезные, как следствие перемещение мест приложения нагрузки. Этот метод приводит к значительным изменениям внешнего вида интерьера помещений, а также самих конструкций, что не допустимо при реставрации, в связи с этим применение данного метода весьма ограничено.

При реставрации зданий встречаются случаи, когда большая часть конструкции находится в удовлетворительном состоянии и лишь отдельные ее части имеют повреждения (сгнившие концы балок, стропильных ног, трещины, переломы и др.). В этих случаях нецелесообразно производить замену или усиление всей конструкции. Достаточно усилить ее дефектные участки, применив разного рода протезы, местные обоймы, произвести ремонт стыковых соединений.

При усилении строительных конструкций должно уделяться внимание защите от гниения и возгорания деревянных и коррозии стальных и железобетонных конструкций. Это относится в равной степени как к усиливаемым конструкциям, так и к конструкциям усиления.

На сегодняшний день в мировой практике существует множество способов усиления строительных конструкций, сущность каждого традиционного метода уже давно подробно изучена и описана в научно-технической литературе [41-45]. В рамках диссертационного исследования будут рассмотрены методы, которые наиболее часто применяются в мировой практике- это увеличение площади поперечного сечения, предварительное напряжение наружными прядями, установка дублирующих элементов, изменение расчетных и геометрических схем конструкции, а также установка стальных пластин, имеющих сцепление с бетоном.

Одним из старейших способов усиления строительных конструкций, является увеличение площади поперечного сечения железобетонного элемента. Смысл этого метода заключается в присоединении дополнительного количества железобетона к несущему элементу конструкции, которая уже находится в эксплуатации.

Для наращивания сечения используется специальный строительный раствор или торкретбетон.

Сложность метода заключается в необходимости обеспечения единой работы получаемой системы. Существенным недостатком при применении данного метода является то, что бетон подвержен воздействию физических, химических и биологических факторов (коррозии), что в конечном итоге вызовет разъединение материалов (деградацию бетона и арматуры). Происходит это из-за различия свойств и деформационных характеристик старого и нового бетона, а также наличия трещин в которые попала влага, что вызывает необратимые реакции в бетон или его вымывание. Совокупность всех этих воздействий по итогу приводит к образованию и развитию трещин, а также к отслоению нового бетона от старого.

Данный способ отличается простотой проведения работ и относительно не высокой стоимостью по сравнению с другими традиционными методами усиления.

Применение данного способа усиления эффективно повышает жесткость усиливаемой конструкции и, как следствие, снижает гибкость, что имеет немаловажное значение для сжатых и сжато-изогнутых элементов.

Применение метода предварительного напряжения наружными прядями арматуры началось использоваться в строительной практике в 1950-х гг. Данный способ получил широкое распространение при усилении железобетонных конструкций в таких странах как, Россия, США, Швейцария, Япония и другие. Наиболее эффективным применением метода предварительного напряжения наружными прядями является уменьшение недопустимых прогибов конструкции.

Отличительной особенностью данного метода является универсальность его применения. Подразумевается, что он может быть использован и на внутренней поверхности балок коробчатого сечения, и на внешней растянутой стороне двутавровых балок мостовых конструкций.

Данный способ эффективно повышает несущую способность конструкции и препятствует трещинообразованию.

К достоинствам данного метода усиления относят простую технологию производства работ, а также высокую ремонтпригодность, подразумевающую легкую возможность замены напрягаемых пучков или прядей в любой момент времени.

Так же данный метод повышения прочности позволяет проводить мониторинг усиленной конструкции в течение всего периода эксплуатации с помощью неразрушающих методов контроля, что существенно снижает затраты на обслуживание здания.

К недостаткам данного способа относят высокую коррозию металла наружных прядей, низкую огнестойкость, а также слабую защищенность от актов вандализма. Совокупность данных факторов говорит о необходимости проведения дополнительных специализированных мероприятий по защите данных конструкций от нежелательных воздействий. Защита производится посредством покрытия антикоррозионными составами, или покрытием защитной оболочки из торкретбетона.

Еще одним методом, рассмотренным в рамках работы, является постановки дублирующих элементов. Дублирующие конструкции устанавливаются рядом или в промежутке уже существующих конструкций, таким образом, чтобы они могли воспринять часть нагрузок от уже существующих элементов.

При применении данного метода следует учитывать, что необходимо проведение мероприятий по включению в работу дублирующего элемента, что может являться существенным недостатком. Также применение данного метода

имеет довольно ограниченную область применения (не подходит для сооружений с большим количеством инженерных коммуникаций).

Достоинствами данного способа усиления можно определить простоту воспроизведения метода, также то что усиление сразу начинает работать после выполнения необходимых работ.

В начале 1960-х годов в Германии и Швейцарии начал набирать популярность способ усиления железобетонных конструкций с помощью стальных пластин. Этот метод предполагает приклейку стальных пластин к растянутой грани бетонной поверхности посредством эпоксидного состава, что приводит к увеличению их сопротивления изгибу и изгибной жесткости.

Для успешного усиления необходимо соблюдения ряд условий, таких как ровная и обеспыленная поверхность, грамотно подобранный клеящий состав и габариты пластины, применяемой для усиления, а также работы по защите от коррозии так как обычно используют пластины из низкоуглеродистой стали.

На основании вышеприведенных исследований, можно определить общие параметры, которые делают традиционные методы менее привлекательными для повышения прочности строительных конструкций. Во-первых, это повышение нагрузки и возникновение дополнительных внутренних усилий, а также потеря архитектурной выразительности, из-за громоздкости усиления, во-вторых, сложность при монтаже в стесненных условиях, в-третьих плохая связь материалов усиления (бетон, железобетон, металл), с усиливаемым элементом, в-четвертых необходимость в коррозионной защите, и как следствие увеличение затрат на содержание.

Поэтому существует необходимость в применении более современных методов. Одним из таких методов является использование углеродного волокна в качестве армирующего материала. Усиление данным методом железобетонных конструкций схоже с усилением стальными пластинами. В рамках работы основные характеристики и свойства композиционного материала на основе углеродного волокна, а также достоинства и недостатки данного способа усиления будут рассмотрены ниже.

1.3 Свойства углеродных волокон. Технические характеристики. Достоинства и недостатки применения в строительстве.

Одной из современной технологии усиления и восстановления прочностной способности железобетонных конструкций является технология с применением композиционных материалов на основе углеродного волокна.

Углеродные волокна - это волокна диаметром около 5–10 микрон, состоящие в основном из атомов углерода (может достигать 99,9 % содержания углерода).

Углеродные волокна имеют ряд преимуществ, в том числе высокую жесткость, высокую прочность на разрыв, малый вес, высокую химическую стойкость, высокую устойчивость к температуре и низкое тепловое расширение. Эти свойства сделали углеродное волокно очень популярным в аэрокосмической, гражданской, военной и автоспорте, а также в других видах спорта. Однако они относительно дороги по сравнению с аналогичными волокнами, такими как стеклянные или пластиковые волокна.

По материалам аналогам углеродные волокна можно приравнять по прочности к стеклянным волокнам, однако в сравнении со своими непосредственными конкурентами они обладают более высокими показателями жесткости в сочетании с малым удельным весом [85]. В таблице 1.1 приведена классификация углеродных волокон по физико-механическим свойствам.

Таблица 1.1 – Классификация углеродных волокон по физико-механическим свойствам

Классификация	Прочность на разрыв, ГПа	Модуль Юнга, ГПа
Сверхпрочные	1 – 2	50 – 150
Низкомодульные	0,5 – 1	Менее 100
Промежуточный модуль	1 – 2	200 – 350
Высокомодульные	2 – 3	350 – 450
Сверхмодульные	3 – 7	Более 450

Так же углеродные волокна, характеризуются долговечностью. Столь продолжительный эксплуатационный срок углеволокна обусловлен следующими характеристиками [84]:

- Отличная адгезия к поверхностям с различной структурой.
- Высокая устойчивость к коррозионным процессам. Хотя сами углеродные волокна не портятся, эпоксидная смола чувствительна к солнечному свету и нуждается в защите.
- Высокая жесткость. Углеродные волокна в 4 раза жестче стеклопластика, почти в 20 раз жестче, чем сосна, в 2,5 раза жестче алюминия.
- Лёгкость и прочность. Благодаря тому, что углеволокно обладает поразительной лёгкостью, его используют в системах армирования, что позволяет снизить нагрузку на фундамент здания.
- Изоляция от влаги. Поверхность углепластикового волокна является глянцевой, что исключает возможность его реакции с водой.
- Высокая огнеупорность и ударопрочность.
- При использовании для армирования, можно наносить материал в несколько слоёв.
- Проведение ремонтных работ любого типа, где возможно применение углеволокна, может осуществляться без прекращения эксплуатации самого здания.
- Является полностью токсически безопасным и экологически чистым.
- Высокая степень универсальности. Может использоваться при армировании конструкций практически любых конфигураций: на ребристых поверхностях, закругленных и угловых элементах, балочных сегментах рамных конструкций и пр.

Составляющей углеродного волокна является полиакрилонитрил, который предварительно обрабатывается высокой температурой (в пределах 3000° - 5000°C). Учитывая вышеописанные технические характеристики, наиболее

частой сферой применения углеволокна в строительстве является внешнее армирование.

При этом волокно пропитывается двухкомпонентной эпоксидной смолой, которая выступает связующим веществом. Монтаж производится аналогично обоям – материал просто наклеивается на поверхность конструкции, которая укрепляется.

Использование именно эпоксидной смолы в качестве связующего вещества обусловлено следующими особенностями материала:

1. Такая смола имеет высокие адгезивные свойства по отношению к бетонным поверхностям.
2. Компоненты углеволокна и смолы вступают между собой в химическую реакцию, в результате которой углеводород приобретает жёсткость пластика и становится прочнее стали в 7 раз.

Благодаря таким характеристикам углеволокно занимает лидирующие позиции среди композитных материалов. Прочность материала на разрыв в 4 раза превосходит сталь лучших марок, несмотря на то, что он на 75% легче железа и на 30% алюминия. Удельный вес углеродного волокна относительно низкий, а при нагревании материал расширяется незначительно, что обеспечивает возможность применение углеволокна в различных климатических зонах.

Список недостатков углеродных волокон короткий, но они обязательно должны быть учтены при планировании строительства. Выделяют три основных недостатка:

1. Углеволокно является хорошим отражателем электрических волн.
2. Материал отличается высокой стоимостью в сравнении с аналогами.
3. Изготовление композита более трудоёмкое, чем производство металла.

1.4 Нормативная база

Нормативная база, регулирующая правила проектирования и принцип расчета элементов, усиленных композитными материалами, описывает технические требования к условиям применения композиционных материалов, перечень конструкций, к которым возможно применение данной технологии, область применения композитов, требования к проектированию, производству работ, технике безопасности и приемке работ.

В зарубежной практике разработано не мало стандартов, нормативов, сертификатов качества, которые определяют стандарты к композиционному материалу, к технологии по усилению композиционными материалами, к приемке работ по данному методу усиления. Среди них можно выделить следующие позиции.:

- ACI 440.2R-08 «Правила проектирования усиления железобетонных конструкций полимерными композиционными материалами»;
- ISO 527-4:1997 «Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 4. Условия испытаний для изотропных и ортотропных пластических композиционных материалов, армированных волокнами»;
- ISO 178:2001 «Пластмассы. Определение свойств при изгибе»;
- CNR-DT 200/2004 «Руководство по проектированию усиления эксплуатируемых конструкций путем внешнего армирования фиброармированными пластиками»;
- ISO 14126:1999 «Материалы композиционные пластмассовые, армированные волокнами. Определение свойств при сжатии в направлении плоскости расслаивания»;
- EN 1991:2002-2007. Еврокод 1. «Воздействие на строительные конструкции (1991:2002-2007. Eurocode 1: Actions on structures)»;
- ISO 14125:1998 «Материалы композиционные полимерные, армированные волокном. Определение свойств при изгибе»;

– ISO 14130:1997 «Материалы композиционные полимерные, армированные волокном. Определение кажущейся межслойной прочности на сдвиг методом испытания коротких балок».

Так же за рубежом производится разработка пособий. В частности, в Италии и США, существуют разработанные пособия, в которых наиболее емко представлено руководство по технике усиления эксплуатируемых железобетонных конструкций композитными материалами [29-32].

В приведенных выше нормативных документах, пособиях и стандартах достаточно подробно и точно описаны свойства, условия применения и расчета, технология испытаний и проведения работ по усилению конструкций композитными материалами.

Наибольшего внимания среди представленных нормативов достойны методики по расчету усиливаемых конструкций, которые разработаны на основе экспериментально-теоретических исследований и опыта эксплуатации.

В отечественной строительной практике применение углеродных материалов еще не закрепились в качестве метода усиления, который превосходит традиционные способы повышения прочности конструкций. Для этого необходимо создать прочную нормативную базу, которая бы четко регламентировала бы все аспекты усиления композиционными материалами.

В Российской Федерации в соответствии с частью 3 статьи 42 Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» 26.12.2014 г. существует список национальных стандартов и сводов правил, соблюдение которых гарантирует выполнение Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [54]. Из этого перечня следует выделить следующие национальные стандарты и стандарты организаций:

1. **Своды правил**, (СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции»; СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами», СП 27.13330.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных

и высоких температур»; СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»; СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий»; СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» [35, 55-59]), в которые внесены сведения, учитывающие современные тенденции развития строительной отрасли Российской Федерации, а также общемировую практику продвижения новых технологий.

2. **Стандарты организаций**, (СТО 53269053-101-2010 «Рекомендации по применению в транспортном строительстве неметаллической композиционной арматуры периодического профиля»; СТО 13623997-001-2011 «Рекомендации ООО «Зика» по восстановлению железобетонных балок композитами», СТО 42010705-4.02.02-08 «Проектирование внешнего армирования железобетонных конструкций композиционными материалами»; СТО 2256-002-2011 «Рекомендации по проектированию комплексной системы FibARM по ремонту и усилению строительных конструкций, посредством внешнего армирования композиционными материалами холодного отверждения» [34, 60-62]), разработанные с целью внедрения применения композиционных материалов в различных целях.

3. **Руководства**, разрабатываемые с целью расширения свода правил по проектированию бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой, так в 2006 г. компаниями ООО «Интераква» и Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева) было разработано «Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами» [36], в котором представлен способ расчета балочных железобетонных конструкций, усиленных композиционными материалами с углеродными, арамидными и стеклянными волокнами.

4. **Технические условия** (ТУ 1916-005-61664530-2011 на производство углеродных однонаправленных лент для систем усиления внешним армированием, разработанные АО «ПРЕПРЕГ - СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»).

Во своей совокупности приведенные выше документы являются расчетной базой по проведению работ по усилению конструкций композиционными материалами на основе углеродного волокна. В них представлена методика расчета усиленных железобетонных элементов по двум группам предельных состояний, а также описаны конструктивные требования, методики проведения работ и испытаний.

Во своей совокупности приведенные выше документы являются расчетной базой по проведению работ по усилению конструкций композиционными материалами на основе углеродного волокна. В них представлена методика расчета усиленных железобетонных элементов по двум группам предельных состояний, а также описаны конструктивные требования, методики проведения работ и испытаний.

Проанализировав отечественную нормативно-техническую документацию в области применения композитных материалов при ремонте и усилении железобетонных конструкций, можно отметить что она базируется на зарубежной нормативной литературе, что в свою очередь требует адаптации к требованиям нормативных документов, действующих в Российской Федерации, а также особенностей эксплуатации сооружений в зависимости от их назначения и внешних условий – температур.

1.5 Изученность метода

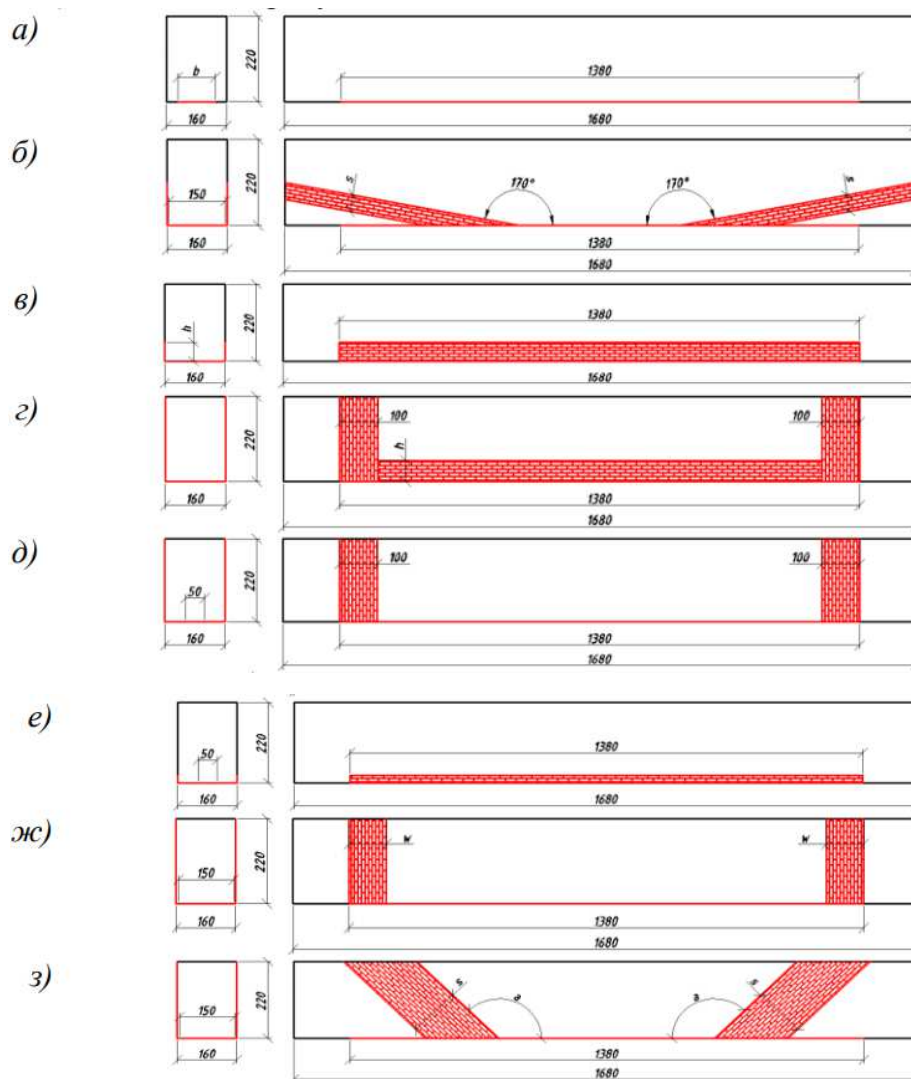
В рамках диссертационной работы был проведен анализ отечественных исследований, на основании этого была изучена степень разработанности рассматриваемой темы. В ходе анализа можно выделить ряд работ, в которые в совокупности дают наиболее полное представление по усилению железобетонных конструкций материалами на основе углеродного волокна.

