

КЫРГЫСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА,
ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ им. Н ИСАНОВА

КЫРГЫСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕСИТЕТ
им. Б.Н.ЕЛЬЦИНА

Диссертационный совет Д05.12.006

На правах рукописи
УДК 624.01.17

Куралов Улан Сабитбекович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫМИ
ФИБРОАРМИРОВАННЫМИ СЕТКАМИ, ПРИ
СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Бишкек - 2018

Работа выполнена в Казахском научно-исследовательском и проектно-институте строительства и архитектуры Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
А.А. Беспаяев (г. Алматы)

Официальные оппоненты: _____

Ведущая организация: _____

Защита состоитсяна заседании диссертационного совета Д05.12.006 при Кыргызско-Российском славянском университете им. Б.Н.Ельцина и Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова по адресу: г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова.

Автореферат разослан « » 20 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

Н.Ж.Маданбеков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Здания и сооружения в процессе эксплуатации нередко меняют свое назначение, подвергаются реконструкции и реновации, в них повышаются требования по надежности и комфорту, они повреждаются и испытывают физический износ. В этих условиях все большее значение приобретает необходимость усиления несущих строительных конструкций. Особое место отводится усилению и восстановлению зданий и сооружений в сейсмических районах строительства, в зонах стихийных бедствий, после аварий и террористических актов.

Большая часть несущих конструкций зданий и сооружений современности изготавливается из бетона и железобетона, поэтому проблемы развития методов усиления железобетонных конструкций приобретают повышенную актуальность. Традиционные методы усиления железобетонных конструкций весьма трудоемки, требуют вскрышных, сварных и бетонных работ, нуждаются в значительном времени для обеспечения требуемой прочности. Новые, современные методы усиления железобетонных конструкций ориентированы на применение для усиления композитных фибропластиковых материалов, которые отличаются высокой прочностью, коррозионной стойкостью и долговечностью, малым весом.

Альтернативой традиционного усиления железобетонных конструкций стальной арматурой является поверхностное усиление железобетонных конструкций композиционными фиброармированными пластиками, наклеиваемыми непосредственно на бетонную поверхность. Оно отличается низкой трудоемкостью и простотой выполнения, повышенной прочностью, коррозионной стойкостью и универсальностью, не требует вскрытия защитного слоя бетона, сварочных работ, неизбежно вызывающих повреждения рабочей арматуры, и сложного трудоемкого обетонирования элементов.

Значительная часть усиливаемых железобетонных конструкций нуждается в повышении прочности при сжатии.

В разрабатываемой редакции Европейских норм (Eurocode 2: Design of concrete structures) планируется введение раздела по проектированию усиления железобетонных конструкций фиброармированными пластиками.

Поэтому проведение исследований по выбранной теме весьма актуально и необходимо для строительной отрасли Казахстана и Средней Азии.

Цель и задачи исследования

Целью исследований является изучение напряженного состояния и прочности сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоями из фиброармированных пластиков.

Диссертация посвящена решению следующих задач:

- получение сведений о физико-механических характеристиках новых типов фиброармированных материалов;
- исследование прочности и деформаций сжатых цилиндрических железобетонных элементов, усиленных обоймами из композитных материалов;
- изучение прочности и деформаций сжатых призматических железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков;
- оценка несущей способности внецентренно сжатых призматических железобетонных элементов, усиленных обоймами их фиброармированных пластиков;
- исследование влияния повторных динамических нагрузок на прочность и деформативность железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков;
- оценка эффективности усиления обоймами из фиброармированных пластиков сжатых железобетонных конструкций.

Научная новизна полученных результатов

Осуществлено дальнейшее развитие методов расчета и конструирования, влияния формы и размеров сечения, возраста бетона и количестве сеток усиления на напряженно-деформированное состояние, прочность и деформации железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков различных типов, на всех этапах роста продольной сжимающей силы вплоть до разрушения.

Получены новые экспериментальные данные по напряженному состоянию, несущей способности и деформативности внецентренно сжатых железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков.

Повышенную новизну представляют результаты экспериментальных исследований работы железобетонных конструкций, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков, при динамическом действии повторных сжимающих нагрузок.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- зависимости продольных и поперечных деформаций в бетоне, усиленном обоймой из фиброармированных пластиков, от уровня внешних сжимающих усилий;
- картину образования и развития микротрещин в сжимаемом бетоне, усиленном обоймами из фиброармированных пластиков;
- схемы разрушения сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков, при которых происходит разрыв сеток усиления или разрыв стыков сопряжения сеток;
- зависимости продольных и поперечных сжимающих напряжений в бетоне, усиленном обоймами из фиброармированных пластиков, от уровня внешних сжимающих усилий;

– сведения о влиянии формы и размеров сечения усиливаемого элемента, количестве слоев фибропластиковых пластиков различных типов в обойме, а также возрасте бетона на несущую способность при осевом сжатии железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков;

– эпюры объемных сжимающих напряжений в бетоне и предельные деформации бетона и волокон фиброармированных пластиков при внецентренном сжатии железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков;

– картину накопления повреждений в сжатых железобетонных конструкциях, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков, при действии динамических повторных нагрузках;

– зависимости прочности сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков, от количества повторных нагружений и амплитуды динамической нагрузки;

– методы расчета количества фибропластиковой арматуры, необходимого для требуемого повышения прочности сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков.

Практическая значимость полученных результатов

Получены сопоставительные данные по применению новых типов фиброармированных пластиков для усиления сжатых железобетонных конструкций.

Даны предложения по предельной величине деформаций фиброармированных пластиков, учитываемой в расчетах прочности железобетонных элементов, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков при различных типах нагрузок.

Разработаны практические рекомендации, позволяют проектировать усиление сжатых железобетонных конструкций обоймами из фиброармированных пластиков, применяемых в обычных и сейсмических районах.

Экономическая значимость полученных результатов

Технико-экономическая эффективность полученных результатов, наряду со стоимостью пластиковых материалов и клея, определяется сокращением трудоемкости выполнения работ и быстроте получения требуемого увеличения прочности, а также повышением коррозионной стойкости и долговечности конструкций, что содействует повышению технического уровня строительства.

Личный вклад автора

Выполнен обзор работ по опыту применения и изучению работы сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков, дан аналитический анализ ранее выполненных работ.

Проведены экспериментальные исследования работы железобетонных элементов различной формы и размеров сечения из бетона различного возраста, усиленных обоймами их различных типов фиброармированных

пластиков, при осевом и внецентренном сжатии, а также динамическом характере нагружения.

Выполнена камеральная обработка опытных данных и расчетно-теоретический анализ результатов исследований.

Разработана методика расчета прочности сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоями из фиброармированных пластиков, применяемых в обычных и сейсмических районах.

Апробация результатов исследования

Результаты исследований доложены и обсуждены на ряде международных и республиканских конференциях и совещаниях, в том числе на:

– на IV международной научно-практической конференции «Строительство в сейсмических районах» 16-19 октября 2012 года. КазНИИСА, Алматы, 2012 г.;

– Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве» 19-23 декабря 2013 года. КазГАСА, Алматы, 2013 г.;

– Юбилейной всеукраинская конференция «Строительство в сейсмических районах Украины». 14-18 сентября 2015 года. Одесса;

– II международной конференции молодых ученых "Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства" Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА 26-29 мая 2015 г. Армения, Ереван 2015 г.;

– Международной научно-практической конференции «Современная строительная наука, состояние и перспективы развития» 28 октября 2016 г. Алматы, 2016 г.

Основные результаты научных исследований опубликованы в различных научных изданиях, в том числе и вошедших, а Перечень рецензируемых научных изданий, утверждаемых президиумом ВАК Кыргызской Республики и строго соответствуют теме диссертации.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, рекомендаций и приложений, изложенных на 113 страницах текста, 115 рисунках, 24 таблиц и списка из 83 библиографических использованных источников.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обосновывается актуальность выбранного направления исследований, формулируются цели работы, излагается методика проведения исследований и научная значимость.

В первом разделе «Состояние вопроса».

Рассмотрены предшествующие данной работе экспериментальные и теоретические исследования различных авторов, показано современное состояние вопроса технологии изготовления и изучения железобетонных

конструкций, усиленных фибрармированными пластиками строительных конструкций.

Большой вклад в развитие из зарубежных исследователей внесли В. Беркли, А.А Шилин, С.А. Бокарев, А.В. Грановский.

Активное изучение, производство и применение полимерных композитных материалов на основе различных волокон (углеродных, арамидных, стеклянных и др.) в строительстве началось в середине XX века. В 80-х годах в Японии впервые композитные материалы использовали для усиления колонн путем создания охватывающей обоймы.

Основными преимуществами данного метода усиления являлись меньшая трудоемкость, удобство выполнения, малый собственный вес, низкая стоимость производства работ.

Первые экспериментальные исследования несущей способности железобетонных элементов, усиленных с помощью композиционных материалов, были начаты в дальнем зарубежье. Испытанию подвергались железобетонные конструкции, усиленные композиционными материалами на основании стеклянных, арамидных, углеродных и других волокон. Впоследствии было установлено высокая эффективность усиления конструкций композитными материалами на основе углеродных волокон.

Базовой работой по изучению напряженного состояния бетона в обойме является работа американских ученых в Иллинойском университете. Это исследование посвящено изучению работы бетона при трехосном сжатии. По результатам исследований предложена зависимость прочности усиленного бетона от прочности исходного бетона, величине радиального напряжения в обойме и угла внутреннего трения.

В последние годы в Казахстане (АО КазНИИСА) проводятся значительные экспериментальные исследования работы железобетонных конструкций, усиливаемых различными типами композиционных материалов в которых изучались:

- прочность и деформативность сжатых и внецентренно сжатых железобетонных конструкций, усиленных бандажами из нескольких слоев оборачивающих листов (тканей) с направлением фиброволокон перпендикулярно продольной оси усиливаемого элемента;

- работа нормальных сечений изгибаемых балочных железобетонных конструкций, усиленных наклейкой ламелей или ламината на растянутую поверхность с направлением фиброволокон вдоль усиливаемой конструкции;

- прочность по поперечной силе наклонных сечений изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных наклейкой в приопорной зоне усиливаемой конструкции вертикальных или наклонных сеток;

- влияние динамических повторных нагрузок на работу сжатых и изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных фиброармированными пластиками.

Последнее десятилетие началось активное расширение выпуска балок, ламинированных пластин, оболочек и сэндвич-структур из композита с фиброармированными волокнами.

Рабочая группа CEN/TC250 (WG4) опубликовала ОТЧЕТ, который содержит предварительные положения Руководства по проектированию композитных структур из FRP (материалов, армированных фиброволокном и пластиком).

Наиболее распространенным методом усиления железобетонных конструкций фиброармированными пластиками является применение поверхностного усиления железобетонных конструкций, для которого используется грунтовка бетонных поверхностей, шпаклевочные составы, адгезивы, одно или двусторонне направленные листовые ткани или ламинат.