В ходе диссертационной работы были рассмотрены работы отечественных ученых А. А. Шилиным, С. А. Бокаревым, В. И. Шестериковым и Д. Н. Смердовым. Ими был предложен и рассмотрен метод расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений, а также пролетных строений мостов, расположенных на автомобильных дорогах, усиленных композитными материалами и,

Данная методика в дальнейшем была усовершенствована и уточнена А. А. Неровных, в рамках расчетов элементов прямоугольного и таврового сечения, выполненных из железобетона, при расчете по первой группе предельных состояний.

Так же в своих работах А.А. Неровных был проведен анализ повышения прочности балок, усиленных углеродным материалом в зависимости от схемы внешнего армирования [63], рассматриваемые схемы представлены на рисунке 1.2.

Результаты испытаний, проведенные А.А. Неровных, показали, что увеличение несущей способности балки в зависимости от схемы армирования произошли в диапазоне от 33 до 184 %, показатели повышения прочности в процентах представлены в таблице 1.2.



а – балки, усиленные наклеиванием полосы холста на нижнюю грань; б – балки, усиленные полосой холста на нижней грани и хомутами, установленными на приопорных участках под углом 10° к продольной оси элемента; в - балки усиленные U-образной обоймой из холста с заведением на боковые грани балок;

г – балки усиленные U-образной обоймой, закрепленной в приопорных участках вертикальными хомутами; д – балки, усиленные ламелями различной прочности, закрепленными вертикальными хомутами; е – балки усиленные образной обоймой, наклеенной поверх полосы ламели; ж – балки усиленные

полосой холста на нижней грани, закрепленной вертикальными хомутами; з – балки, усиленные полосой холста на нижней грани, закрепленной наклонными хомутами

Рисунок 1.2 – Схема внешнего армирования образцов

Таблица 1.2 – Увеличение несущей способности в зависимости от схемы усиления

Схема усиления	Процент усиления (по сравнению с не усиленной балкой)
а	64
б	130
в	152
г	184
д	106
е	140
ж	33
з	55

Следует отметить что данные испытания производились на образцах, не имеющих дефекты, что не соответствует реальным условиям, так как обычно повышение или восстановление прочностных характеристик требуется уже подверженным конструкциям.

Данную неточность попытался компенсировать В.В. Гапонов [64], который предварительно рассмотрел реакцию балки под нагрузкой до появления трещин, после чего усилил их углеродным волокном. Таким образом им было установлено что порог разрушающей нагрузки усиленных балок выше, и в зависимости от вида усиления составляет 900-4200 кг.

М.Н. Смердовым был рассмотрен вопрос поведения усиления композиционными материалами при высоких и низких температурах [65]. В ходе испытаний было отмечено, что при высоких температурах (+90° С) происходит размягчение эпоксидного клея и снижение его прилипания к бетону. При низких температурах (ниже нуля градусов по Цельсию) разрушение происходит путем отслоения клеевого слоя от бетонной поверхности и последующего скалывания защитного слоя рабочей металлической арматуры.

2. Общие положения экспериментальной работы

Экспериментальные лабораторные исследования в рамках данной диссертационной работы проводились по определению прочности на изгиб. Исходя из задач исследования, необходимо было разработать схемы армирования и проверить их эффективность на практике. Для сравнения изготавливались образцы без армирования и с разными схемами армирования.

2.1 Изготовление образцов

Предел прочности при изгибе определяли в соответствии ГОСТ 310.4-92.

Для приготовления бетона применяли следующие исходные материалы:

- В качестве вяжущего – портландцемент нормальнотвердеющий;
- В качестве мелкого заполнителя - строительный песок I класса с модулем крупности не более 2,5 мм по ГОСТ 8736-93;
- Вода – по ГОСТ 23732-201.

Для изготовления образцов применялось оборудование:

- Штыковка (рисунок 2.1);
- Разъемные формы для образцов балочек (рисунок 2.2).

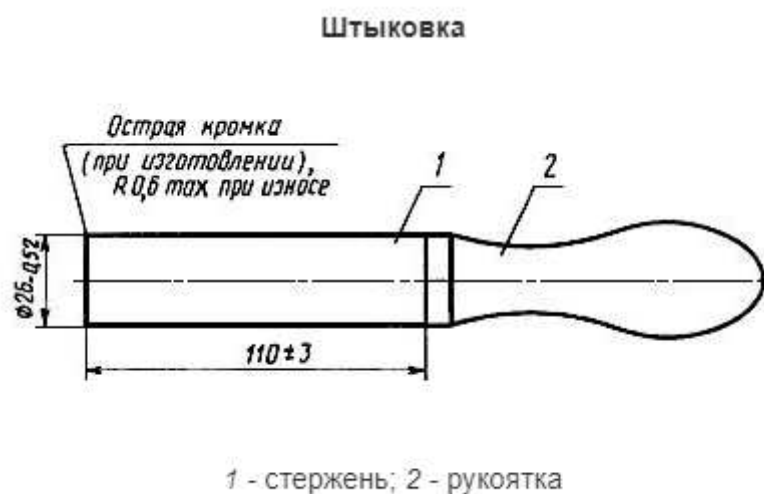


Рисунок 2.1 - Штыковка

Формы для изготовления образцов-балочек

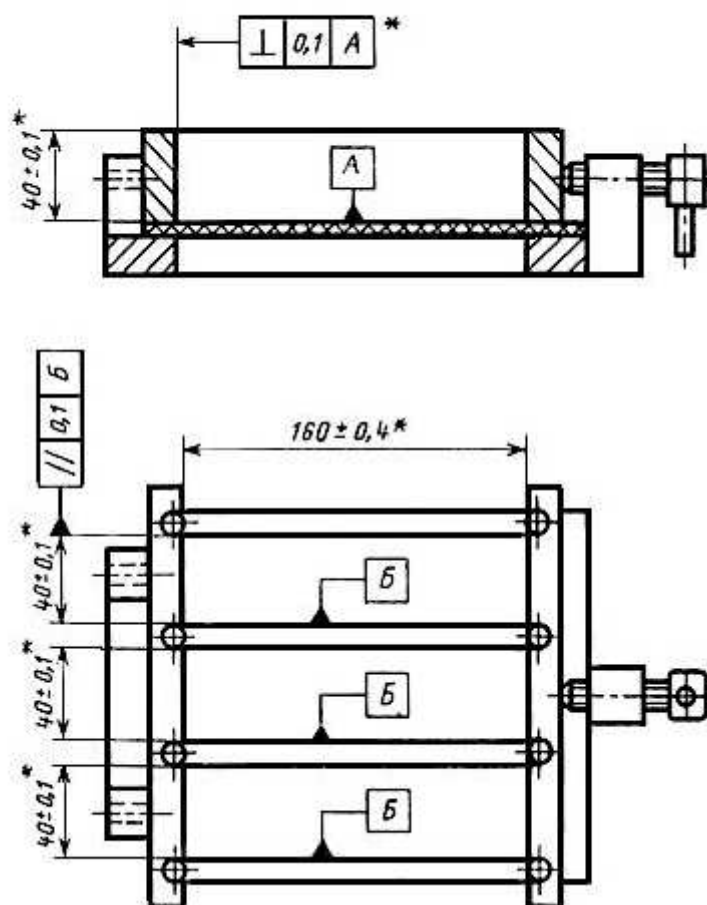


Рисунок 2.2 - Разъемные формы для образцов балочек

Для изготовления цементного раствора отвешивалось 1500 г нормального песка (по ГОСТ 6139*), 500 г цемента и 200 г воды. После чего песок и цемент загружались в емкость и тщательно перемешивались лопаткой в течение 1 минуты.

Затем в центре сухой смеси делалась лунка, и в нее вливалась вода в количестве 200 г, после чего смесь перемешивалась в течение 1 минуты.

Непосредственно перед изготовлением образцов внутренняя поверхность стенок форм и поддона слегка смазывалась маслом.

После изготовления образцы хранились в формах сутки. После этого образцы хранились до испытания их физико-механических показателей в распалубленном виде при нормальных условиях.

2.2 Армирование образцов углеродным волокном

Технология внешнего армирования бетонных конструкций с использованием композиционных материалов включает следующие этапы:

1. **Подготовку поверхности конструкции.** Необходимо очистить поверхность от краски, масла, жирных пятен, цементной пленки, при помощи металлической щетки с последующей промывкой водой.

2. **Заготовку холстов.** На основании с принятой схемой приклеивания, проводят разметку холстов и их нарезку, на гладком столе с достаточным количеством места для размещения материала.

3. **Приготовление адгезионного состава.** Производится смешивание компонентов А (эпоксидная смола) и Б (отвердитель) в чистой металлической, фарфоровой, стеклянной или полиэтиленовой емкости, согласно техническим условиям поставщика.

4. **Приклеивание элементов внешнего армирования.** Бетонное основание и холсты пропитываются адгезионным составом при помощи металлической щетки или валика. Углеродная сетка, путем постепенного размещения холста от одного края основания до другого, укладывается на слой адгезионного состава, с соблюдением линии разметки материала. Следует предотвращать образование складок и излишнего напряжения. После укладки необходимо выполнить прикатку (прижатие) холста от центра к краям строго в продольном направлении (вдоль волокон холста), при помощи металлического валика. Аналогично производится нанесение и прикатка следующих слоев.

При выполнении внешнего армирования следует учитывать, что основание должно отвечать требованиям по плоскости, наличию дефектов и прочности бетона, при этом механические характеристики материала основания (бетона)

должны соответствовать передаваемым усилиям, прикладываемым к промежуточному слою склеивания.

Выполнение работ следует производить при температуре окружающей среды от 5 °С до 35 °С, температура бетона основания должна быть выше 5°С.

Эпоксидные адгезионные составы не должны наноситься на мокрую поверхность. Открытая влага должна быть удалена.

Полное отвержение эпоксидных адгезионных составов происходит в течение нескольких суток и в значительной мере зависит от температуры окружающей среды. Как правило, время отверждения должно составлять не менее 24 часов при температуре выше 20°С и не менее 36 часов при температуре от 5°С до 20°С.

2.3 Испытание образцов

Для испытания образцов балочек на изгиб могут быть использованы приборы любой конструкции, удовлетворяющие следующим требованиям.

Средняя скорость нарастания испытательной нагрузки на образец должна быть (0,05± 0,01) кН/с [0,12±0,02] МПа/с в пересчете на единицу площади приведенного сечения балочки. Захват для установки образца должен быть снабжен цилиндрическими элементами, изготовленными из стали твердостью 56...61 НРС.

Нижние опоры элемента должны иметь возможность поворота относительно горизонтальной оси, лежащей на нижней опорной плоскости образца и являющейся осью ее продольной симметрии.

Схема расположения образца на опорных элементах, их форма и размеры, и взаимное расположение приведены на рисунке 2.3

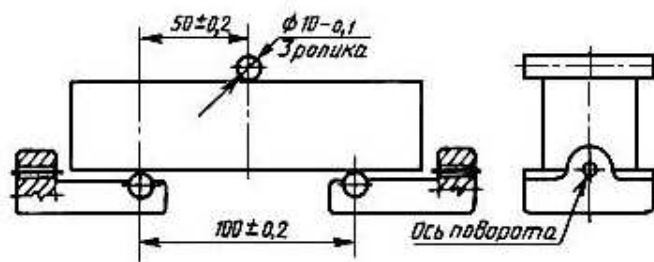


Рисунок 2.3 –Схема расположения образца на опорных элементах

Для определения предела прочности образцов при сжатии могут быть использованы прессы любой конструкции с предельной нагрузкой до 500 кН, удовлетворяющие техническим требованиям ГОСТ 28840 и обеспечивающие нагружение образца в режиме чистого сжатия.

Для компенсации пространственного отклонения от не параллельности опорных граней образца пресс должен иметь подвижную шаровую опору. Допускается применять шаровые опоры любой конструкции, обеспечивающей возможность проведения проверки пресса. Пресс должен быть снабжен приспособлением для центрированной установки нажимных пластинок, передающих нагрузку на образец.

Для определения прочности при изгибе образец устанавливают на опорные элементы прибора таким образом, чтобы его горизонтальные при изготовлении грани находились в вертикальном положении. Образцы испытывают в соответствии с инструкцией, приложенной к прибору.

3. Обоснование эффективности применения углеродного волокна

3.1. Разработка конструктивного решения

Диссертационная работа направлена на решение проблемы усиления конструкций при реконструкции и реставрации, посредством использования композиционного материала на основе углеродного волокна.

Для разработки конструктивного решения схемы армирования композиционным материалом на основе углеродного волокна, в качестве объекта исследования были приняты стандартные образцы балочки, для испытания на растяжение.

Размеры балочек составляли 160x40x40 мм.

В качестве внешнего армирующего материала применялась углеродная сетка FibArm Grid 150/2000 (приложение А), в качестве связующего вещества, между бетоном и сеткой, применялось эпоксидная смола ЭД-20 (приложение Б)

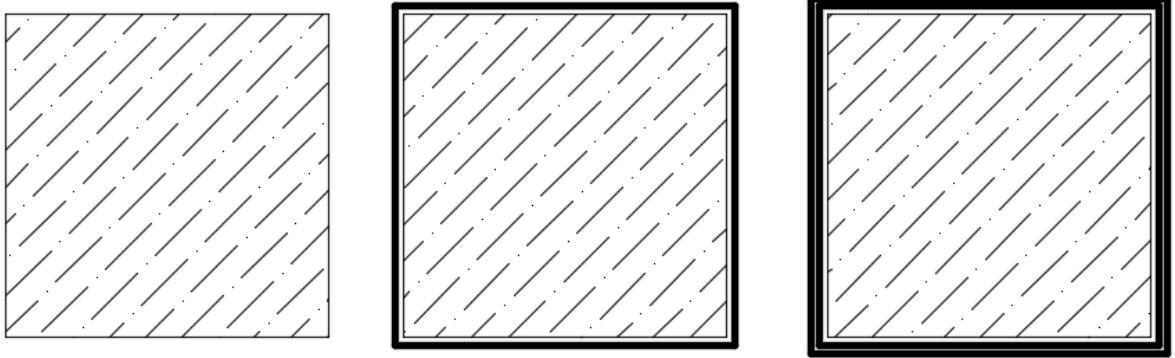
Для решения задачи повышения прочности конструкции, разрабатывались геометрические решения усиливающей схемы, которая путем внешнего армирования будет присоединена к балке. Для внешнего армирования использовались сетка на основе углеродного материала. Определяющими показателями повышения прочности является:

- Схема армирования;
- Количество слоев армирования.

Поиск решения по повышению прочности строительных конструкций был начат с подбора схемы армирования.

Были рассмотрены схемы с полным обертыванием и с приклейкой композиционного материала на основе углеродного волокна. Так же проводился анализ зависимости усиления от количества слоев армирования.

На рисунке 3.1 представлена схема внешнего армирования путем обертывания углеродной сетки к балочке.



а – без усиления; б – обертывание в 1 слой; в – обертывание в 2 слоя

Рисунок 3.1 – Схема армирования балочки путем обертывания

Образцы до испытания представлены на рисунке 3.2 и 3.3

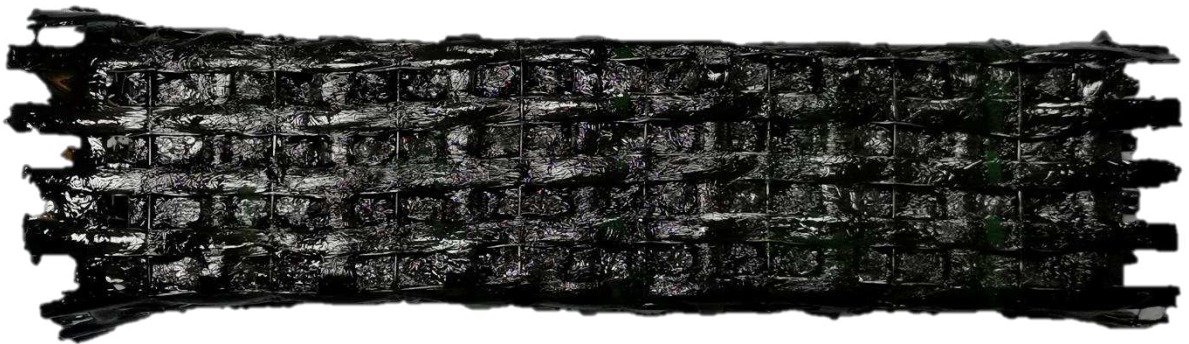


Рисунок 3.2 – Образец, усиленный в 1 слой углеродной сетки.