Система поверхностного усиления включает в себя грунтовки бетонных поверхностей, шпаклевочные составы, адгезивы, одно или двусторонне направленные ткани или ламели (ламинат). Для усиления растянутой зоны и прочности на действие поперечных сил применяются изготовленные в заводских условиях пластины ФАП (ламели или ламинат), а для усиления сжатого бетона используются оборачивающие листовые покрытия. Ламели или ламинат, в основном, имеют одно направленные волокна, но волокна могут быть и двусторонне направленными. Усиление изгибаемых балочных конструкций осуществляется наклейкой на растянутую грань ламелей или ламината с направлением волокон вдоль усиливаемой конструкции, вертикальных или наклонных хомутов в приопорной зоне с направлением волокон перпендикулярно продольной оси. Усиление плитных конструкций осуществляется наклейкой на растянутую поверхность накладок ФАП с направлением волокон вдоль оси конструкции и поверх них – поперечных накладок с направлением волокон перпендикулярно продольных накладок. Листовые покрытия могут плетеными (одно направленными) или ткаными (двусторонне - направленными). Усиление сжатых конструкций осуществляется путем устройства вокруг сечения элементов бандажей с направлением волокон ФАП перпендикулярно оси усиливаемой конструкции.

Наклейка высокопрочных полимерволоконистых лент (ламината) с однонаправленными фиброволокнами может существенно увеличить прочность растянутой зоны, уменьшить ширину раскрытия нормальных трещин нормальных сечений железобетонных конструкций. Кроме того, наклейка высокопрочных полимерволоконистых сеток или лент (ламината) может существенно увеличить прочность по поперечной силе, уменьшить ширину раскрытия наклонных трещин, либо существенно увеличить несущую способность железобетонных плит, опертых по контуру.

Оборачивание железобетонных конструкций полимерволоконистыми тканями может повысить прочность сжатых элементов в несколько раз за счет ограничения поперечных расширений бетона и создания этим трехосного сжатия бетона.

Во втором разделе описаны опытные образцы и методика экспериментальных исследований работы сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоями из карбонатных однонаправленных фиброармированных сеток, при статических и динамических нагрузках.

Изучение работы сжатых элементов, усиленных с помощью фиброармированных пластиков, производилось на образцах бетонных цилиндров и призм различных размеров, различающихся формой и размером сечений, возрастом бетона, количеством слоев сеток усиления, а также характером приложения сжимающей нагрузки.

Опытные образцы в каждой партии включали образцы-близнецы без усиления и с усилением при помощи пластиков с однонаправленными карбоновыми фиброволокнами.

Они включали следующие типы:

- образцы бетонных цилиндров размерами 100x200 мм, 150x300 мм и 200x400 мм (dxh) без усиления, а также усиленные обертыванием в один, два и три слоя материалом серии FibArm Tape 530/300 или MBRACE FIB CF 230/4900.530g/5.100m;

- образцы бетонных призм размеров 100x100x400 мм, 150x150x600 мм и 200x200x800 мм (axbхh) мм без усиления, а также усиленные обертыванием в один, два и три слоя материалом серии MBRACE S&P C Sheet 240.

Изучение работы сжатых элементов круглого сечения производилось на двух партиях бетонных цилиндров и одной партии бетонных призм, которые изготавливались из одной партии бетона.

Первая партия образцов цилиндров состояла из трех серий бетонных цилиндров следующих размеров: диаметром 100 мм и длиной 200 мм (серия K10), диаметром 150 мм и длиной 300 мм (серия K15), диаметром 200 мм и длиной 400 мм (серия K20). Вторая партия образцов цилиндров (серия KII) состояла из цилиндров диаметром 150 мм, длиной 300 мм.

Образцы бетонных призм включали две партии бетонных призм размерами 100x100x400 мм (46 образцов) и одну партию призм размерами 200x200x800 мм (21 образец).

Часть образцов испытана при осевом действии квазистатического сжатия на гидравлических прессах ИПС-200 и ALPHA 3-3000S. Для этого образцы подвергались действию осевого сжатия с поэтапным увеличением величины продольной сжимающей силы со скоростью 0,3 МПа/сек., вплоть до разрушения образца. Величина этапа увеличения нагрузки не превышала 5÷8 % от разрушающей нагрузки. В процессе статического нагружения замерялись продольные и поперечные деформации опытных образцов с помощью тензодатчиков с базой 50 мм, наклеенных на все боковые грани образцов, и

автоматического измерителя деформаций АИД-4М.

Влияние динамических повторных нагружений изучалось по результатам динамических испытаний опытных образцов цилиндров при положительном коэффициенте асимметрии изменения усилий ($\rho = 0,0 \div 0,1$) и частоте нагружения 1,0-1,5 герца. Динамическая нагрузка создавалась с помощью гидравлического домкрата и гидродинамической машины МВГ-1, создавая несколько сот циклов нагружения. Часть образцов после приложения заданного количества повторных нагружений разрушались при статическом действии сжатия, а часть образцов подвергалась повторным нагружениям до разрушения образцов.

В процессе динамических испытаний замерялись продольные и поперечные деформации бетона, а также величина сжимающего усилия. Регистрация динамических параметров производилась непрерывно с помощью специального регистрационного комплекса РСМ-8 на компьютере с шагом цифровки 0,008 сек и регистрационного комплекса ПРИС-1000 на компьютере с шагом цифровки 0,006 сек.

В третьем разделе представлены результаты экспериментальных исследований.