Рисунок 3.3 – Образец, усиленный в 2 слоя углеродной сетки.

В ходе работы были проведены испытания образцов до момента потери прочности образцов.

Образец без усиления полностью разрушился (рисунок 3.4) при нагрузке 1700 Н.



Рисунок 3.4 – Образец без усиления после испытания на прочность

Образец, обернутый в 1 слой углеродного волокна, выдержал нагрузку 10000 Н, что почти в 5 раз больше, чем без усиления. Это показывает эффективность применения в качестве внешнего армирующего материала углеродного волокна, как материала, повышающего прочность конструкции. При этом в результате испытаний произошло разрушение бетона, но нарушение целостности структуры углеродной сетки не наблюдалось. Отслоение сетки также не произошло. Образцы, усиленные углеродной сеткой в 1 слой после их испытания представлены на рисунках 3.5 и 3.6.



Рисунок 3.5 – Образец, усиленный в 1 слой углеродной сетки после испытания на прочность

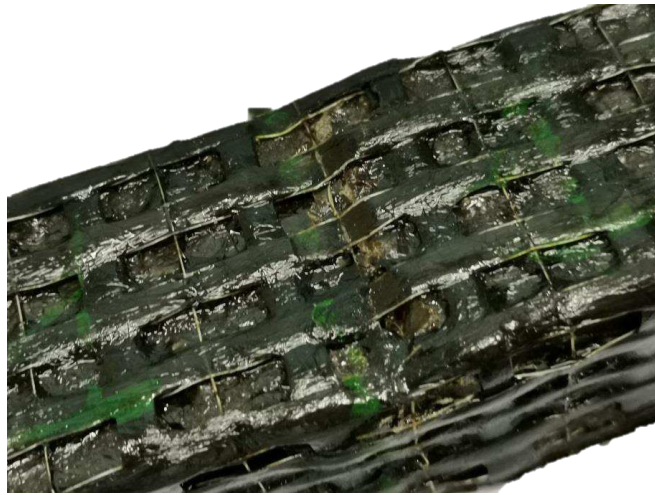


Рисунок 3.6 – Деформация углеродной сетки после разрушения образца

Образец, обернутый в 2 слоя углеродного волокна, выдержал нагрузку 19500 Н, что почти в 10 раз больше, чем без усиления и почти в 2 раза больше чем при усилении в 1 слой. Это показывает эффективность увеличения слоев внешнего армирования углеродной сетки, для повышения прочности конструкций. При этом в результате испытаний произошло разрушение бетона, но нарушение целостности структуры углеродной сетки не наблюдалось. Деформация углеродной сетки при армировании в 2 слоя после испытания была меньше, чем в 1 слой. Отслоение сетки также не произошло. Образцы, усиленные углеродной сеткой в 2 слоя после их испытания представлены на рисунках 3.7 и 3.8.



Рисунок 3.7 – Образец, усиленный углеродной сеткой в 2 слоя после испытания на прочность



Рисунок 3.8 – Деформация углеродной сетки после разрушения образца

Из рисунков видно, что при увеличении количества слоев уменьшается смещение образцов (рисунок 3.9). Из этого можно сделать вывод, что углеродное волокно после разрушения конструкции сможет, какое-то время воспринимать действующую на объект нагрузку.

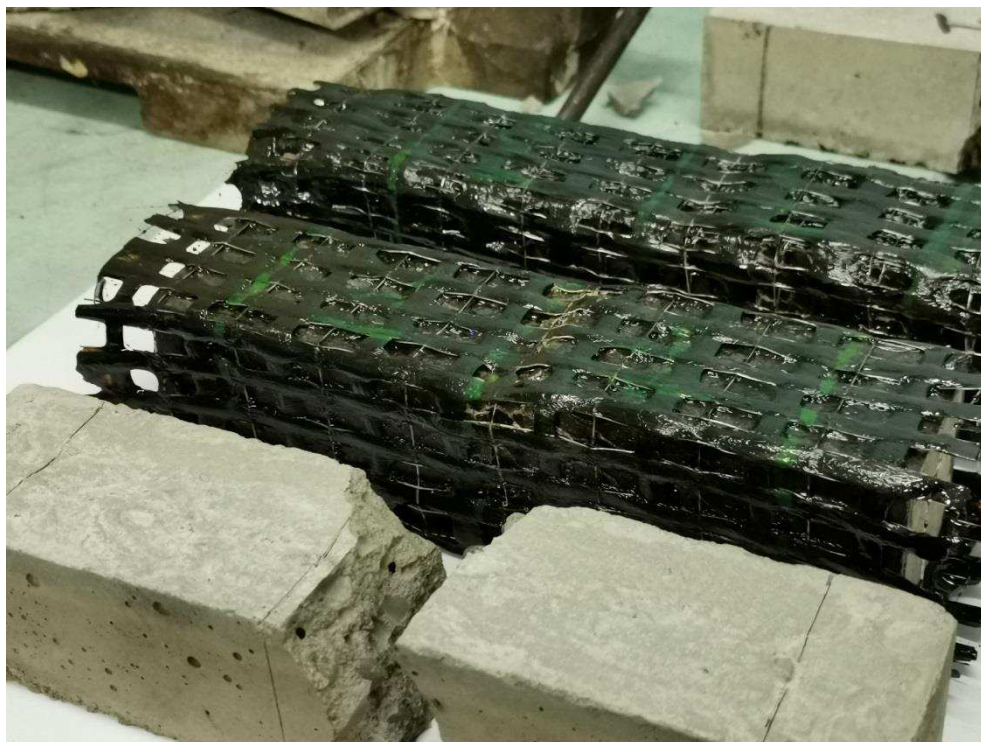


Рисунок 3.9 – Испытанные образцы

После проведенных испытаний был проведен анализ полученных результатов.

Прочность бетона на растяжение при изгибе вычисляют по формуле (3.1)

$$R_{tb} = \delta \cdot \frac{F \cdot l}{a \cdot b^2} \cdot K_w, \quad (3.1)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

a - ширина поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм.

b – высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм.

l – длина поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм.

δ – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;

K_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

Данные расчета сведем в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Расчет на прочность при обертывании балки углеродным волокном

№	F, Н	l, мм	a, мм	b ² , мм	δ	R, МПа	R _{ср} , МПа
1	1710	120	40	1600	0,73	2,340563	2,333719
2	1700	120	40	1600	0,73	2,326875	
3	11570	120	43	1936	0,73	12,17485	10,61222
4	8600	120	43	1936	0,73	9,049587	
5	18770	120	46	2116	0,73	16,89254	18,1975
6	21670	120	46	2116	0,73	19,50247	

Как видно из таблицы применение углеродного волокна приводит к повышению прочности усиливаемого образца. Увеличение прочности при

усилении композиционным материалом на основе углеродного волокна происходит на 440% (в 4,4 раза), в два слоя на 780% (в 7,8 раз).

В графике 3.1 отражена зависимость увеличения прочности элемента усиленного углеродной сеткой.

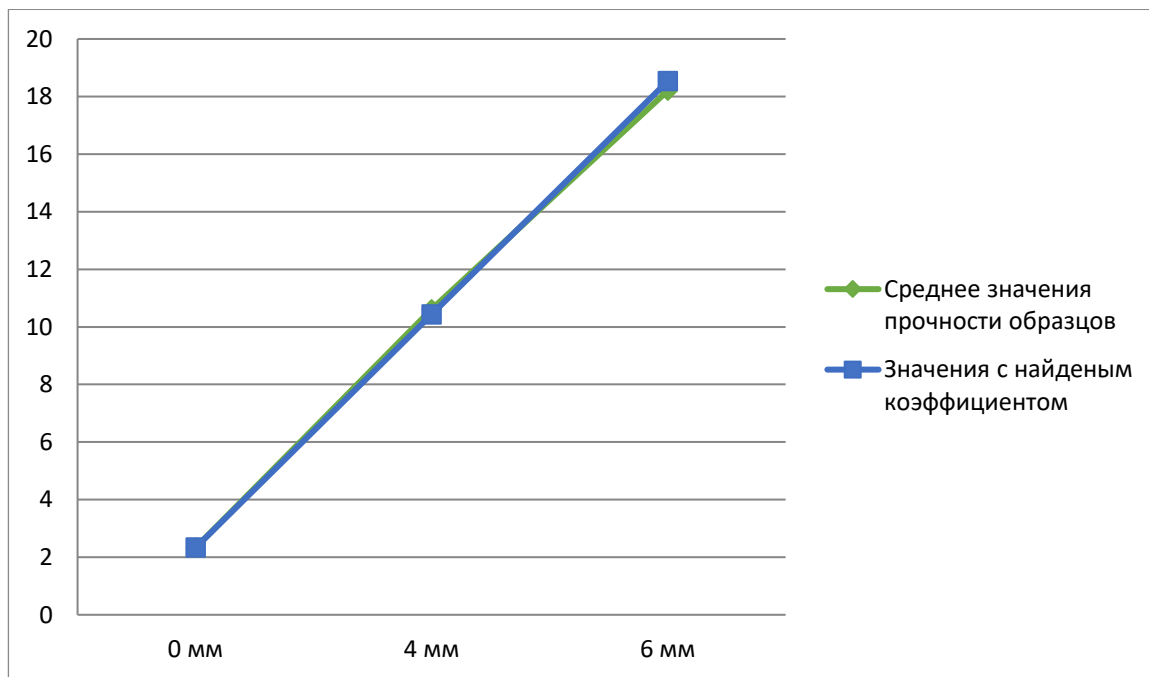


График 3.1 – Зависимость усиления балки-образца при усилении углеродным ВОЛОКНОМ

Из графика 3.1 видно, что при усилении балки композиционным материалом на основе углеродного, повышение прочности происходит линейно.

То есть повышение прочности можно описать законом по формуле (3.2)

$$P = P_{\text{бет}} + P_k, \quad (3.2)$$

где $P_{\text{бет}}$ – прочность бетона;

P_k – прочность композита, равная $P_k = \delta * t$;

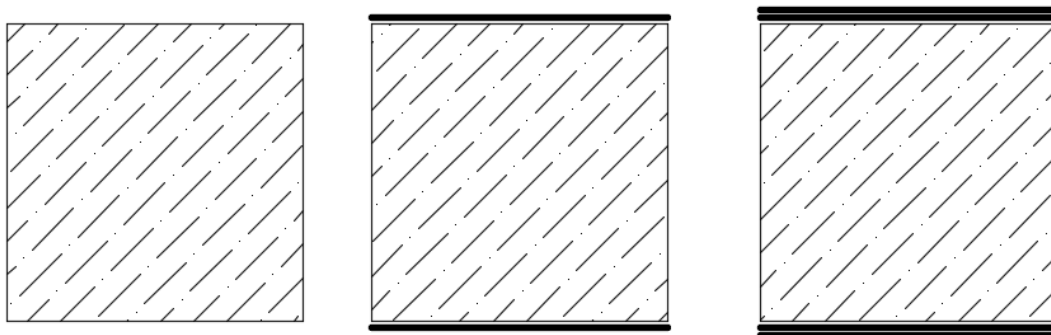
δ – прочностной коэффициент

t – толщина слоя.

Таким образом прочностной коэффициент зависимости прочности от количества слоев углеродной сетки равен 2,7.

Данная зависимость отражает превосходство прочностных характеристик углеродной сетки над бетоном, и отражает показатель повышения прочности самой системы усиления от толщины армирования сеткой. Для подтверждения этих данных необходимо более детальное исследование, с большим диапазоном вариаций толщин слоев.

Так же рассматривалась схема армирования с усилением балки углеродным материалом сверху и снизу (рисунок 3.10).



а – без усиления; б – армирование сверху и снизу 1 слой; в – армирование сверху и снизу в 2 слоя.

Рисунок 3.10 – Схема армирования балочки путем армирования балки сверху и снизу

Образцы до испытания представлены на рисунке 3.11 и 3.12

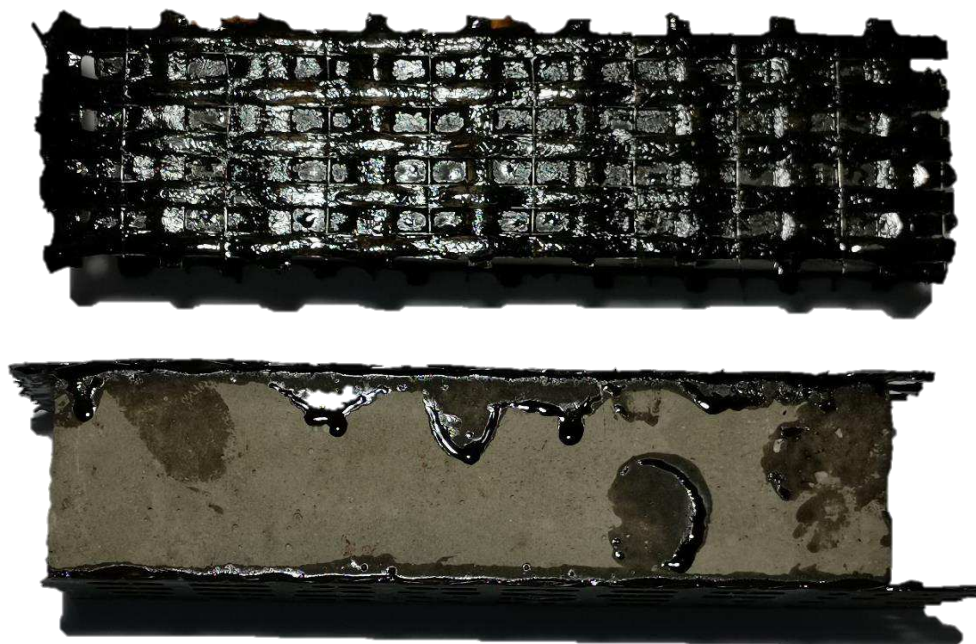


Рисунок 3.11 – Образец, усиленный армированием сверху и снизу в 1 слой

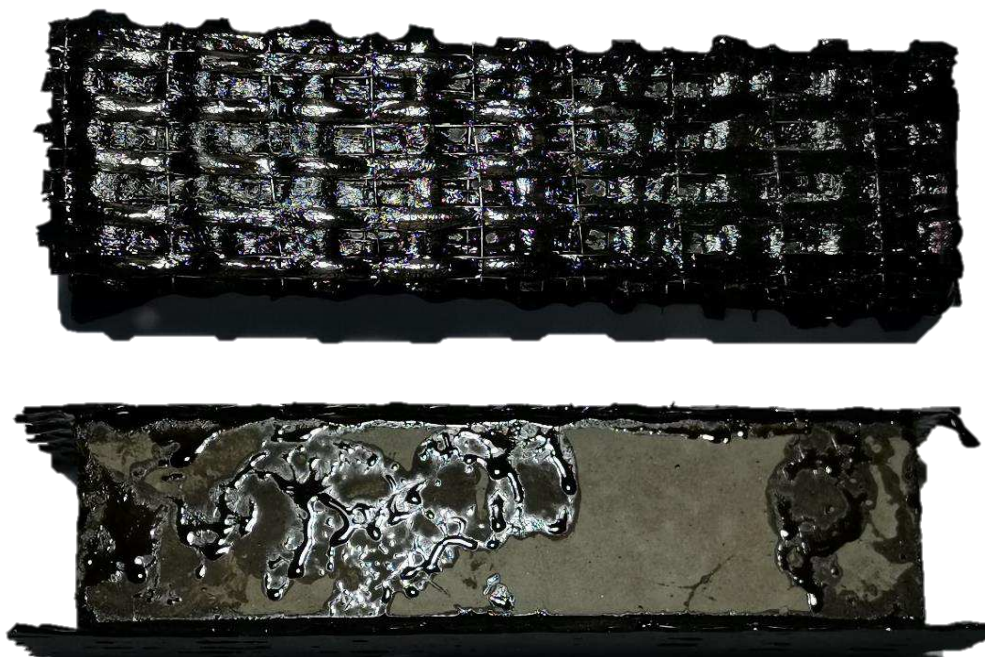


Рисунок 3.12 – Образец, усиленный армированием сверху и снизу в 2 слоя

В ходе работы были проведены испытания образцов до момента потери прочности образцов.

Образец без усиления полностью разрушился (рисунок 3.13) при нагрузке 1700 Н.



Рисунок 3.13– Образец без усиления после испытания на прочность.

Образец, усиленный армированием сверху и снизу в 1 слой углеродного волокна, выдержал нагрузку 6450 Н, что в 3,6 раза больше, чем без усиления. Это показывает эффективность применения в качестве внешнего армирующего материала углеродного волокна, как материала, повышающего прочность конструкции. При этом в результате испытаний произошло разрушение бетона, но нарушение целостности структуры углеродной сетки не наблюдалось. Отслоение сетки также не произошло.

Образцы, усиленные углеродной сеткой в 1 слой после их испытания представлены на рисунках 3.14 и 3.15.



Рисунок 3.14 – Образец, усиленный армированием сверху и снизу в 1 слой после испытания на прочность



Рисунок 3.15 – Разрушение образца по наклонным трещинам

Образец, усиленный в 2 слоя углеродного волокна, выдержал нагрузку 6500 Н, что в 3,6 раза больше, чем без усиления. При этом увеличения прочности испытуемого образца при увеличении слоев армирующего материала не произошло. Это показывает, что при данной схеме армирования количество слоев не оказывает влияние на увеличение прочности. При этом в результате испытаний произошло разрушение бетона, но нарушение целостности структуры углеродной сетки не наблюдалось. Отслоение сетки также не произошло. Образцы, усиленные углеродной сеткой в 2 слоя после их испытания представлены на рисунках 3.16 и 3.17.



Рисунок 3.16 – Образец, усиленный армированием сверху и снизу в 2 слоя после испытания на прочность

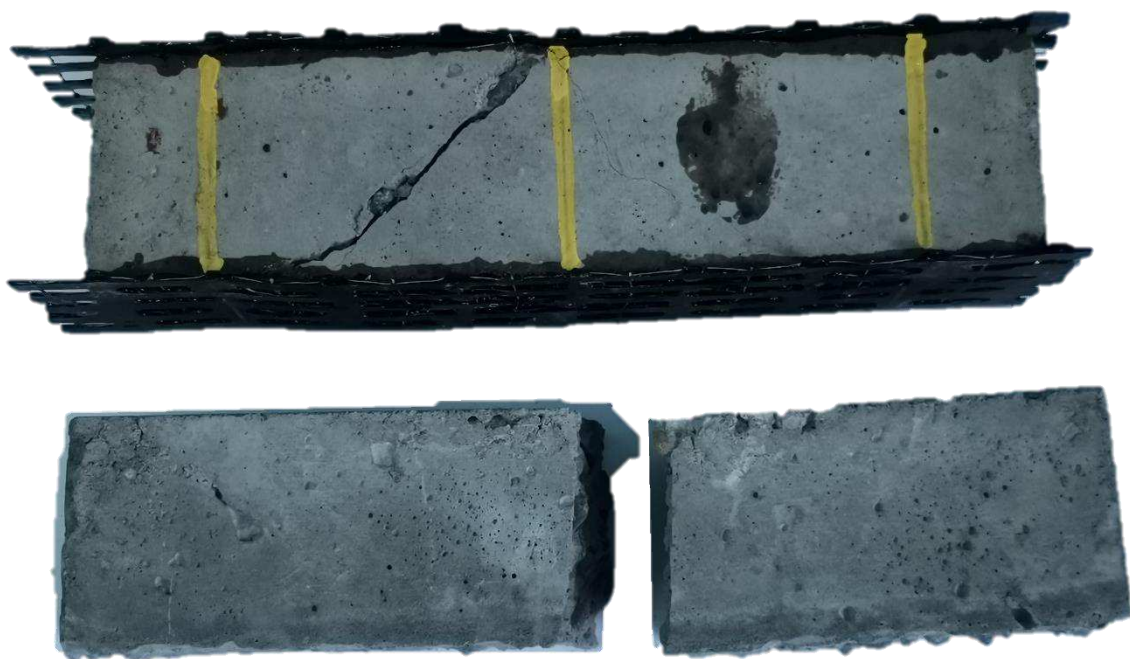


Рисунок 3.17 – Разрушение образцов без усиления и с усилением

Из рисунка 3.17 видно, что разрушение усиленного образца происходит по наклонным трещинам, что вызвано одновременным действием поперечных сил и изгибающего момента.

После проведенных испытаний был проведен анализ полученных результатов.

Прочность бетона на растяжение при изгибе вычисляют по формуле 3.1 полученные данные сведем в таблицу 3.2

Таблица 3.2 – Расчет на прочность при усилении балки углеродным волокном сверху и снизу

№	F, Н	l, мм	a, мм	b ² , мм	δ	R, МПа	R _{ср} , МПа
1	1600	120	40	1600	0,73	2,19	2,06
2	1417	120	40	1600	0,73	1,94	
3	6450	120	40	1681	0,73	8,40	8,12
4	6460	120	40	1806	0,73	7,83	
5	6500	120	40	1764	0,73	8,07	8,17
6	6500	120	40	1722	0,73	8,27	

Так же при испытании образцов был проведен анализ графика разрушения балок-образцов.

На графике 3.2 представлены результаты полученные при испытании балки без усиления углеродным волокном.

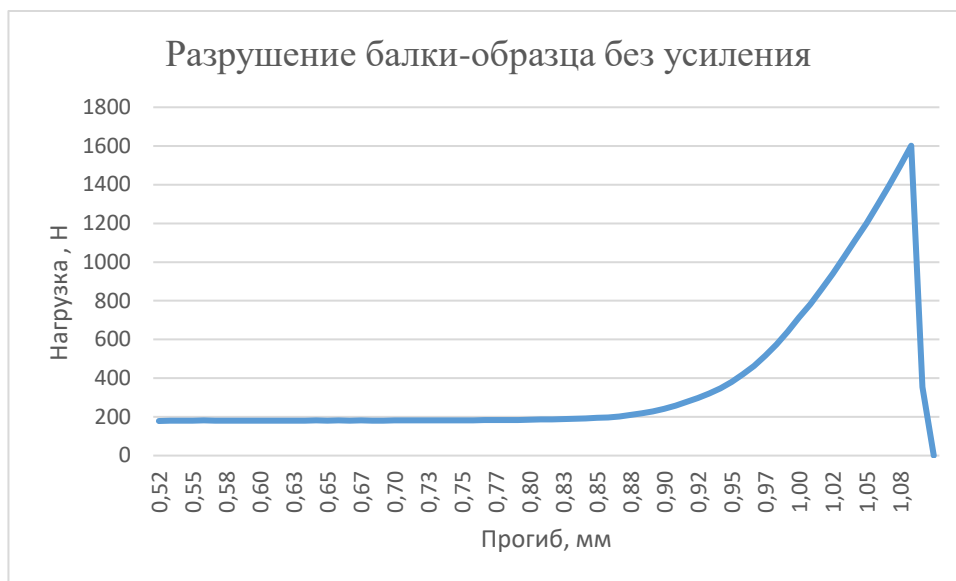


График 3.2 – Зависимость разрушения балки без усиления углеродной сеткой

Из графика 3.2 видно, что при достижении предела прочности происходит разрушение балки и полная потеря прочности образца.

На графике 3.3 представлены результаты разрушения образца, усиленного сеткой на основе углеродного волокна.

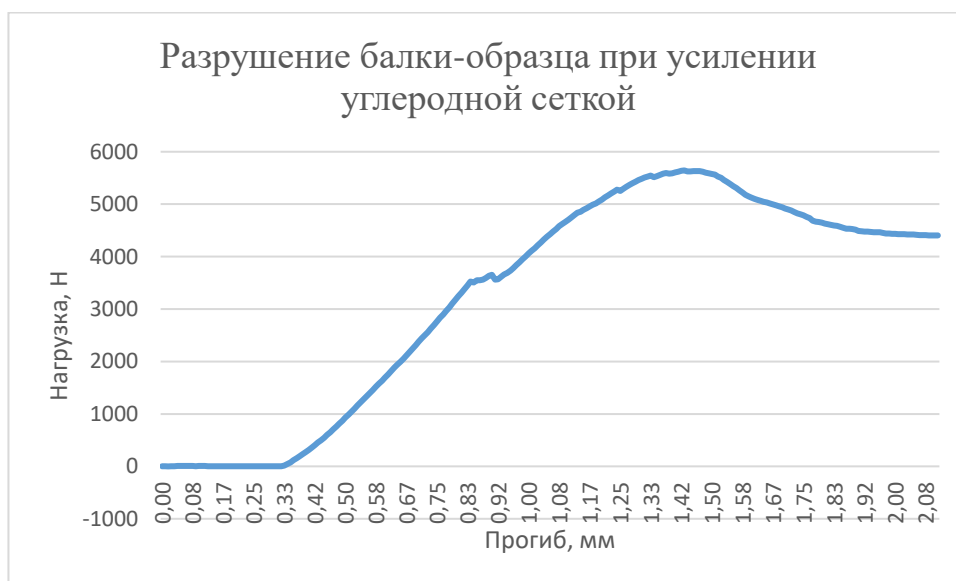


График 3.3 – Зависимость разрушения балки усиленной углеродным волокном

Из графика 3.3 видно, что при достижении предела прочности происходит разрушение балки, и постепенное снижение несущей способности. При этом не происходит нарушение прочности углеродной сетки, и она продолжает воспринимать нагрузки, оказываемые на образец.

На рисунке 3.18 показано поведение балки после потери прочности бетона.

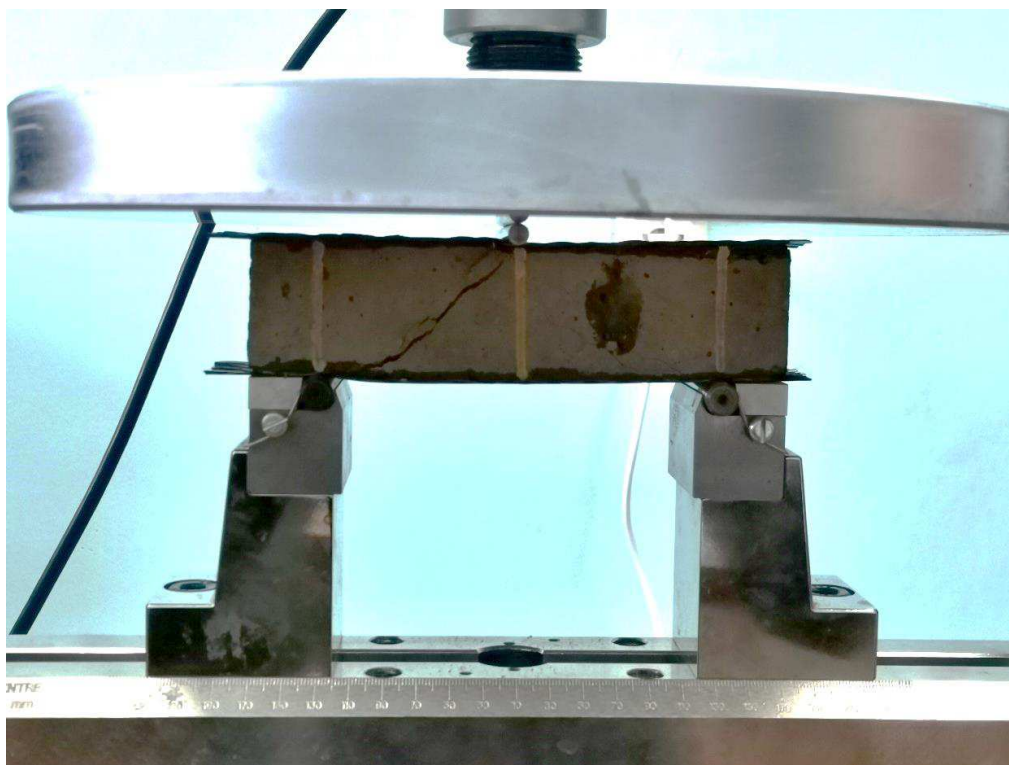


Рисунок 3.18 – Поведение образца усиленного углеродной сеткой после разрушения бетона.

Из рисунка 3.18 видно, что произошло разрушение балки-образца, при этом углеродная сетка не была повреждена и продолжает воспринимать нагрузку, оказываемую на нее.

На основании этих наблюдений можно сделать вывод о том, что усиление конструкций материалом на основе углеродного волокна позволяет избежать мгновенного разрушения элементов сооружения, что позволит принять своевременные меры для предотвращения более серьезных разрушения, а также минимизировать возможность человеческих жертв.

Варианты возможного применения рассматриваемых способов армирования представлены в приложении Д.

3.2 Прочностной анализ методов усиления

Для оценки экономической эффективности усиления железобетонных конструкций различными способами необходимо выполнить прочностной анализ. Будет рассмотрено три метода усиления строительной конструкции:

- Усиление углеродным волокном (рисунок 3.19);
- Усиление односторонним наращиванием (рисунок 3.20);
- Усиление введением дополнительных упругих опор (рисунок 3.21).



Рисунок 3.19 –Схема усиления балки углеродным волокном

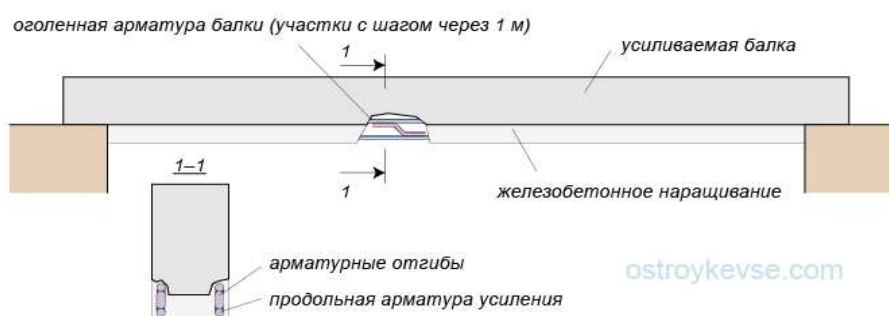


Рисунок 3.20 – Схема усиления балки созданием упругой опоры



Рисунок 3.21 – Схема усиления балки наращиванием снизу

Для определения наиболее экономически целесообразного метода, зададим ситуацию при которой могло бы потребоваться усиление тем или иным методом. И введем исходные данные для решения каждой из задачи.

После проведения работ по реконструкции здания на железобетонную однопролетную балку увеличивается нагрузка до значения, которое превышает ее изначальную несущую способность. Необходимо произвести мероприятия по усилении данного элемента.

По результатам обследования: пролет балки 6 м, сечение 70х40 см, бетон класса В30. Арматура растянутой зоны 4Ø20, сжатой 2Ø12 из стали А-III. Постоянная распределенная нагрузка на балку составляет 24 кН/м, временная распределенная нагрузка 57 кН/м. После реконструкции на балку будут оказывать воздействия также силы 80 кН. Распределение нагрузок происходит согласно схеме, представленной на рисунке 3.22.

Несущая способность балки до проведения усиления, определяется согласно СП 52-101-23 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры».

В первую очередь необходимо определить граничную относительную высоту сжатой зоны бетона, используя формулу (3.3)

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sr} \cdot R}{\sigma_{sr,u} \left[1 - \frac{\omega}{1,1} \right]}}, \quad (3.3)$$

где ω – характеристика сжатой зоны бетона, определяемая по формуле (3.4);

σ_{sr} – напряжение в арматуре, принимаемое в зависимости от класса арматуры;

$\sigma_{sc,u}$ – предельное напряжение в арматуре сжатой зоны, принимаемое для конструкций из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов в зависимости от учитываемых в расчете нагрузок.

По формуле (3.4) определим значение характеристики сжатой зоны бетона

$$\omega = \alpha - 0,008 \cdot R_b, \quad (3.4)$$

где ω – коэффициент, принимаемый в зависимости от бетона;

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию.

Подставим значения в формулу (3.4)

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot 19,5 = 0,964.$$

Подставим полученные значения в формулу (3.3)

$$\xi_R = \frac{0,85 - 0,008 \cdot 17}{1 + \frac{365}{400} \left[1 - \frac{0,85 - 0,008 \cdot 17}{1,1} \right]} = 0,53.$$

По формуле (3.5) определим высоту сжатой зоны

$$X = \frac{R_s A_s}{R_b \cdot b}. \quad (3.5)$$

где A_s , – площади сжатой арматуры конструкции до усиления;

R_s , – расчетные сопротивления растяжению существующей арматуры;

$R_{sc,ad}$, R_{sc} – то же, сжатию;

b – ширина усиливаемого элемента;

R_b , – расчетные сопротивление бетона.

Подставляем полученные значения в формулу (3.5)

$$X = \frac{365 \cdot 2512 - 365 \cdot 226}{17,5 \cdot 400} = 119,2 \text{ мм} = 11,9 \text{ см.}$$

Определение несущей способности произведем по формуле (3.6)

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x), \quad (3.6)$$

где b – то же, что и в формуле (3.5);

R_b , – то же, что и в формуле (3.5);

X – высота сжатой зоны;

h_0 – расстояние от сжатой грани сечения до центра тяжести существующей арматуры.

Подставим значения в формулу (3.6)

$$M_{ult} = 17,5 \cdot 400 \cdot 119,2 \cdot (660 - 0,5 \cdot 119,2) = 500 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Согласно расчетам изгибающий момент который могла воспринимать балка до усиления составлял $M=500 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

После проведения реконструкции изгибающий момент, который необходимо будет воспринимать балке составит $604,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Поэтому необходимо провести мероприятия по усилению балки.

Будут рассмотрены три метода усиления приведенных выше, и определен наиболее экономичный вариант.