Статические испытания бетонных цилиндров и кубов производились при осевом действии квази-статического сжатия на гидравлических прессах ИПС-200 и ALPHA 3-3000S. Образцы подвергались действию осевого сжатия с поэтапным увеличением величины продольной сжимающей силы со скоростью 0,3 МПа/сек., вплоть до разрушения образца.

Первая партия цилиндрических состояла из трех серий образцов (К10, К15 и К20), которые усиливались однонаправленными сетками FibArm Таре 530/300. В процессе увеличения продольной сжимающей силы наблюдалось ускоренное развитие поперечных деформаций бетона, а перед разрушением появился треск от разрыва отдельных волокон фиброармированных пластиков и происходил разрыв сеток обоймы, сопровождавшийся раздроблением бетона и резким звуком (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Вид разрушенных образцов серии К-15 без усиления, с усилением 1-им, 2-мя и 3-мя слоями сеток обоймы

Результаты испытания цилиндрических образцов серии К10 сечением 100x200 (dxh) мм показывают, что усиление образцов путем обвертывания (обклеивания) материалом серии FibArm Tape 530/300 привело к существенному повышению прочности сжатых образцов, продольных и поперечных деформаций. В таблице 1 и на рисунке 2 приведены данные по увеличению прочности образцов при различном количестве слоев сеток усиления по сравнению с не усиленными образцами, а также увеличению их предельной величины продольных и поперечных деформаций.

Таблица 1- Соотношение прочности, продольных и поперечных деформаций для цилиндрических образцов первой партии

Серия	Количество слоев сеток усиления	N_y/N_0	$\varepsilon_{пр.у}/ \varepsilon_{пр.0}$	$E_{пр.у}/ E_{пр.0}$
К-10	один слой сетки	3,0	3,24	13,2
	два слоя сеток	3,24	1,82	4,6
	три слоя сеток	5,53	2,1	15,6
К-15	один слой сетки	2,62	2,26	6,9
	два слоя сеток	3,75	3,53	9,56
	три слоя сеток	5,22	3,74	10,3
К-20	один слой сетки	1,79	3,23	11,0
	два слоя сеток	3,12	4,4	20
	три слоя сеток	3,5	4,0	12,8

В целом, повышение прочности усиленных образцов при усилении одним слоем сеток составляло 1,79-3 раза, двумя слоями – в 3,12-3,75 раз и тремя слоями – в 3,5-5,53 раза. Это свидетельствует о том, что с увеличением размеров поперечного сечения эффект повышения прочности снижается и он зависит от процента армирования сечения полимерными сетками.

Анализ деформативности образцов свидетельствует о том, что усиление сжатых бетонных образцов фиброармированными обоймами приводит к существенному повышению продольных и поперечных деформаций бетона. Так предельные продольные деформации бетона по сравнению с деформациями образцов без усиления обоймами увеличились в 1,82-4,4 раза, а поперечные деформации увеличились в 4,6-20 раз. При этом предельные поперечные деформации по величине приближаются к продольным деформациям. На рисунках 3-4 представлены диаграммы продольных и поперечных деформаций бетона для цилиндрических образцов серии К-15.

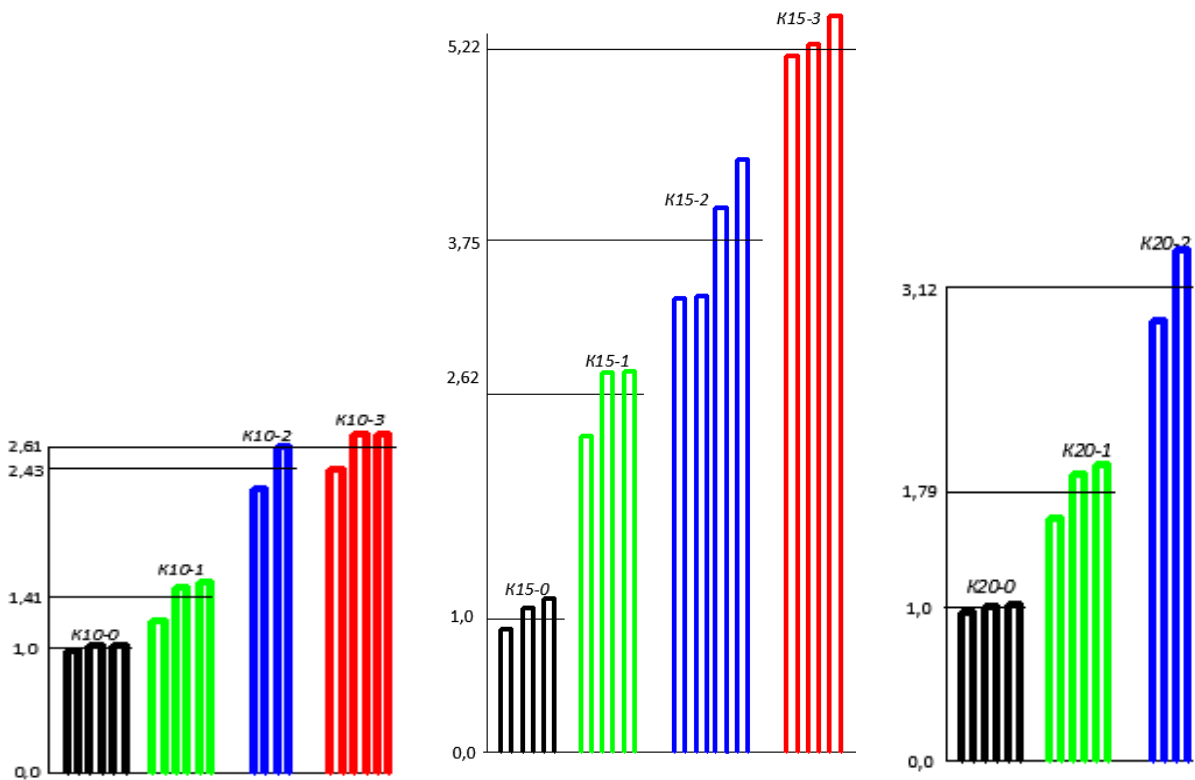


Рисунок 2- Соотношение прочности образцов первой партии цилиндров различных размеров

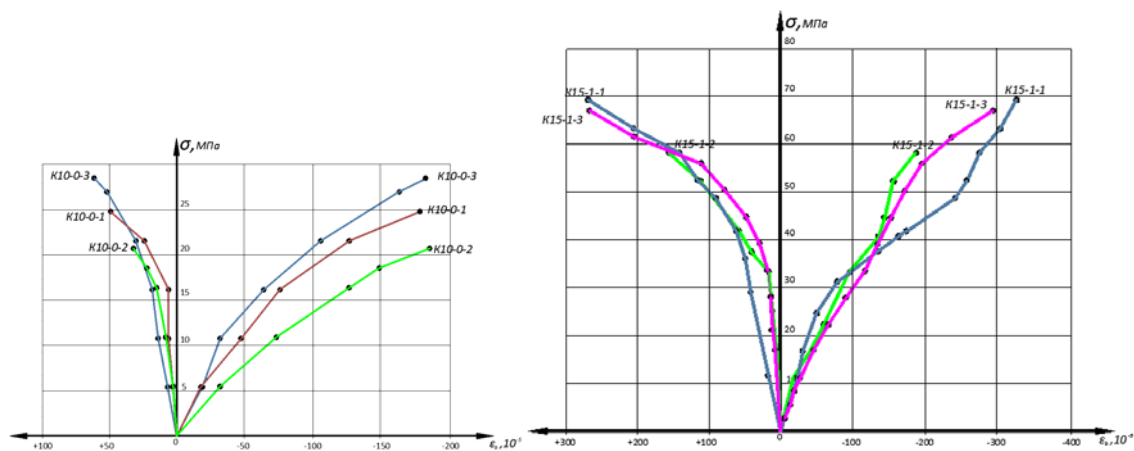


Рисунок 3- Диаграммы продольных и поперечных деформаций образцов серии К-15 без усиления и усиленного 1-им слоем сетки

Анализ диаграмм деформаций бетона позволяет выявить различия в росте продольных и поперечных деформаций. Поперечные деформации бетона ускоренно вплоть до разрушения образца, а продольные деформации после достижения определенной величины перестают увеличиваться, а перед разрушением даже уменьшаются. Это связано с тем, поперечные сжимающие напряжения в бетоне, вызываемые обжатием обоймой, догоняют по величине продольные сжимающие напряжения, вызываемые действием внешней

продольной силой, и даже превышают продольные сжимающие напряжения, вызванные действием внешней продольной силы.

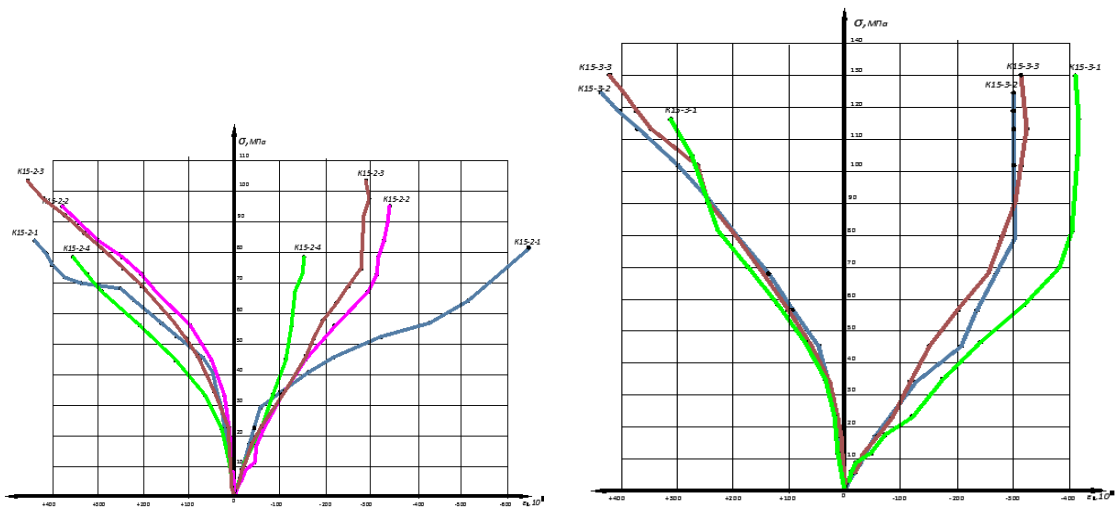


Рисунок 4- Диаграммы продольных и поперечных деформаций образцов серии К-15, усиленных 2-мя и 3-мя слоями сетки

Начало образования микротрещин в бетоне в образцах, усиленных сетками ФАП, начинается после превышения прочности не усиленного бетона, затем начинается ускоренное увеличение объема бетона, при величине напряжений в усиленном бетоне около 70-80% от разрушающих напряжений объем бетона близок к первоначальному объему (объему бетона до нагружения продольной силой), а перед исчерпанием прочности усиленных сетками ФАП образцов увеличение объема бетона может достигать 0,55-0,65 %. На рисунке 5 представлены графики изменения объема образцов в процессе увеличения внешней продольной силы.