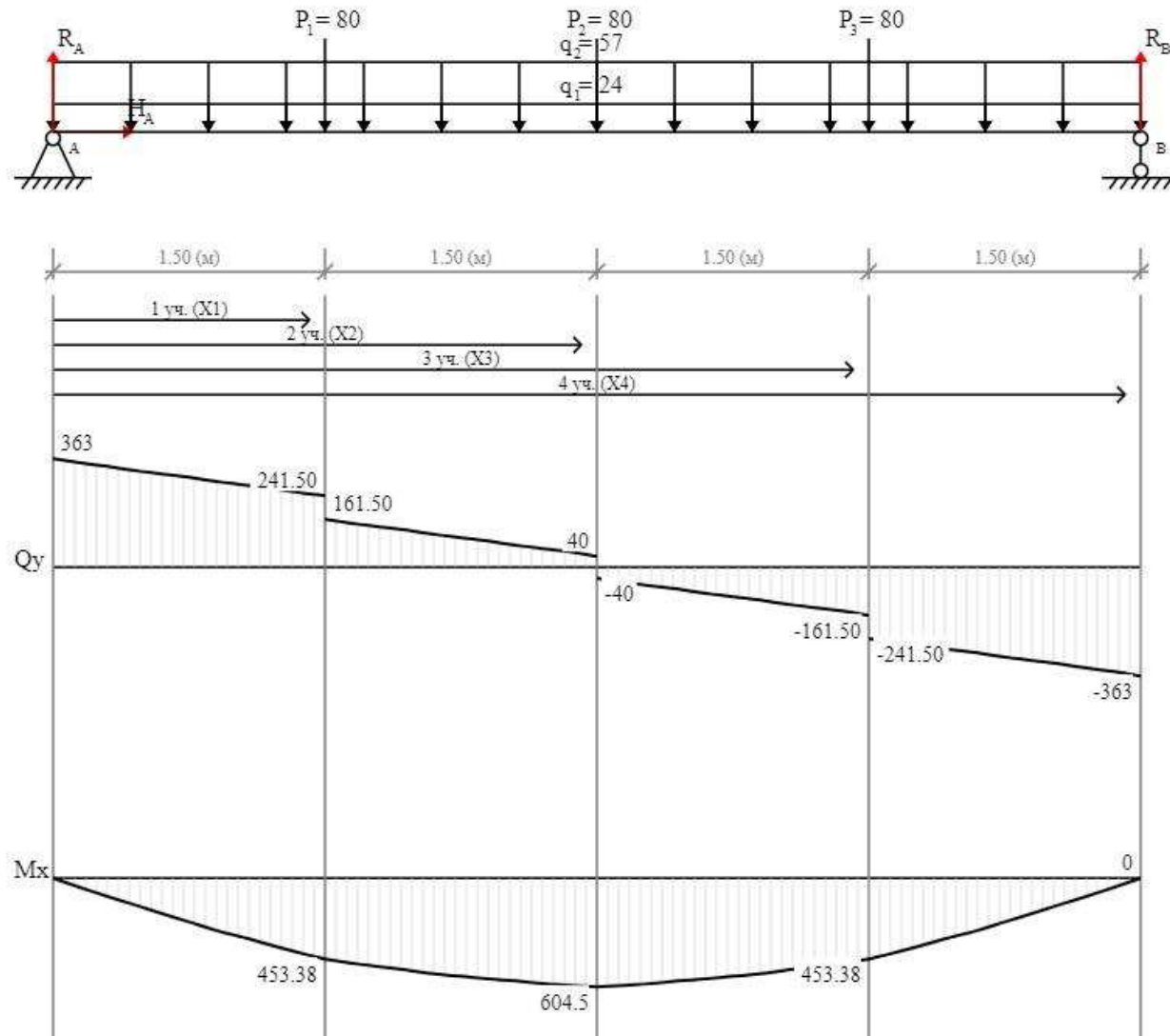


Рисунок 3.22 – Схема к расчету балки

3.2.1 Расчет на прочность при усилении углеродным волокном

Характеристики композитного материала:

- Количество слоев композитных материалов $n=1$;
- Ширина композитного материала $b_f=400$ мм.
- Толщина композитного материала $t_f=0,9$ мм;
- Нормальное значение сопротивление растяжению для композиционного материала $R_{f,n}=470$ МПа;
- Нормативные значения модуля упругости для композиционного материала $E_{f,n}=35000$ МПа.

Защитный слой:

- Расстояние от равнодействующей усилий в арматуре до грани сечения $a_s = a_s' = 3$ см = 0,03 м;

1 Определим приведённые значения сжатой и растянутой зоны

$$A_{s',red} = 12,56 \text{ см}^2;$$

$$A_{sred} = 2,26 \text{ см}^2.$$

2 Определим площадь поперечного сечения внешней арматуры из композиционных материалов по формуле (3.7)

$$A_f = n \cdot t_f \cdot b_f, \quad (3.7)$$

где n – число слоев композитного материала;

t_f – толщина композитного материала;

b_f – ширина композитного материала.

Подставим полученные значения в формулу (3.7)

$$A_f = 1 \cdot 0,9 \cdot 400 = 360 \text{ мм}^2.$$

3 Расчетное значение сопротивления растяжению композиционного материала определяется по формуле (3.8)

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{f,n}}{\gamma_f}, \quad (3.8)$$

где γ_{f1} - коэффициент условий работы, зависящий от типа материала и условий эксплуатации конструкций, равный 0,8;

γ_{f2} - коэффициент условий работы композитного материала, учитывающий сцепление композитного материала с бетоном, равный 1;

γ_f - коэффициент надежности по композитному материалу;

$R_{f,n}$ - нормальное значение сопротивления растяжению композитного материала.

Подставим значения в формулу (3.8)

$$R_f = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 470}{1,2} = 313,3 \text{ МПа.}$$

Коэффициент условий работы композитного материала, учитывающий сцепление композитного материала в бетоне определяется по формуле (3.9)

$$\gamma_{f2} = \frac{1}{2,5 \cdot \varepsilon_{f,ult}} \sqrt{\frac{R_b}{n \cdot E_f \cdot t_f}}, \quad (3.9)$$

где $\varepsilon_{f,ult}$ - предельное значение относительной деформации композитных материалов системы внешнего армирования;

E_f - нормативное значение модуля упругости композитного материала;

R_b - расчетное сопротивление бетона сжатию;

t_f - толщина композитного материала.

Определим предельное значение относительной деформации композитных материалов системы внешнего армирования по формуле (3.10)

$$\varepsilon_{f,ult} = \frac{R_f}{E_f}, \quad (3.10)$$

где R_f - нормальное значение сопротивления растяжению композитного материала;

E_f - нормативное значение модуля упругости композитного материала.

Подставим полученные значения в формулу (3.10)

$$\varepsilon_{f,ult} = \frac{313,3}{35000} = 0,00895.$$

Подставим значения в формулу (3.9)

$$\gamma_{f2} = \frac{1}{2,5 \cdot 0,00895} \cdot \sqrt{\frac{17}{1 \cdot 35000 \cdot 0,9}} = 1,04.$$

Значение расчетного сопротивления растяжению на действие непродолжительных нагрузок определим по формуле (3.8)

$$R_f = \frac{0,8 \cdot 1,04 \cdot 470}{1,2} = 325,87 \text{ МПа.}$$

3 Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры определим по формуле (3.11)

$$a = \frac{R_s A_s \cdot a_s}{R_s \cdot A_s + R_f \cdot A_f}, \quad (3.11)$$

где R_s , – расчетные сопротивления растяжению существующей арматуры;

A_s , – площади сжатой арматуры конструкции до усиления;

b – ширина усиливаемого элемента;

a_s – расстояние от равнодействующей усилий в арматуре S до грани сечения;

R_f , – расчетные сопротивление композитного материала.

Подставим значения в формулу (3.11)

$$a = \frac{365 \cdot 2512 \cdot 30}{365 \cdot 2512 + 325,87 \cdot 360} = 26,6 \text{ мм.}$$

4 Рабочая высота сечения определяется по формуле (3.12)

$$h_0 = h - a, \quad (3.12)$$

где h – высота прямоугольного сечения;

a – расстояние от равнодействующей усилий в продольной и растянутой стальной арматуре до ближайшей грани сечения.

Подставим значения в формулу (3.12)

$$h_0 = 07 - 0,026 = 0,674 \text{ мм.}$$

Высота сжатой зоны определяется по формуле (3.13)

$$X = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s + R_f A_f}{R_b \cdot b}, \quad (3.13)$$

где A_s, A'_s – площади сжатой и растянутой арматуры конструкции до усиления;

R_s – расчетные сопротивления растяжению существующей арматуры и арматуры растяжения;

R_{sc} – то же, сжатию.

R_f – прочность на растяжение фибры (волокон) композитного материала;

A_f – площадь композитного материала;

R_b , – расчетные сопротивление бетона;

b – ширина усиливаемого элемента.

Подставим значения в формулу (3.13)

$$X = \frac{365 \cdot 2512 - 365 \cdot 226 + 325,87 \cdot 360}{400 \cdot 17} = 139,96 \text{ мм}.$$

Определим относительную высоту сжатой зоны по формуле (3.14)

$$\xi = \frac{X}{h}, \quad (3.14)$$

где X – высота сжатой зоны;

h – то же, что и в формуле (3.12).

Подставим значения в формулу (3.15)

$$\xi = \frac{139,96}{700} = 0,2.$$

По формуле (3.15) определим предельный изгибающий момент

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s) + R_f \cdot A_f \cdot a, \quad (3.15)$$

где A'_s – то же, что и в формуле (3.13);

R_s – то же, что и в формуле (3.13);

R_{sc} – то же, что и в формуле (3.13);

R_f – то же, что и в формуле (3.13);

A_f – то же, что и в формуле (3.13);

R_b , – то же, что и в формуле (3.13);

b – то же, что и в формуле (3.13);

a – то же, что и в формуле (3.12);

X – то же, что и в формуле (3.14).

Подставим значения в формулу (3.15)

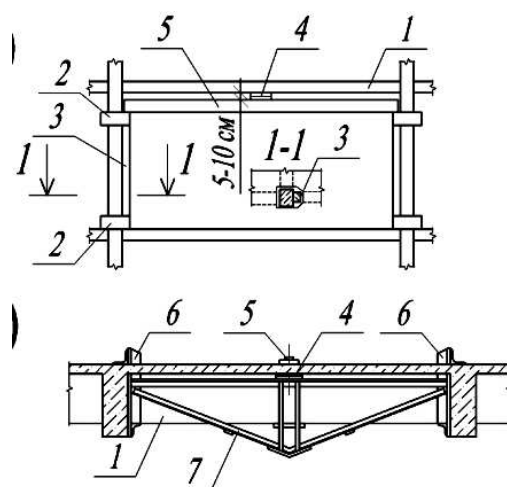
$$\begin{aligned} M_{ult} &= 17 \cdot 400 \cdot 139,96 \cdot (674 - 0,5 \cdot 139,96) + 365 \cdot 226 \cdot (674 - 30) + 325,87 \cdot 360 \cdot 26,6 = \\ &= 631,11 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

3.2.2 Расчет усиления железобетонной балки созданием упругой опоры

Метод усиления путем создания упругих опор заключается в том, что опоры устраиваются на конструкциях, которые закрепляются к основным несущим элементам сооружения. Данные конструкции могут представлять собой балки, подвески, рамы, стойки, фермы, которые включаются в совместную работу с усиливаемым элементом.

Создание упругой дополнительной опоры можно произвести различными способами, такими как, (рисунок 3.23), укладка подпирающей конструкции рядом или ниже усиливаемого элемента, которые представляют собой обычные балки или фермы. Подпирающие конструкции связывают с

усиливаемой конструкцией в намеченном месте (обычно в середине пролета) прокладкой. В месте прокладки образуется дополнительная упругая опора.



1 – усиливаемые балки; 2 – хомуты для опирания балок; 3 – дополнительные стойки; 4 – прокладка промежуточной опоры; 5 – фиксирующий болт; 6 – подвеска подпирающей фермы; 7 – подпирающая ферма

Рисунок 3.23 – Схемы устройства упругих опор с подпирающими конструкциями из балки и фермы

Подпирающие балки могут быть выполнены из стальные или железобетона. Их опирание приходится на колонны каркаса или другие вертикальные несущие элементы.

В основе расчета данным методом лежит положение о равновесии прогибов усиливаемой и усиливающей конструкции в месте опоры.

При расчете необходимо установить несущую способность характерных сечений усиливаемой конструкции, наметить положение упругих опор, и определить их реакции из условия создания должной разгрузки подпираемой конструкции. Затем необходимо определить прогибы усиливаемой конструкции в местах упругих опор от совместного действия нагрузки, прикладываемой после усиления, и реакции упругих опор от совместного действия нагрузки, и реакции упругих опор. Прогибы конструкции, создающей упругие опоры, должны быть равны найденным величинам.

Реакции упругих опор зависят от таких факторов как, их расположения, расчетная схема подпираемой конструкции и величина требуемой нагрузки.

Сечение балки представлено на рисунке (3.24)

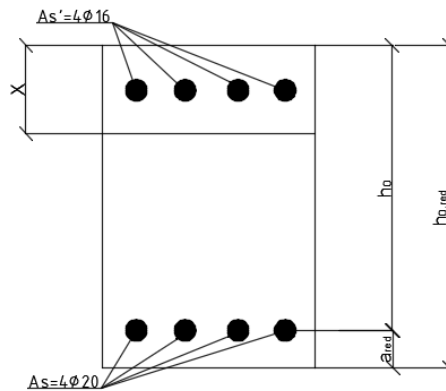


Рисунок 3.24 – Сечение балки до усиления

1. Определим отношение модулей упругости стали и бетона по формуле (3.16)

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}, \quad (3.16)$$

где E_s – модуль упругости арматуры;

E_b – начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении.

Подставим значения в формулу (3.16)

$$\alpha = \frac{210000}{32500} = 6,46.$$

Определим площадь приведённого сечения по формуле (3.17)

$$A_{red} = A + (\alpha - 1) \cdot A_s + (\alpha - 1) \cdot A_s', \quad (3.17)$$

где α - отношение модулей упругости стали и бетона;

A_s , – площади сжатой арматуры конструкции до усиления;

A – площадь всего бетона в поперечном сечении.

Подставим значения в формулу (3.17)

$$A_{red} = 70 \cdot 40 + (6,46 - 1) \cdot 12,56 + (6,46 - 1) \cdot 2,26 = 2880,92 \text{ см}^2$$

Статический момент площади приведенного сечения определим по формуле (3.18)

$$S_{red} = 70 \cdot 40 \cdot 20 + 6,64 \cdot 12,56 \cdot 3 + 6,64 \cdot 2,26 \cdot 3 = 56295,21 \text{ см}^2. \quad (3.18)$$

Расстояние от нижней грани до центра тяжести приведенного сечения определяем по формуле (3.19)

$$y_0 = \frac{S_{red}}{A_{red}}, \quad (3.19)$$

где A_{red} – площадь приведенного сечения элемента

S_{red} – статический момент площади приведенного сечения относительно нижней грани.

Подставим полученные значения в формулу (3.19)

$$y_0 = \frac{56295,21}{2880,92} = 19,54 \text{ см.}$$

Момент инерции приведённого сечения определим по формуле (3.20)

$$I_{red} = \frac{70 \cdot 40^3}{12} + 70 \cdot 40 \cdot (20 - 19,54)^2 + 6,64 \cdot 12,56 \cdot (19,54 - 3)^2 + 6,64 \cdot 2,26 \cdot (19,54 - 3)^2 = 401542 \text{ см}^4,$$

2 Определим жесткость железобетонной балки по формуле (3.21)

$$D = 0,85 \cdot E_{\sigma} \cdot I_{red}. \quad (3.21)$$

где E_b – то же, что и в формуле (3.16);

I_{red} – момент приведенного сечения.

Подставим значения в формулу (3.21)

$$D = 0,85 \cdot 0,325 \cdot 10^4 \cdot 40,15 \cdot 10^4 = 10,92 \cdot 10^8 \text{ кН} \cdot \text{см}^2.$$

Определим суммарный прогиб балки от нагрузок, прикладываемых после усиления по формуле (3.22)

$$f = \frac{5 \cdot p \cdot l^4}{384 \cdot D} + \frac{19 \cdot P \cdot l^3}{384 \cdot D} - \frac{R_{упр} \cdot l^3}{48 \cdot D}, \quad (3.22)$$

где D – жёсткость балки;

l – длина балки.

3 Суммарный прогиб складывается из прогиба от нагрузки $p=57$ кН/м, $P=80$ кН и от реакции упругой опоры $R_{упр}=56,33$ кН. Подставим полученные значения в формулу (3.22)

$$f = \frac{5 \cdot 0,57 \cdot 600^4}{384 \cdot 10,92 \cdot 10^8} + \frac{19 \cdot 80 \cdot 600^3}{384 \cdot 10,62 \cdot 10^8} - \frac{56,33 \cdot 600^3}{48 \cdot 10,92 \cdot 10^8} = 0,88 \text{ см}.$$

5. Рассмотрим подпирающую конструкцию по схеме на рисунке (3.25).

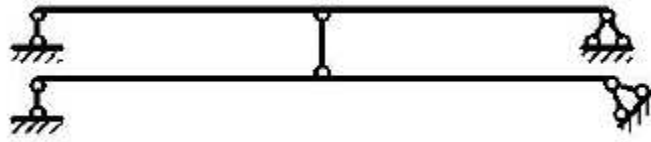


Рисунок 3.25 – Схема к расчету усиления балки устройством дополнительных упругих опор

Необходимая жесткость подпирющей конструкции из металлической балки определяется по формуле (3.23)

$$E \cdot I_{mp} = \frac{R_{упр} \cdot l^3}{48 \cdot f_{сум}}, \quad (3.23)$$

где $R_{упр}$ – реакция упругой опоры;

l – длина балки.

f – суммарный прогиб балки.

Подставим полученные значения по формуле (3.23)

$$E \cdot I_{mp} = \frac{56,33 \cdot 600^3}{48 \cdot 0,88} = 2,88 \cdot 10^8 \text{ кН} / \text{см}^3,$$

Отсюда требуемый момент инерции будет $1,37 \cdot 10^4 \text{ см}^4$.

Выполним балку из двух швеллеров №33 (ГОСТ 8240-97) с суммарным моментом инерции равном 16020 см^4 .