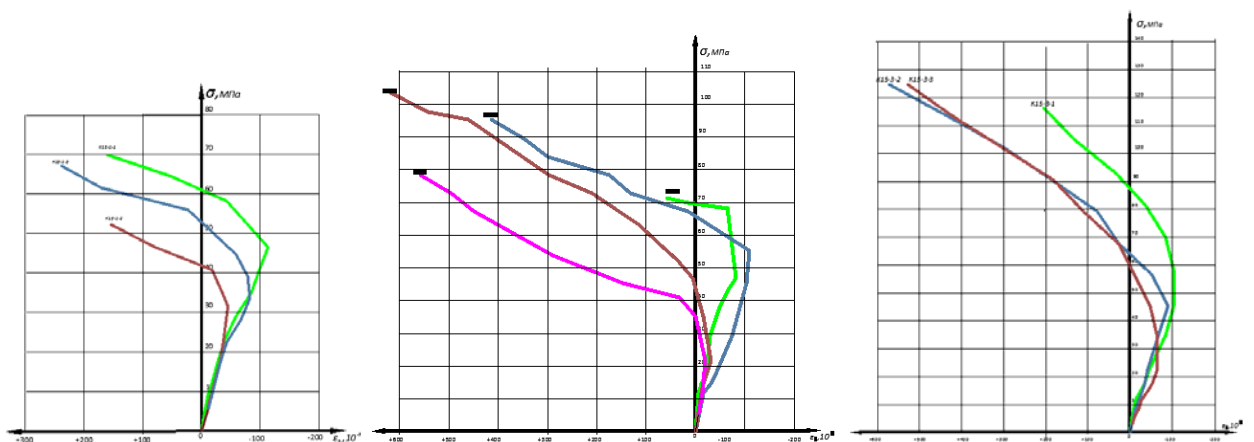


Рисунок 5- Диаграммы изменения объема образцов серии К-15, усиленных обоймами из 1-ой, 2-х и 3-х слоев сетки

Вторая партия образцов состояла из цилиндров (серия КII) диаметром 150 мм и длиной 300 мм, которые усиливались обоймами из сеток MBRACE FIB CF

230/4900.530g/5.100m в 1, 2 или 3 слоя, также испытывались при статическом действии продольной сжимающей силы, создаваемой гидравлическим прессом ALPHA 3-3000S.

В целом, результаты испытания бетонных цилиндров серии К-II согласуются с результатами испытаний бетонных цилиндров серии К-15.

Влияние динамических повторных усилий изучалось на образцах бетонных цилиндров серии К-15 при осевом сжатии, создаваемом с помощью гидравлической машины МВГ-1 при положительном коэффициенте асимметрии изменения усилий ($\rho = 0,0 \div 0,10$), частоте нагружения 1,0-1,5 герца и величине сжимающих напряжений, обеспечивающем нагружение опытных образцов за 100÷300 циклов (рисунок 6). Опытные образцы цилиндров имели поперечное сечение 150x300 мм (dxh) и были усилены бандажами из одного слоя сетки MBRACE FIB CF 230/4900.530g/5.100m.

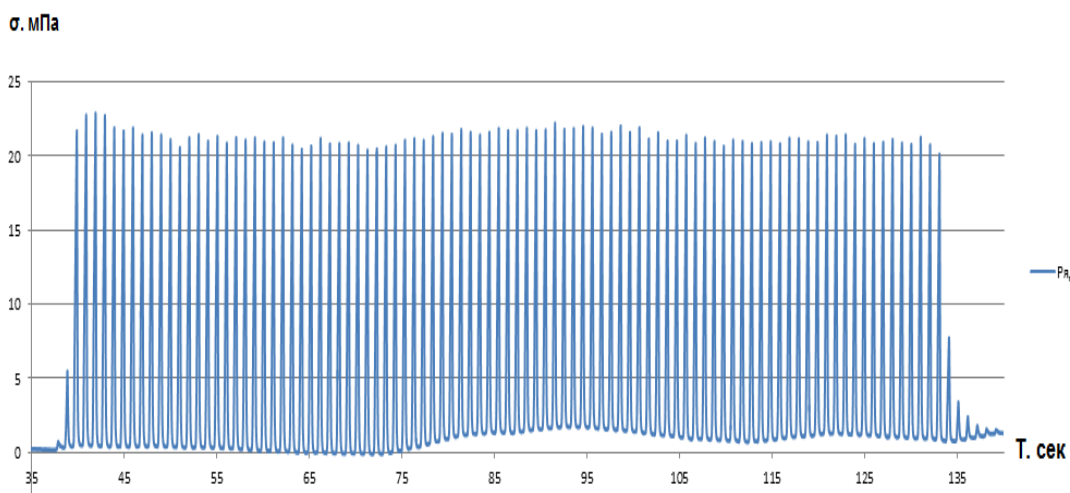


Рисунок 6 – Динамическая повторная нагрузка на образец К-II-1д

Повторные динамические воздействия на образцы серии К-II-1д привели к снижению деформативности образцов, а также уменьшению прочности. Прочность образцов после динамических воздействий уменьшилась на 7-17%. В процессе повторных нагружений продольные деформации возросли на 8-15%, а поперечные деформаций - до 20%.

Четвертая глава посвящена изучению работы бетонных образцов прямоугольного сечения, усиленных бандажами из фиброармированных пластиков, производилось бетонных призмах сечением 100x100-400 мм, 150x150x600 мм и 200x200x800 мм (axbxh), усиленных обоймами из сеток MBRACE S&P C Sheet 240.