3.2.3 Расчет по прочности железобетонной балки, усиленной наращиванием снизу

Расчет для железобетонных изгибаемых элементов, при усилении наращиванием, выполняется как для монолитных конструкций. Так же при расчете необходимо учитывать такие факторы как коррозия арматуры и расслоение бетона, а также двойную арматуру и различные классы бетона. Расчет с усилением при одностороннем наращивании следует проводить как для единой конструкции, в соответствии с СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры» [68].

Усиление происходит путем наращивания бетона толщиной 0,10 м. Бетон усиления класса В35 - $R_c=19,5$ МПа; арматура АIII - $R_{sc,ad}=365$ МПа; площадь арматуры -12,56 (4Ø20).

Схема к расчету представлена на рисунке 3.26. В соответствии со схемой $h_0=0,67$ м; $h_{0,ad}=0,77$ м; $a=0,03$ м.

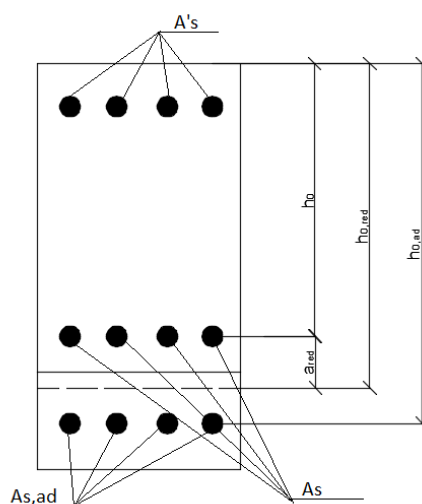


Рисунок 3.26 – Схема усиления балки методом наращивание снизу

Расчет усиливаемого изгибаемого элемента по прочности выполняется в следующей последовательности.

1. При различных классах существующей арматуры и арматуры усиления находятся приведенные площади сечения сжатой и растянутой арматуры по формулам 3.24 и 3.25.

$$A_{s,red} = A_s + \frac{R_{s,ad} \cdot A_{s,ad}}{R_s}, \quad (3.24)$$

$$A'_{s,red} = A'_s + \frac{R_{sc,ad} \cdot A'_{s,ad}}{R_{sc}}, \quad (3.25)$$

где $A_{s,red}$ – площадь сечения растянутой арматуры;

$A'_{s,red}$ – площадь сечения сжатой арматуры;

A_s – площадь растянутой арматуры конструкции до усиления;

A'_s – площадь сжатой арматуры конструкции до усиления;

$A_{s,ad}$ – площадь растянутой арматуры конструкции элементов усиления;

$A'_{s,ad}$ – площадь сжатой арматуры конструкции элементов усиления;

R_s – расчетное сопротивление растяжению существующей арматуры;

$R_{s,ad}$ – расчетное сопротивление растяжению арматуры усиления;

R_{sc} – расчетное сопротивление сжатию существующей арматуры;

$R_{sc,ad}$ – расчетное сопротивление сжатию арматуры усиления;

Подставим значения в формулу (3.24) и (3.25)

$$A_{s,red} = 12,56 + \frac{365 \cdot 12,56}{365} = 25,12 \text{ см}^2,$$

$$A'_{s,red} = 2,26 \text{ см}^2.$$

2. Определяется расстояние от центра тяжести существующей арматуры до центра тяжести арматуры усиления по формуле (3.26)

$$a_{red} = \frac{R_{s,ad} \cdot A_{s,ad} \cdot (h_{0,ad} - h_0)}{R_s \cdot A_s + R_{s,ad} \cdot A_{s,ad}}, \quad (3.26)$$

где $A_{s,ad}$ – то же, что и в формуле (3.24);

$A'_{s,ad}$ – то же, что и в формуле (3.25);

A_s – то же, что и в формуле (3.24);

A'_s – то же, что и в формуле (3.25);

R_{sc} – то же, что и в формуле (3.25);

$R_{sc,ad}$ – то же, что и в формуле (3.25);

h_0 – расстояние от сжатой грани сечения до центра тяжести существующей растянутой арматуры;

$h_{0,ad}$ – расстояние от сжатой грани усиленного элемента до центра тяжести растянутой арматуры усиления.

Подставим значения в формулу (3.26)

$$a_{red} = \frac{365 \cdot 1256 \cdot (770 - 670)}{365 \cdot 12,56 + 365 \cdot 12,56} = 50 \text{ мм.}$$

3. По формуле (3.27) определяется рабочая высота сечения

$$h_{0,red} = h_0 + a_{red}, \quad (3.27)$$

где h_0 – то же, что и в формуле (3.26);

a_{red} – расстояние от центра тяжести существующей арматуры до центра тяжести арматуры усиления.

Подставим значения в формулу (3.27)

$$h_{0,red} = 670 + 50 = 720 \text{ мм.}$$

4. Определяется относительная высота сжатой зоны бетона по формуле (3.28)

$$\xi = \frac{R_s \cdot A_{s,red} + R_{sc} \cdot A'_{s,red}}{R_\sigma \cdot b \cdot h_{0,red}}, \quad (3.28)$$

где $A_{s,red}$ – то же, что и в формуле (3.24);

$A'_{s,red}$ – то же что и в формуле (3.25);

R_s – то же, что и в формуле (3.24);

R_{sc} – то же, что и в формуле (3.25);

$h_{0,ad}$ – рабочая высота сечения;

b – ширина усиливаемого элемента;

R_σ – расчетное сопротивление бетона сжатию.

Подставим значения в формулу (3.28)

$$\xi = \frac{365 \cdot 2512 - 365 \cdot 226}{17 \cdot 400 \cdot 720} = 0,17.$$

5. Определяем граничное значение относительной высоты сжатой зоны бетона по формуле (3.29)

$$\xi = \frac{\omega}{1 + \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_{sc,u}} \right) \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1,1} \right)}, \quad (3.29)$$

где ω – характеристика сжатой зоны бетона, определяемая по формуле 24;

σ_{sr} – напряжение в арматуре, принимаемое в зависимости от класса арматуры;

$\sigma_{sc,u}$ – предельное напряжение в арматуре сжатой зоны, принимаемое для конструкций из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов в зависимости от учитываемых в расчете нагрузок.

По формуле (3.30) определим значение характеристики сжатой зоны бетона

$$\omega = \alpha - 0,008 \cdot R_b, \quad (3.30)$$

где α – коэффициент, принимаемый в зависимости от бетона;

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию.

Подставим значения в формулу (3.30)

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot 19,5 = 0,964$$

Подставим полученные значения в формулу (3.29)

$$\xi = \frac{0,694}{1 + \left(\frac{365}{400} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,694}{1,1} \right)} = 0,519.$$

6. Определяем по формуле (3.31) высоту сжатой зоны бетона

$$x = \frac{R_s \cdot A_{s,red} - R_{sc} \cdot A'_{s,red}}{R_\sigma \cdot b}, \quad (3.31)$$

где $A_{s,red}$ – то же, что и в формуле (3.24);

$A'_{s,red}$ – то же что и в формуле (3.25);

R_s – то же, что и в формуле (3.24);

R_{sc} – то же, что и в формуле (3.25);

R_σ – то же, что и в формуле (3.30);

b – то же, что и в формуле (3.28).

Подставим значения в формулу (3.31)

$$x = \frac{365 \cdot 2512 - 365 \cdot 226}{19,5 \cdot 400} = 106 \text{ мм.}$$

Определим несущую способность усиленного элемента используя формулу (3.32)

$$M \leq R_{\sigma,red} \cdot b \cdot x \cdot (h_{0,red} - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_{sc,red} \cdot (h_{0,red} - a'), \quad (3.32)$$

где $R_{\sigma,red}$ – приведенное значение сопротивления сжатой зоны бетона;

b – то же, что и в формуле (3.28);

\mathcal{X} – высота сжатой зоны бетона;

$h_{0,red}$ – то же, что и в формуле (3.26);

R_{sc} – то же, что и в формуле (3.25);

Подставим полученные значения в формулу (3.32)

$$M \leq 19,5 \cdot 400 \cdot 106 \cdot (720 - 0,5 \cdot 106) + 365 \cdot 226 \cdot (720 - 30) = 608,39 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

3.3 Определение стоимости увеличения прочности балки различными методами усиления

По каждому варианту усиления балок были составлены локальные сметы на строительство, включающие стоимость строительно-монтажных работ.

В данной работе локальная смета была составлена с использованием ФЕР 2020[75-79].

При определении сметной стоимости был применен базисно-индексный метод. Индекс 2 квартала 2020 года для общестроительных работ в Красноярском крае равен 8,42 [80].

Накладные расходы и сметная прибыль приняты по МДС 81-33.2004 и МДС 81-25.2001 [81, 82], в размере 110% и 90% от фонда оплаты труда, соответственно.

Количество материала, принимаемого в смете, было принято исходя из прочностных расчетов для соответствующего метода усиления из глав 3.2.2, 3.2.3 и 3.2.4 настоящей работы.

Состав работ, которые необходимо было учесть в смете, был принят из приложения В соответственно для каждого метода.

Сметы стоимости усиления конструкций по каждому из методов представлены в таблицах Г.1, Г.2, Г.3 приложения Г.

Результаты по определению стоимости работ по каждому варианту усиления представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты определения стоимости вариантов усиления

Вид усиления	Сметная стоимость СМР (с учетом НДС 20%)
Приклейка углеродных холстов	31 444,7
Создание упругой опоры	50 642,5
Наращивание снизу	42 466,51

Как видно из таблицы, применение технологии усиления балок железобетонных пролетных строений с использованием композитных материалов вместо железобетона приводит к экономии на 26%, вместо металла на 38%.

3.4 Технико-экономическое обоснование применение углеродного волокна при усилении строительных конструкций

Выбор способа усиления является важным этапом при проведении реконструкционных и реставрационных работ. В рамках работы были выделены и проанализированы факторы которые могут препятствовать применению того или иного метода усиления. Выявленные факторы можно сформировать в следующие группы:

1. Факторы, которые характеризуют нагрузки и состояние усиливаемых конструкций;
2. Факторы, которые определяют возможность применения способа при рассматриваемых условиях;
3. Факторы, которые определяют возможность выполнения усиления без остановки основного производства;
4. Факторы, которые определяют возможность достижения необходимой несущей способности;
5. Факторы, которые определяют технологичность и экономичность.

Дальше был проведен анализ по трем оцениваемым методам усиления по вышеприведенным факторам. В качестве оценочной шкалы будут применяться значения «+», «0» и «-». Знак «+» - способ усиления рассматриваемой конструкции отвечает рассматриваемым характеристикам; знак «0» - способ может отвечать или не отвечать указанным характеристикам (зависит от условий в которых производится усиление); знак «-» - способ не соответствует указанным характеристикам.

Сравнительная таблица по возможности применения способа в различных условиях приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Возможность применения способа в различных условиях

Способ усиления	Для эксплуатации в пожароопасных условиях без обетонирования металлоконструкций усиления	Для эксплуатации и в помещениях с высокой степенью агрессивности среды	Для усиления без остановки производства и снятия нагрузки с учетом обеспечения хорошей совместной работы	Для усиления без остановки производства и снятия нагрузки, если недопустима запыленность	Для усиления без остановки производства и снятия нагрузки во взрывоопасных помещениях	Для значительного увеличения несущей способности
Приклейка холстов	-	+	+	-	-	0
Создание упругой опоры	-	-	0	0	0	-
Наращивание снизу	+	0	-	-	-	0

Показатели технологичности производства представлены в таблице 3.5

Таблица 3.5 – Показатели технологичности способа усиления

Способ усиления	Индустриальность (возможность изготовления конструкций усиления в заводских условиях)	Быстрота устройства усиления на месте	Простота устройства усиления на месте	Простота обеспечения хорошей совместной работы, усиливаемой и усиливающих конструкций	Без изменения размеров в конструкции и веса	Увеличение изгибающих усилий	Усиление без нарушения усиливаемой конструкции при производстве работ
Приклейка холстов	+	+	+	+	+	-	+
Создание упругой опоры	-	-	-	-	-	+	-
Наращивание снизу	0	0	0	0	-	+	-

Показатели экономичности производства представлены в таблице 3.6

Таблица 3.6 –Показатели экономичности способов усиления

Характеристика экономичности	Приклейка холстов	Создание упругой опоры	Наращивание снизу
Невысокая трудоемкость	+	-	0
Низкая стоимость	0	-	0
Малый расход металла	+	-	+

Результаты таблицы 3.4, 3.5 и 3.7 наглядно демонстрируют преимущества усиления конструкций углеродным волокном по сравнению с другими способами. Большим преимуществом композиционного материала в роли усиления является минимальное увеличение изгибающих усилий, несмотря на резервы в улучшении гибкости конструкции. В результате усиления балок углеродной тканью они не подвергаются действию дополнительных внутренних усилий, и этим предотвращается их преждевременное разрушение.

Применение усиления железобетонных балок композитными материалами технологично. Время простоя сооружения значительно уменьшается, а также, обоймы из углеродного волокна имеют небольшую толщину и требуют меньше времени для вступления во взаимодействие с остальными, расположенными вблизи, строительными конструкциями инженерного сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы были предложены конструктивные решения для реконструкции и реставрации, которые позволяют улучшить прочностные показатели усиливаемых объектов.

В результате экспериментальных исследований были получены значения прочности при усилении опытного образца углеродной сеткой. Результаты испытаний показали увеличение прочности образцов от 3,6 до 7,8 раз.

Так же была предложена теория о линейном увеличении прочности балки в зависимости от слоев армирования.

В ходе работы было отмечено, что применение разработанных методов помимо увеличения прочности конструкций, позволяет избежать мгновенного разрушения элементов сооружения, что позволит принять своевременные меры для предотвращения более серьезных разрушения, а также минимизировать возможность человеческих жертв.

Так же было проведено экономическое сравнение применения традиционных методов (усиления путем наращивания железобетонной рубашки снизу и усиления путем создания упругой опоры) и современного (усиления путем внешнего армирования углеродным материалом). Были проведены прочностные расчеты, и на их основании составлена смета. В результате экономического расчета было выявлено преимущество усиления углеродным волокном. Стоимость повышения прочности углеродным материалом оказалась выгодней на 26 % и в 38% раза, методами наращивания снизу и создание упругой опоры соответственно.

Также было проведено технико-экономическое сравнение применения традиционных методов (усиления путем наращивания железобетонной рубашки снизу и усиления путем создания упругой опоры) и современного (усиления путем внешнего армирования углеродным материалом).

Оценка производилась на основании следующих параметров:

- Возможность применения способа в различных условиях, здесь сравнивалось возможность проведения усиления строительных конструкций при различных условиях эксплуатации (пожароопасные условия, условия эксплуатации в агрессивной среде, возможность усиления без остановки производства и др.)

- Показатели технологичности способа усиления, здесь оценивались такие критерии как индустриальность метода, быстрота устройства, простота устройства, параметры изменения размеров конструкции и веса и др.

- Экономичность метода, здесь было оценено трудоемкость производства работ, стоимость конструкций, а также расход металла.

По результатам этой оценки были сделаны выводы о том, что усиление конструкций углеродным волокном по сравнению с другими методами обладает рядом преимуществ. Большим преимуществом применения композитного материала является минимальное увеличение изгибающих усилий, несмотря на резервы в улучшении гибкости конструкции. В результате усиления балок углеродной тканью они не подвергаются действию дополнительных внутренних усилий, и этим предотвращается их преждевременное разрушение. Углеродное волокно значительно увеличивает прочность усиливаемого элемента, при этом практически не происходит увеличения сечения конструкции, что является неоспоримым достоинством при проведении реставрации зданий (когда недопустимо изменять облик здания) и реконструкции (когда необходимо сохранить максимально много полезного пространства).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев, Д. Р. Усиление мостовых конструкций с использованием композитных материалов / Д. Р. Тимофеев, Д. Д. Тимофеев // Актуальные проблемы автомобильного, железнодорожного, трубопроводного транспорта в уральском регионе. – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2005. – 45–51 с.
2. Ефимов, П. П. Усиление и реконструкция мостов : монография / П. П. Ефимов. – Омск : Изд-во СибАДИ, 1996. – 154 с.
3. Ефимов, П. П. Экспериментальные методы исследования мостов : учеб. пособие / П. П. Ефимов. – Омск : Изд-во Ом. ГТЦУ, 1994. – 195 с.
4. Овчинников, И. Г. Коррозия и защита железобетона мостовых сооружений / И. Г. Овчинников, Р. Б. Гарибов // Защита от коррозии в строительстве и городском хозяйстве : материалы междунар. науч.-техн. конф. – М. : ВВЦ, 2005. – 72 с.
5. Овчинников, И. Г. Случайный характер деформаций и напряжений железобетонных конструктивных элементов мостов / И. Г. Овчинников, А. В. Межнякова, И. Н. Гришина // Вестник ВолгГАСУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2006. № 21(6). – 107–113 с.
6. Овчинников, И. Г. Методы оценки долговечности армированных конструкций при действии нагрузок и агрессивных сред / И. Г. Овчинников, А. В. Межнякова // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 8. – 54–55 с.
7. Овчинников, И. Г. Повреждения и диагностика железобетонных мостовых сооружений на автомобильных дорогах: учеб. пособие / И. Г. Овчинников, В. И. Кононович, А. В. Макаров. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2004. – 92 с.
8. Овчинников, И. Г. Новые материалы и изделия в мостостроении / И. Г. Овчинников, А. В. Кочетков, В. Н. Макаров, С. В. Овсянников // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – Вып. № 1. – 80 с.

9. Ата Эль К. Шоеаб Солиман. Рациональное использование стеклопластика для усиления элементов бетонных и железобетонных конструкций: дис. Канд.тех.наук: 05.23.01 / Ата Эль Карим Шоеаб Солиман. – Белгород, 2005. – 159 с.

10. Михуб, Ахмад. Прочность, деформативность и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композиционными материалами: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.11 / Михуб Ахмад. – Ростов н/Д, 2013. – 211 с.

11. Устинов, Б. В. Область эффективного применения стеклопластиковой арматуры в строительстве / Б. В. Устинов // Реконструкция и совершенствование несущих элементов зданий и сооружений транспорта: сб. науч. тр. / под ред. В. С. Казарновского. – Новосибирск: Изд.-во СГУПС, 2005. – 50–56 с.

12. Устинов, Б. В. Применение композитных полимерных материалов в строительных конструкциях и мостах в Сибири / Б. В. Устинов, А. Ф. Бернацкий, В. С. Казарновский, М. Г. Петров, В. П. Устинов // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 5. – 45–48 с.

13. Устинов, Б. В. Исследование физико-механических характеристик композитных полимерных материалов (КПМ) / Б. В. Устинов, В. П. Устинов // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 11–12. – 118–125 с.

14. Шилин, А. А. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами / А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Картузов. – М.: Стройиздат, 2004. – 139 с.

15. Шилин, А. А. и др. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами / А. А. Шилин и др. – М.: Стройиздат, 2007. – 184 с.

16. Шилин, А. А. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами / А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Картузов // Бетон и железобетон. – 2006. – № 3 – 32а–32 с.

17. Бокарев, С. А. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 2. – 112–124 с.
18. Бокарев, С. А. Нелинейный анализ железобетонных изгибаемых конструкций, усиленных композитными материалами / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 2. – 113–125 с.
19. Бокарев, С. А. Усиление пролетных строений с использованием композитных материалов / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов, В. П. Устинов, А. Н. Яшнов // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 6. – 30–31 с.
20. Бокарев, С. А. Экспериментальные исследования при пониженных и повышенных температурах железобетонных образцов, усиленных полимерными композиционными материалами / С. А. Бокарев, А. Н. Костенко, Д. Н. Смердов, А. А. Неровных // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 3. – 1–9 с.
21. Бокарев, С. А. Коэффициенты надежности для композиционных материалов, применяемых для усиления железобетонных элементов мостовых конструкций / С. А. Бокарев, Г. М. Власов, А. А. Неровных, Д. Н. Смердов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2. – 222–229 с.
22. Бокарев, С. А. Методика расчета по прочности сечений, эксплуатируемых железобетонных пролетных строений, усиленных композитными материалами / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов, А. А. Неровных // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 2. – 63–74 с.
23. Бокарев, С. А. Оценка выносливости изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов, А. А. Неровных // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: междуна. сб. науч. тр. – 2010. – № 10. – 287–294 с.

24. Картопольцев, В. М. Применение карбона в мостостроении: учеб. пособие / В. М. Картопольцев, А. В. Картопольцев, А. Н. Пангин. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2008. – 72 с.
25. Смердов, Д. Н. Оценка несущей способности железобетонных пролетных строений мостов, усиленных композиционными материалами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Смердов Дмитрий Николаевич. – Новосибирск, 2010. – 159 с.
26. Смердов, М. Н. Экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, армированных в сжатой и растянутой зоне неметаллической композиционной арматурой / М. Н. Смердов, Д. Н. Смердов, А. О. Клементьев // Транспорт Урала. – 2014. – № 4. – 49–54 с.
27. Смердов, М. Н. Методика расчета изгибаемых бетонных элементов, армированных полимерными композиционными материалами / М. Н. Смердов, Д. Г. Неволин, А. О. Клементьев, Д. Н. Смердов // Транспорт Урала. – 2015. – № 3. – 98–101 с.
28. Разработка рекомендаций по применению композитных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений: Отчет о НИР / Шестериков В. И. – М. : ФГУП «РОСДОРНИИ», 2007. – 100 с.
29. CNR-DT 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. – Rome, 2004. – 144 p.
30. Finite element modeling of reinforced concrete structures strengthened with FRP laminates. Final Report SPR. – Oregon Department of Transportation, 2001. – 113 p.
31. Guide to Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures. Concrete International, 2005, vol. 27, № 1. – 13 p.

32. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute

33. ТУ 1916-005-61664530-2011 «Углеродные однонаправленные ленты для систем внешнего армирования (СВА) / ЗАО «ПРЕПРЕГ – СКМ». – М., 2011. – 13 с.

34. СТО 2256-002-2011 «Комплексная система FibARM по ремонту и усилению строительных конструкций, путем внешнего армирования композитными материалами холодного отверждения / ЗАО «ПРЕПРЕГ – СКМ». – М., 2011. – 13 с.

35. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. – М. : Минстрой России, 2015. – 52 с.

36. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / Разработано в развитие СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». – М. : НИИЖБ, 2006. – 48 с.

37. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ ред. от 24.04.2020. // Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступ: <http://www.consultant.ru>.

38. Культура в России 2012-2019 [Электронный ресурс]: итоговый отчет министерства культуры Российской Федерации. // Министерство культуры Российской Федерации – Режим доступа: <https://www.mkrf.ru/activities/reports>.

39. Аварийный жилищный фонд [Электронный ресурс]: статистика аварийного жилищного фонда 1995-2018 // Федеральная служба государственной статистики – Режим доступа: <https://www.gks.ru/folder/13706?print=1>.

40. Ежедневный мониторинг СМИ [Электронный ресурс]: Ежедневный мониторинг СМИ от 18 сентября 2019 // Министерство транспорта Российской Федерации – Режим доступа: <https://mintrans.ru/file/435598>.

41. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений.: Учеб. Пособие/АСВ. – Москва, 2002 – 160с.

42. Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами. / ТбилЗНИИЭП.-М.: Стройиздат, 1990 – 160с.

43. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных промышленных зданий и сооружений. Л. М. 1965 – 159 с.

44. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений. / Харьковский ПромстройНИИпроект, Харьков, 1985.

45. Рекомендации по обеспечению долговечности и надежности строительных конструкций гражданских зданий из камня и бетона с помощью композитных материалов/ НИЛЭП ОИСИ.-М.: Стройиздат, 1988. –160с.

46. Banthia, N. Fiber Reinforced Polymers in Concrete Construction and Advanced Repair Technologies. Department of Civil Engineering University of British Columbia, – 37 p.

47. Barakal, S. A., Binienda W. K., Tysl S. R. Evaluation of the Performance of Concrete Structures Strengthened with FRP Composites. 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, June 2–5, 2002, Columbia University, New York. – 9 p.

48. ИСО 527-4:1997 Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Ч. 4. Условия испытаний для изотропных и ортотропных пластических композиционных материалов, армированных волокнами (ISO 527-4:1997 Plastics – Determination of tensile properties – Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites).

49. Определение свойств при сжатии в направлении плоскости расслаивания (ISO 14126:1999 Fibre-reinforced plastic composites – Determination of compressive properties in the in-plane direction);

50. ИСО 14125:1998 Материалы композиционные полимерные, армированные волокном. Определение свойств при изгибе (ISO 14125:1998 Fibre-reinforced plastic composites – Determination of flexural properties).

51. ИСО 14130:1997 Материалы композиционные полимерные армированные волокном. Определение кажущейся межслойной прочности на сдвиг методом испытания коротких балок (ISO 14130:1997 Fibre-reinforced plastic composites – Determination of apparent interlaminar shear strength by short-beam method).

52. Jansze, W. Strengthening of reinforced concrete members in bending by externally bonded steel plates. PhD dissertation, TU Delft, The Netherlands.

53. Nabil, F. Grace, S. B. Singh. Durability Evaluation of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Strengthened Concrete Beams: Experimental Study and Design. ACI Structura.

54. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс]: федер. закон: принят Гос. думой 30 дек. 2009 г. : по состоянию на 02 июля 2013 г.. – М. : 2013. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720.

55. СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция к СНиП 2.09.03-85/ Введ. 01.01.2013 -Москва: Минрегион России, 2012. – 206 с.

56. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 / Введ 20.06.2019 – Москва: Минстрой России, 2018 -150 с.

57. СП 27.13330.2017 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84 / Введ. 16.11.2017 – Москва: Минстрой России, 2017 – 106 с.

58. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*/ Введен 04.06.2017. – Москва: ОАО «ЦПП», 2017. – 104 с.

59. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 / Введ. 20.05.2011 – Москва: Минстрой России, 2017 – 90 с.
60. СТО 42010705-4.02.02–08. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. –Москва:ЗАО «Триада-Холдинг», 2008. – 40 с.
61. СТО 53269053-101-2010 рекомендации по применению в транспортном строительстве неметаллической композиционной арматуры периодического профиля / ООО НПФ «УралСпецАрматура» – Пермь: 2013 – 60с.
62. СТО 13623997-001–2011. Стандарт организации ООО «Зика». Усиление железобетонных конструкций композитными материалами фирмы Sika / ООО «Зика». – М., 2011. – 63 с.
63. Неровных А. А. Совершенствование методики оценки грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов, усиленных композиционными материалами: автореф. к.т.н. / СибГУПС. Новосибирск, 2013. – 24 с.
64. Гапонов В. В. Обоснование и разработка технологии усиления железобетонных конструкций подземных сооружений с использованием композиционных материалов: автореф. дисс. к.т.н. М., 2012 – 25 с.
65. Смердов М. Н. Исследование несущей способности железобетонных конструкций гидротехнических зданий и сооружений, усиленных композиционными материалами, с учетом температурных факторов: диссертация ... к.т.н. Екатеринбург, 2015. – 135 с.
66. ГОСТ 310.4-92 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии / Введ. 01.07.1983 – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 21 с.
67. Ремонт и усиление железобетонных конструкций: методическое пособие / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации; Федеральное автономное учреждение «Федеральный

центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». – Москва, 2016. – 160 с.

68. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры (одобрен постановлением Госстроя РФ от 25.12.2003 г. №215). – М.: Госстрой.– 2004.

69. Андрианов, К.А. Расчет усиленных конструкций перед реконструкцией и капитальным ремонтом: учебное пособие / К.А. Андрианов, В.И. Леднев, И.В. Матвеева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 112с.

70. Дементьев, В.А. Усиление и реконструкция мостов на автомобильных дорогах: учеб. Пособие / В.А. Дементьев, В.П. Волокитин, Н.А. Анисимова; пол общ.ред. проф. В.А. Дементьева. – Воронеж: гос. арх.-строит. ун-т., 2006. – 116 с.

71. Неволин, Д.Г. Усиление железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения полимерными композиционными материалами: монография / Д.Г. Неволин, Д.Н. Смердов, М.Н. Смердов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – 151 с.

72. Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации; ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве»;

73. Муленкова, В.И. Расчет и конструирование усиления железобетонных и каменных конструкций: учеб. пособие / В.И. Муленкова, Д.В. Артюшин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 118 с.

74. Шихов, А.Н. Реконструкция зданий и сооружений: курс лекций / А.Н. Шихов, М-во с.-х РФ, федеральное гос. Бюджетное образоват. Учреждение высшего образов. «Пермская гос. с.-х акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. – 398 с.

75. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. ФЕР 81-02-08-2001. Сборник 8. Конструкции из кирпича и блоков [Электронный ресурс]: Приложение № 8 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйств Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. № 876/пр // Минстрой России – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.ru/trades/view.fer-2020.php>.

76. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. ФЕР 81-02-08-2001. Часть 9. Строительные металлические конструкции [Электронный ресурс]: Приложение № 9 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйств Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. № 876/пр // Минстрой России – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.ru/trades/view.fer-2020.php>.

77. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. ФЕР 81-02-08-2001. Часть 13. Защита строительных конструкций и оборудования от коррозии [Электронный ресурс]: Приложение № 13 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйств Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. № 876/пр // Минстрой России – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.ru/trades/view.fer-2020.php>.

78. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. ФЕР 81-02-08-2001. Часть 30. Мосты и трубы [Электронный ресурс]: Приложение № 30 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйств Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. № 876/пр // Минстрой России – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.ru/trades/view.fer-2020.php>.

79. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. ФЕР 81-02-08-2001. Часть 46. Работы при реконструкции зданий и сооружений

[Электронный ресурс]: Приложение № 46 к приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйств Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. № 876/пр // Минстрой России – Режим доступа: <https://www.minstroyrf.ru/trades/view.fer-2020.php>.

80. Письмо Минстроя РФ №17207-ИФ/09 от 06.05.2020 года «О рекомендуемой величине прогнозных индексов изменения сметной стоимости строительства в II квартале 2020 года». // Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru>.

81. Методические указания по определению величины сметной прибыли в строительстве, (МДС 81-25.2001)//Госстрой России//Москва, 2001–27 с.

82. Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве (МДС 81-33.2004)//Госстрой России//. Москва., 2004. - 27 с.

83. Белова Н. А. Композитные материалы на основе углеродных волокон // Молодой ученый. — 2015. — №24.1. — С. 5-7. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/104/23577>.

84. ИнноваСтрой [Электронный ресурс] // Применение углеродного волокна в строительстве // Энциклопедия строительства – Режим доступа: <https://innstroy.ru>.

85. Углеволокно [Электронный ресурс] // Технические характеристики углеродного волокна //UMATEX Госкорпорация «РОСАТОМ» – Режим доступа: <http://umatex.com>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПОСТАВКА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СВОЕГО СКЛАДА ПО ВСЕЙ РОССИИ
ОПТ И РОЗНИЦА
ООО «МАСТЕР» +7(812) 646-48-08

МАСТЕР
Магазин Композитных Материалов

+7 (812) 646-48-08
info@smola-steklotkan.ru
www.smola-steklotkan.ru

196105, город Санкт-Петербург,
ул. Сызранская, д. 16. Офис 6

ЭПОКСИДНАЯ СМОЛА ЭД-20 в/с НЕОТВЕРЖДЕННАЯ ГОСТ 10587-84

ОПИСАНИЕ

Стандартная эпоксидно-диановая, не отвержденная смола, применяется в области электротехнической, радиоэлектронной промышленности, авиа-, судо- и машиностроении, в строительстве в качестве компонента заливочных и пропиточных компаундов, клеев, герметиков, связующих для армированных пластиков.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

Эпоксидная смола ЭД-20 применяется с добавлением отвердителя марки ПЭПА (полиэтиленполиамин) (или ТЭТА), в пропорции 1:10 (на 1 часть отвердителя берется 10 частей смолы). Так же с отвердителем ХТ116 Б (1:3) и отвердителем ЭТАЛ45 (1:2)

Для того, чтобы изделие было менее хрупким дополнительно к смоле перед смешиванием с отвердителем может добавляться пластификатор ДБФ (дибутилфталат). Стандартная пропорция пластификатора 1:10 (на 1 часть пластификатора берется 10 частей смолы). Так же возможно увеличение количества пластификатора для придания готовому изделию большей пластичности.

Соединение компонентов должно быть последовательным и производится при температуре не ниже чем 20 °С. Время желатинизации составляет, от 4 до 16 часов, а время полного отверждения - 24 часа.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СМОЛЫ

Внешний вид.....	вязкая прозрачная смола
Цвет по железокобальтовой шкале, не более.....	4
Массовая доля эпоксидных групп, %	19,9-22,0
Массовая доля иона хлора, % не более	0,003
Массовая доля омыляемого хлора, % , не более.....	0,5
Массовая доля гидроксильных групп, % не более.....	1,7
Массовая доля летучих веществ, %, не более.....	0,5
Динамическая вязкость, Па С при 25 °С.....	12-18
Время желатинизации с отвердителем, ч, менее	5

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

Использовать в помещениях, оборудованных проточно-вытяжной вентиляцией, применять средства индивидуальной защиты, хранить в плотно закрытой таре при температуре окружающей среды от +15 до +40°С.

+7 (812) 646-48-08 | info@smola-steklotkan.ru | www.smola-steklotkan.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ООО "Полиуретанофф", г.Уфа 8-960-387-2510, 8-908-350-2552
<http://полимерик.рф/> <http://3d-резка.рф/> <http://pur.tiu.ru/> polvoff@mail.ru



ЭПОКСИДНАЯ СМОЛА ЭД-20 в/с НЕОТВЕРЖДЕННАЯ ГОСТ 10587-84

ОПИСАНИЕ: Стандартная эпоксидно-диановая, не отвержденная смола, применяется в области электротехнической, радиоэлектронной промышленности, авиа-, судо и машиностроении, в строительстве в качестве компонента заливочных и пропиточных компаундов, клеев, герметиков, связующих для армированных пластиков.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ:

Эпоксидная смола ЭД-20 применяется с добавлением отвердителя марки ПЭПА (полиэтиленполиамин) (или ТЭТА), в пропорции 1:10 (на 1 часть отвердителя берется 10 частей смолы). Так же с отвердителем ХТ116 Б (1:3) и отвердителем ЭТАЛ45 (1:2) Для того, чтобы изделие было менее хрупким дополнительно к смоле перед смешиванием с отвердителем может добавляться пластификатор ДБФ (дибутилфталат). Стандартная пропорция пластификатора 1:10 (на 1 часть пластификатора берется 10 частей смолы). Так же возможно увеличение количества пластификатора для придания готовому изделию большей пластичности. Соединение компонентов должно быть последовательным и производится при температуре не ниже чем 20 °С. Время желатинизации составляет, от 4 до 16 часов, а время полного отверждения - 24 часа.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СМОЛЫ:

Внешний вид.....вязкая прозрачная смола
Цвет по железокобальтовой шкале, не более.....4
Массовая доля эпоксидных групп, %19,9-22,0
Массовая доля иона хлора, % не более0,003
Массовая доля омыляемого хлора, %, не более.....0,5
Массовая доля гидроксильных групп, % не более.....1,7
Массовая доля летучих веществ, %, не более.....0,5
Динамическая вязкость, Па С при 25 °С.....12-18
Время желатинизации с отвердителем, ч, менее5

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ: Использовать в помещениях, оборудованных проточно-вытяжной вентиляцией, применять средства индивидуальной защиты, хранить в плотно закрытой таре при температуре окружающей среды от +15 до +40С.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Состав работ при усилении конструкций углеродным волокном

1. Устройство и разборка лесов и подмостей;
2. Разметка поверхности железобетонных конструкций под оклейку;
3. Обеспыливание усиливаемой поверхности;
4. Приготовление праймера;
5. Нанесение праймера на усиливаемую поверхность;
6. Приготовление шпатлевки на основе эпоксидной смолы;
7. Нанесение клеевого состава на усиливаемую поверхность;
8. Разметка и резка холста на основе углеродных волокон;
9. Оклейка усиливаемой железобетонной конструкции холстом на основе углеродных волокон, включая прокатывание валиком;
10. Нанесение на холст второго слоя клеевого состава.