Усиление образцов путем обвертывания (оклеивания) материалом серии S&P C Sheet 240 привело к существенному повышению прочности бетона при осевом сжатии, имеющего возраст около 15 лет (Рисунок 7). Так, однослойные сетки увеличили прочность бетона в среднем на 34%, двухслойные привели –

на 815, а трехслойные сетки –на 95%. В тоже время, эффект усиления существенно зависит от качества наклейки сетки, чем плотнее они прилегают к бетону, тем выше их эффективность.

Усиление бетонных образцов из бетона в возрасте нескольких месяцев привело к большему повышению прочности бетона, чем бетона в возрасте 15 лет. Так, однослойные сетки увеличили прочность бетона на 38%, двухслойные и трехслойные сетки - на 130-135%.

Усиление образцов одним слоем сетки привело к увеличению предельной сжимаемости «молодого» бетона первой партии – 81%, а второй партии «старого бетона»- на 28,7% и увеличению поперечных деформаций, соответственно в 7 раз и на 43%. В образцах, усиленных двумя слоями сеток, продольные деформации бетона увеличились, соответственно, в 2 и 2,85 раза, а поперечные деформации увеличились, соответственно, в 12,1 и 10,8 раз. В образцах, усиленных тремя слоями сеток, продольные деформации «молодого» и «старого» бетона увеличились, соответственно, в 1,81 и 2,85 раза, а поперечные деформации увеличились, соответственно, в 7,64 и 10,8 раз.



Рисунок 7. Разрушение усиленного сетками образца при внецентренном сжатии

При испытании призм на внецентренное сжатие коэффициент повышения прочности усиленных образцов близок к коэффициенту упрочнения образцов-близнецов, испытанных при осевом сжатии. При этом, внецентренное

приложение нагрузки привело к снижению прочности образцов в среднем на 30%. Прочность внецентренно сжатых призм при приложении продольной силы на грани ядра сечения образцов без усиления составляет около 70% от прочности образцов-близнецов при осевом сжатии. Это говорит о том, эпюра сжимающих напряжений по высоте сечения отличается от треугольной, приближаясь к параболической. Деформации наиболее сжатой грани образцов без усиления при внецентренном сжатии больше деформаций образцов-близнецов при осевом сжатии почти на 50%, а для усиленных образцов это различие меньше и при трехслойном усилении сетками образцов различие в величине наибольших деформаций практически исчезает.

Обоймы из карбоновых фиброволокон (ФАП) привели к увеличению предельных деформаций бетона. Усиление образцов одним слоем сетки привело к увеличению предельной сжимаемости «молодого» бетона первой партии – 81%, а второй партии «старого бетона»- на 28,7% и увеличению поперечных деформаций, соответственно в 7 раз и на 43%. В образцах, усиленных двумя слоями сеток, продольные деформации бетона увеличились, соответственно, в 2 и 2,85 раза, а поперечные деформации увеличились, соответственно, в 12,1 и 10,8 раз. В образцах, усиленных тремя слоями сеток, продольные деформации «молодого» и «старого» бетона увеличились, соответственно, в 1,81 и 2,85 раза, а поперечные деформации увеличились, соответственно, в 7,64 и 10,8 раз.

Динамические испытания бетонных призм, усиленных одним, двумя и тремя слоями сеток, показали, что повышение прочности образцов в среднем составляет, соответственно, 43%, 55% и 75%; предельные продольные деформаций бетона увеличились на 37%, 38% и 55%; а поперечные деформации - на 27%, 54% и 86%.

5 глава - Рекомендации по усилению сжатых железобетонных конструкций обоймами из фиброармированных пластиков

Содержат положения по расчету железобетонных конструкции, усиленных обоймами из фиброармированных пластиков, по предельным состояниям первой группы (по прочности) и по предельным состояниям второй группы (по пригодности к нормальной эксплуатации).

Расчет конструкций, усиленных ФАП, по первой группе предельных состояний выполняется на основе условий равновесия усилий в предельном состоянии и производится во всех случаях. Расчет по второй группе предельных состояний производится только в тех случаях, когда расчетная нагрузка после усиления увеличивается.

ВЫВОДЫ

1. Выполнены экспериментальные исследования прочности сжатых железобетонных конструкций, усиленных поверхностным наклеиванием обойм из новых типов карбоновых фибропластиковых сеток, применяемых в Казахстане.

2. Усиление сжатых железобетонных элементов обоймами из фиброармированных пластиков, вызывает трехосное сжатие в бетоне, при котором прочность элементов может увеличиться в несколько раз.

3. В исследованиях реализовано две схемы разрушения сжатых бетонных образцов, усиленных обоймами их карбоновых фиброволокон:

- разрыв фиброармированных сеток усиления и хрупкое раздавливание бетона;

- разрыв стыков сопряжения сеток, связанный с недостаточностью величины перехлеста сеток, после чего происходит разрушение бетона.

4. Образование микротрещин в сжатых бетонных элементах, усиленных обоймами ФАП, наблюдается после достижения в бетоне сжимающих напряжений, соответствующих начальной прочности бетона до нагружения. С дальнейшим ростом продольной сжимающей силы происходит ускоряющееся увеличение объема бетона и перед разрушением увеличение объема бетона достигает 0,8-1,1%.

5. Разрушение бетонных образцов, усиленных карбоновыми фиброволокнами (ФАП), при осевом сжатии происходит постепенно. Сначала появляется треск, вызванный разрывом отдельных фиброволокон, с увеличением нагрузки треск увеличивается и затем происходит хрупкое раздавливание бетона в зоне разрыва сетки, сопровождающееся резким звуком. Чем больше слоев сеток усиления, тем относительный уровень напряжений в бетоне, при которых начинается процесс разрыва волокон сеток, уменьшается.