Состав работ при усилении конструкций наращиванием сечения снизу

1. Разгрузка усиливаемых конструкций;
2. Транспортирование и подача материалов, деталей и оснастки;
3. Зачистка металлическими щетками, продувка, промывка поверхности бетона;
4. Насечка поверхности бетона;
5. Монтаж арматуры без приварки к существующей поверхности;
6. Устройство и разборка лесов и подмостей;
7. Нанесение бетонной смеси цемент-пушкой;
8. Выдерживание и уход за бетоном;

Состав работ по усилению гибкими металлическими элементами

1. Транспортирование и подача материалов, деталей, оснастки;
2. Устройство и разборка лесов и подмостей;
3. Монтаж металлических элементов усиления;
4. Сварочные работы;
5. Окраска металлоконструкций.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Смета на усиление балки углеродным волокном

№	Шифр и номер позиции норматива	Вид работы	количество	Стоимость единицы					Общая стоимость				
				Всего ПЗ	ОЗП	ЭММ	в т ч ЗПМ	МАТ	Всего ПЗ	ОЗП	ЭММ	в т ч ЗПМ	МАТ
Усиление балки углеродным волокном													
1	ФЕР08-07-001-02	Установка и разборка наружных инвентарных лесов высотой до 16 м: трубчатых для прочих отделочных работ, 100 м2	0,26	725,16	375,84	6,10	0,00	343,22	187,09	96,97	1,57	0,00	88,55
2	ФЕР13-08-009-01	Шлифовка бетонных поверхностей	0,02	973,48	725,96	236,10	21,03	11,42	23,36	17,42	5,67	0,50	0,27
3	ФЕР 30-08-070-03	Усиление железобетонных конструкций: холстами на основе углеродных волокон в один слой 10 м2	0,24	7568,65	194,73	38,41	0,00	1335,51	1816,48	46,74	9,22	0,00	320,52
	Н. 101-5946	Холсты тканые на основе однонаправленных высокопрочных углеродных волокон MBRACE FIB CF с модулем упругости 230 ГПа, прочностью волокна 4900 Мпа, весом 200 г/м2						10,18					
4	101-5946	Холсты тканые на основе однонаправленных высокопрочных углеродных волокон MBRACE FIB CF с модулем упругости 230 ГПа, прочностью волокна 4900 Мпа, весом 200 г/м2	2,44	311,85				311,85	761,91	0,00	0,00	0,00	761,91
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах									2788,84	161,12	16,46	0,50	1171,26
Накладные расходы (110% от ФОТ)									177,792648				
Сметная прибыль (90 % от ФОТ)									145,466712				
Итого по разделу									3112,10				
Итого по разделу с учетом индекса на 2 квартал 2020 (Прочие объекты 8,42)									26203,8995				
НДС 20%									5240,7799				
ВСЕГО ПО СМЕТЕ:									31444,6794				

Таблица Г.2 – Усиление балки наращиванием снизу

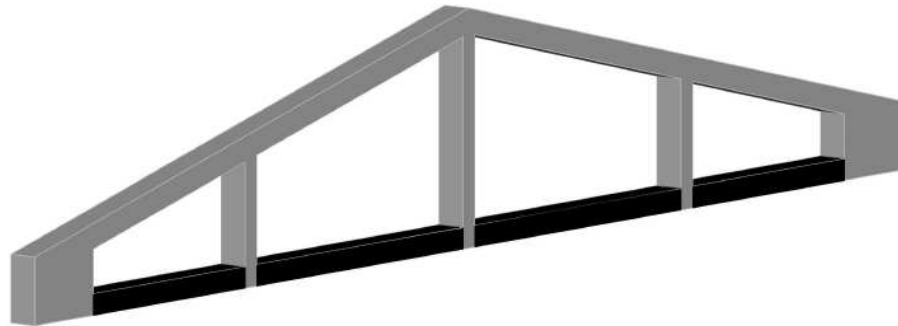
№	Шифр и номер позиции норматива	Вид работы	количество	Стоимость единицы					Общая стоимость				
				Всего ПЗ	ОЗП	ЭММ	в т ч ЗПМ	МАТ	Всего ПЗ	ОЗП	ЭММ	в т ч ЗПМ	МАТ
Усиление балки наращиванием снизу													
1	ФЕР 46-05-008-02	Установка, снятие временных опорных стоек для обеспечения устойчивости: подкрановых балок, 1 т	0,12	784,63	391,42	209,53	0,00	183,68	94,16	46,97	25,14	0,00	22,04
	<i>прайс</i>	<i>Конструкции стальные, т</i>						1,00					
	<i>прайс</i>	<i>Конструкции стальные, т</i>	0,12	6512,27				6512,27	781,47				781,47
2	ФЕР 46-01-002-01	Усиление существующих железобетонных балок монолитными железобетонными обоями набрызгом, м3	0,24	8422,01	774,30	2789,79	291,27	4857,27	2021,28	185,83	669,55	69,90	1165,74
	<i>Н. 204 -0025</i>	<i>Арматура</i>						2,47					
	<i>401-0012</i>	<i>Бетон, м3</i>						1,00					
3	<i>Н. 204 -0025</i>	<i>Арматура, т</i>	0,06	7917,00				7917,00	469,32				469,32
4	<i>401-0012</i>	<i>Бетон, м3</i>	0,24	963,73				963,73	231,30				231,30
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах									3597,53	232,80	694,69	69,90	2669,87
Накладные расходы (110% от ФОТ)									332,9779				
Сметная прибыль (90 % от ФОТ)									272,4365				
Итого по разделу									4202,94				
Итого по разделу с учетом индекса на 2 квартал 2020 (Прочие объекты 8,42)									35388,76				
НДС 20%									7077,751				
ВСЕГО ПО СМЕТЕ:									42466,51				

Таблица Г.3 – Усиление балки созданием упругой опоры

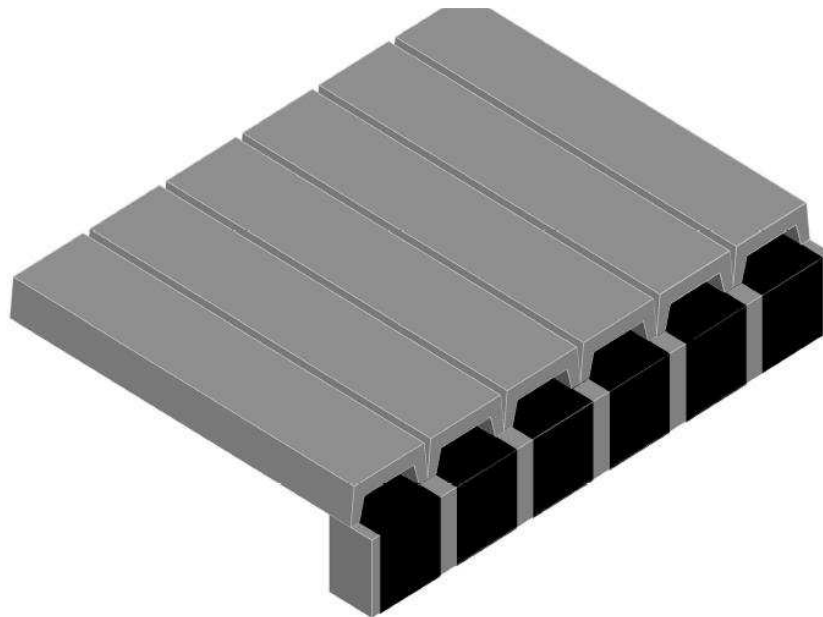
№	Шифр и номер позиции норматива	Вид работы	количество	Стоимость единицы					Общая стоимость				
				Всего ПЗ	ОЗП	ЭММ	в т ч ЗПМ	МАТ	Всего ПЗ	ОЗП	ЭММ	в т ч ЗПМ	МАТ
Усиление балки упругой опорой													
1	ФЕР 08-07-002-01	Установка и разборка внутренних трубчатых инвентарных лесов: при высоте помещений до 6 м, 100 м2	0,26	1001,69	606,53	15,69	0,00	379,47	258,44	156,48	4,05	0,00	97,90
2	ФЕР 09-03-002-12	Монтаж балок, ригелей перекрытия, покрытия и под установку оборудования многоэтажных зданий при высоте здания: до 25 м, 1 т	0,44	767,58	186,33	474,90	39,22	106,35	336,20	81,61	208,01	17,18	46,58
	<i>прайс</i>	<i>Конструкции стальные, т</i>						1,00					
3	<i>прайс</i>	<i>Конструкции стальные, т</i>	0,44	7947,32				7947,32	3480,93				3480,93
4	ФЕР 13-03-002-04	Огрунтовка металлических поверхностей за один раз: грунтовкой ГФ-021, 100м2	0,65	268,70	56,55	9,43	0,10	202,72	174,12	36,64	6,11	0,06	131,36
5	ФЕР 09-05-002-04	Электродуговая сварка при монтаже одноэтажных производственных зданий: покрытий (фермы, балки), 10 т	0,04	2467,44	803,64	771,63	0,00	892,17	108,07	35,20	33,80	0,00	39,08
Итого прямые затраты по разделу в базисных ценах									4357,75	309,94	251,96	17,24	3795,85
Накладные расходы (110% от ФОТ)									359,9027				
Сметная прибыль (90 % от ФОТ)									294,4658				
Итого по разделу									5012,12				
Итого по разделу с учетом индекса на 2 квартал 2020 (Прочие объекты 8,42)									42202,07				
НДС 20%									8440,414				
ВСЕГО ПО СМЕТЕ:									50642,49				

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ ОБЕРТЫВАНИЕ



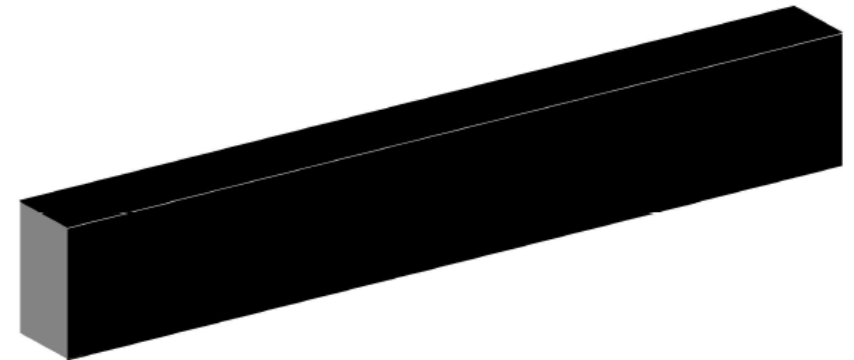
Усиление нижнего пояса фермы



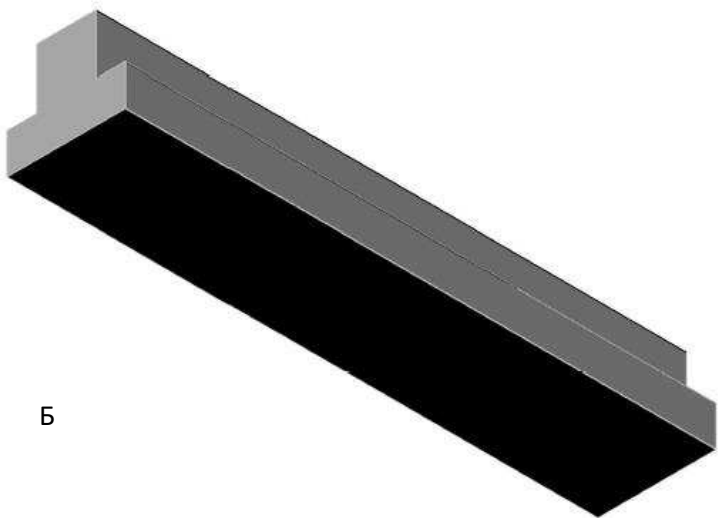
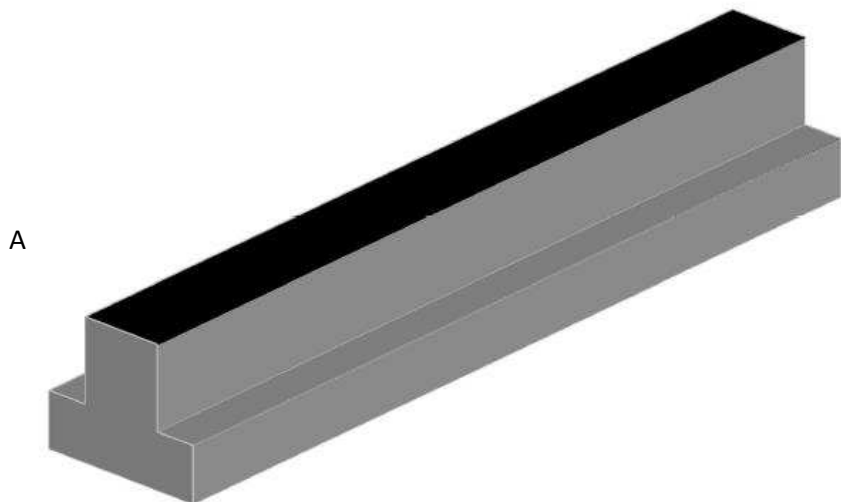
Усиление балки при опирании ребристых плит

Применение схемы обертывание возможно при усилении самостоятельных прямоугольных балок, ригелей, а также ферм. Так же возможно применение данного усиления в случае замены плит покрытий.

При данной схеме армирования углеродная сетка охватывает усиливаемый элемент со всех граней. После затвердевания эпоксидного состава, увеличивается надежность связи, и сетка начинает работать с конструкцией как единое целое

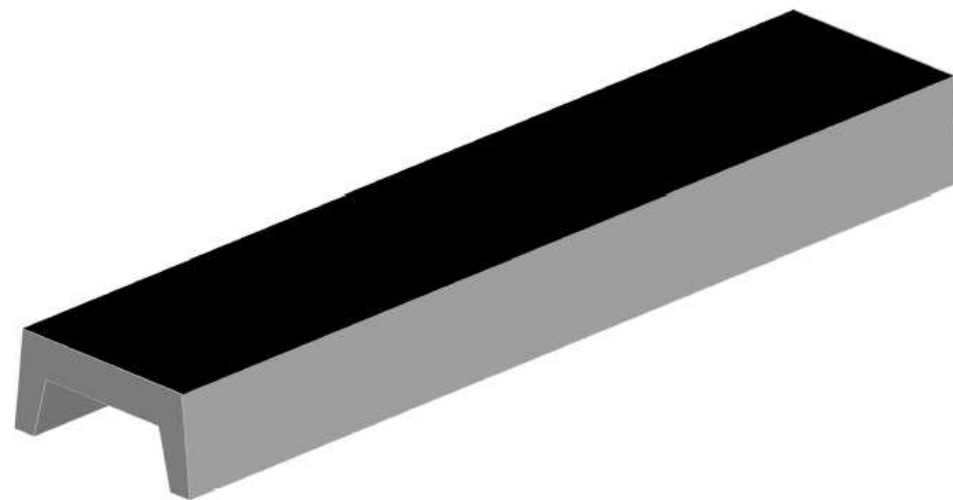


Усиление балки



Усиление балки таврового сечения

А- вид сверху; Б-вид снизу



Усиление плиты покрытия

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ ПРИКЛЕЙКА СЕТКИ СВЕРХУ И СНИЗУ


Усиление сверху и снизу возможно применять для любых железобетонных конструкций (как монолитных, так и сборных).

Усиление верхних полок сборных балок покрытий выполняется в случае замены плит покрытий

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

Назиров Р.А.
Ф.И.О

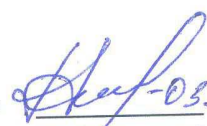
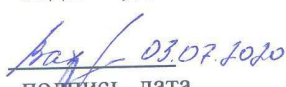
«__» _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Проектные решения при реконструкции и реставрации с использованием
углеродных волокон
тема

08.04.01 «Строительство»
код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	 подпись, дата	<u>доцент, к.ф.-м.н.</u> должность, ученая степень	<u>Г.Е. Нагибин</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>Е. А. Вахрушева</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	<u>и т и</u> должность, ученая степень	<u>В.И. Плыунов</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2020