6. Наклеивание обойм из однонаправленных вертикальных сеток привело к повышению прочности сжатых элементов круглого сечения в 2,0-5,5 раза, а квадратного сечения - в 1,8-2,3 раза.

7. С увеличением возраста бетона эффективность усиления сжатых элементов обоймами из ФАП снижается. Повышение прочности на сжатие опытных образцов из бетона в возрасте бетона 2-3 месяца превышало на 20-30% повышение прочности аналогичных образцов из бетона в возрасте 15 лет.

8. Предельные деформации бетона, усиленного обоймами из ФАП, увеличились до 0,4-0,5 %, а поперечные деформации бетона и деформации удлинения волокон ФАП достигают значений 0,45-0,55%.

9. Прочность внецентренно сжатых железобетонных образцов, усиленных обоймами из ФАП, при приложении продольной сжимающей силы на границе ядра сечения, составляла около 70% от прочности аналогичных образцов, испытанных при центральном сжатии. При этом эпюра сжимающих напряжений носит параболический характер, а продольные и поперечные деформации бетона на сжатой грани перед разрушением близки к предельным деформациям образцов, испытанных при осевом сжатии.

10. Характер накопления повреждений в бетоне, усиленном обоймами ФАП, при динамическом действии повторных нагрузок зависит от амплитуды сжимающих напряжений. При величине динамической нагрузки, вызывающей разрушение за количество повторных нагружений превышающих 100 циклов, после первых циклов нагружения диаграмма деформирования бетона мало меняется на протяжении значительного количества следующих нагружений. За несколько десятков до разрушения бетона наблюдается ускоряющееся нарастание неупругих деформаций, вплоть до исчерпания прочности бетона. При величине максимальных сжимающих напряжений в бетоне, превышающих 90% от прочности бетона, разрушение бетона происходит после нескольких циклов нагружения, при этом с каждым следующим циклом нагружения происходит ускоряющееся нарастание неупругих деформаций бетона, заканчивающееся разрушением бетона.

11. Динамические испытания опытных образцов, усиленных обоймами ФАП, при действии немногочисленных повторных нагружений с частотой нагружения один герц и коэффициенте асимметрии изменения усилий около нуля, позволили получить эмпирическую зависимость прочности от количества повторных нагружений. Динамическая прочность бетона превышала статическую прочность почти на 25%.

12. Предельная величина продольных и поперечных деформаций бетона, усиленного обоймами ФАП, в процессе повторных динамических нагружений была меньше предельной деформативности при статическом нагружении на 15-25%, а величина остаточных деформаций бетона достигала значений 0,1%.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Прочность сжатых бетонных элементов, усиленных фиброармированными сетками.// «Сейсмостойкое строительство, Безопасность сооружений»//Научно-технический журнал. Москва., 2014, №2. С. 36-38.

2. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Исследование работы изгибаемых железобетонных конструкций, усиление фиброармированными пластиками при динамических воздействиях.// «Сейсмостойкое строительство, Безопасность сооружений»//Научно-технический журнал. Москва., 2015, №3. С. 43-45.

3. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Исследование прочности железобетонных конструкций, усиленных фиброармированными пластиками, при динамических нагрузках», «Материалы Международной научно-практической конференции Прочность конструкций, сейсמודинамика зданий и сооружений»// Журнал проблемы механики. Тошкент, 2016, №3, с.25-28.

4. Беспаяев А.А., Куралов У.Б. Усиление сжатых железобетонных конструкций пластиками Fibarm TAPE 530) карбоновых фиброволокон», «II международная конференция молодых ученых «Современные задачи геофизики, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства»//Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА. Армения г. Ереван, 2015, с.75-78.

5. Куралов У.С. Усиление сжатых железобетонных конструкций пластиками Fibarm TAPE», «Международной научно-практической конференции Наука, техническое регулирование и инжиниринг в строительстве: состояние, перспективы», Караганда, 2016, удк 69.013.514.001.89 (ББК 38.1), с.145-147.

6. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Поверхностное усиление железобетонных конструкций фиброармированными пластиками «Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций», Труды КазНИИСА, Алматы, 2015, вып. 23(33), с.115-128

7. Беспаяев А.А., Куралов У.С., Алтигенов У.Б. Усиление железобетонных конструкций полимерными материалами / Беспаяев А.А., Алматы: Вестник Национальной инженерной академии РК, 2011. №11. С. 115-118.

8. Беспаяев А.А., Куралов У.С. Прочность сжатых бетонных элементов, усиленных фиброармированными сетками / Строительство в сейсмических районах: сб. матер. IV научно-технической конференции 16-19 октября 2012 г. Алматы: РГП «КазНИИССА», 2012. С. 34 – 38.

9. Беспаяев А.А., Куралов У.С. Прочность и деформации сжатых железобетонных конструкций, усиленных пластиками FibArm Tape // «Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций», Труды КазНИИСА, Алматы, 2016, вып. 24(34), с.117-130.

10. Беспаяев А.А., Куралов У.С. Усиление сжатых железобетонных элементов фиброармированными карбоновыми волокнами (fibarm tape 530/300).

«Международная научно-практическая конференция Новые строительные тренды в 21 веке», АО «КазНИИСА», Алматы, 2017, УДК 69.(063) с.38-40.

11. Беспаяев А.А., Джарылкасынов С.Ш., Куралов У.С. Арматураның бетонмен ұстасуы // «Новые материалы и изделия», Вестник КазАТК, Алматы, 2010, вып. №5 (66), с.113-117.