

На правах рукописи

**ТИХОНОВ ГЕОРГИЙ ИГОРЕВИЧ**

**ПРОЧНОСТЬ, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СЖАТЫХ,  
РАСТЯНУТЫХ И ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С  
ЧЕТЫРЁХРЯДНОЙ ВИНТОВОЙ АРМАТУРОЙ**

2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена на кафедре технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

- Научный руководитель: **Окольникова Галина Эриковна**  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
- Официальные оппоненты: **Радайкин Олег Валерьевич**  
доктор технических наук, профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
- Ксенофонтова Татьяна Кирилловна**  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерных конструкций института мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»
- Ведущая организация: **ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»**

Защита состоится 24 сентября 2024 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета ПДС 2022.009, созданного на базе ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», по адресу: 115419, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, ауд. 368.

С диссертацией можно ознакомиться в Учебно-научном информационном библиотечном центре (Научной библиотеке) РУДН по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

Электронная версия диссертации, автореферат и объявление о защите диссертации размещены на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования РФ (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>) и на сайте <https://www.rudn.ru/science/dissovet>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

И.о. ученого секретаря диссертационного совета ПДС 2022.009  
доктор технических наук, доцент

Малькова М.Ю.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

В настоящее время в отечественной строительной отрасли нишу основной арматуры для строительства занимает прокат с «европейским» периодическим профилем, производящийся в России с 90-х годов. Данный профиль, отвечающий международным стандартам, обладает рядом серьёзных конструктивных недостатков в сравнении с «кольцевым», массово производившимся ранее (высокая распорность в бетоне, большой разброс по погонной массе проката, сложность обеспечения повышенного критерия сцепления с бетоном - критерий Рема). Из-за более низких прочностных характеристик сцепления с бетоном «европейского» профиля, обуславливающих высокую длину анкеровки и нахлёста, в железобетонных конструкциях происходит значительное переармирование, применяются неэффективные или трудозатратные способы механического стыкования стержней (сварка, обжимные и нарезные (накатанные) соединения). Сложившаяся ситуация представляет большую опасность для строительства объектов в сейсмических зонах и с повышенной ответственностью.

Отечественная арматура класса А500СП, разработанная в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в 2000-х годах, имела повышенную прочность и высокие характеристики сцепления с бетоном, но не обладала возможностью механического стыкования.

Наиболее экономичным и безопасным способом стыкования арматурных стержней является механическое муфтовое соединение при помощи соединительных муфт и контргаек. Данная система на российском рынке представлена арматурой GEWI-Stahl, имеющей завышенную стоимость и не обеспеченной отечественными патентами, позволяющими производить её в больших объемах.

В данной работе представлены исследования инновационной винтовой арматуры с периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П, обладающей преимуществами А500СП с нововведением в виде винтовой двухзаходной резьбы, которую образуют поперечные рёбра, что способствует быстрому стыкованию стержней муфтами в конструкциях любой сложности. Данный профиль является отечественной разработкой и создан при участии автора диссертации с целью импортозамещения. Испытания арматуры классов Ав500П и Ав600П и железобетонных элементов с данной арматурой проводились впервые. С 2020 г., благодаря исследованиям, вошедшим в данную работу, он производится Тульским металлопрокатным заводом и «Евраз ЗСМК». Результаты исследований позволили включить данную арматуру, как рекомендованную, в СП 14.13330.2018 и СП 35.13330.2011.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследованиям различных видов арматурного проката и железобетонных конструкций с его применением, посвящены работы Ли Т., Ван дер Хорста А., Цанко Ц., Бауса Р., Танаки Ё., Ларсона Ф., Хайё Б., Дамаса Ф., Магуры Д., Эрдельи А., Соретса С., Майера А., Мулина Н.М., Михайлова К.В., Мадатяна С.А., Мамедова Т.И., Скоробогатова С.М., Тихонова И.Н., Гущи Ю.П., Митасова В.Н., Ратнера Б.Р., Белоброва И.К., Горячева Б.П., Терина В.Д., Дьячкова В.В., Рахманова В.А., Гуменюка В.С., Фредлянова Б.Н., Саврасова И.П., Цыбы О.О., Квасникова А.А., Положнова В.И., Мартынова А.А., Кудзиса А.П., Гвоздева А.А., Астровой Т.М., Холмянского М.М., Судакова Г.Н., Карпенко Н.И., Мешкова В.З., Тулеева Т.Д. и др.

Исследования механических свойств арматуры классов Ав500П и Ав600П, её механических соединений и их работы в сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементах проводились впервые и были основаны на экспериментальном опыте, полученном при внедрении в производство арматуры класса А500СП.

**Целью диссертационной работы** является исследование прочности, трещиностойкости и деформативности сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов, армированных винтовой четырехрядной арматурой нового профиля классов Ав500П и Ав600П.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели в настоящей диссертации были сформулированы следующие задачи:

1. Провести экспериментальные исследования для определения механических свойств новых видов арматурного проката с эффективным четырёхрядным периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П при статическом и динамическом нагружении.
2. Провести испытания резьбовых муфтовых соединений винтовой арматуры классов Ав500П и Ав600П на растяжение, сжатие, на многоцикловые и малоцикловые нагрузки, в том числе резьбоклеевых муфтовых соединений с разными клеевыми составами на растяжение.
3. Провести испытания для оценки сцепления арматуры классов Ав500П и Ав600П с бетоном.
4. Провести экспериментальные исследования прочности и деформативности сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов, армированных арматурой классов Ав500П и Ав600П, в том числе с резьбовыми муфтовыми соединениями.
5. На основе результатов проведённых экспериментальных исследований разработать рекомендации по расчёту и конструированию железобетонных конструкций с учётом прочностных и деформативных характеристик новой арматуры, её сцепления с бетоном и применения муфтовых резьбовых соединений стержней.

**Объектом исследования** является арматура нового профиля классов Ав500П и Ав600П и сжатые, растянутые и изгибаемые железобетонные элементы, изготовленные с её применением, в том числе с использованием резьбовых муфтовых соединений стержней.

**Предметом исследования** являются механические свойства и показатели сцепления с бетоном новых видов арматурного проката с эффективным четырёхрядным периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П; несущая способность резьбовых и резьбоклеевых муфтовых соединений винтовой арматуры; характеристики прочности, трещиностойкости и деформативности сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов, армированных арматурой нового профиля.

**Научно-техническая гипотеза исследований.** Арматура с четырёхрядным винтовым периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П по своим механическим характеристикам и сцеплению с бетоном соответствует показателям арматуры класса А500СП. Её механические соединения по прочности соответствуют цельному стержню.

**Научную новизну работы составляют:**

1. Инновационный винтовой периодический профиль классов Ав500П и Ав600П (патент RU 2680153 С2), обладающий повышенными прочностными характеристиками и улучшенным сцеплением с бетоном, а также возможностью стыкования стержней при помощи резьбовых муфт (патент RU 198093 U1).
2. Резьбоклеевые соединения с данной арматурой, позволяющие устранить высокую деформативность в муфте без необходимости затягивать контргайки с большим усилием при помощи динамометрического ключа.
3. Результаты испытаний сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов с новой арматурой.

**Теоретическая значимость.** Работа содержит рекомендации по актуализации СП 63.13330.2018 для новой арматуры в части корректировок значений коэффициентов  $\varphi_2$  в формуле 8.128 по расчёту ширины раскрытия трещин и  $\eta_1$  в формуле 10.2, а также рекомендации по проектированию сжатых, растянутых и изгибаемых элементов с данной арматурой. Корректировка величин этих коэффициентов позволит снизить расход арматуры в изгибаемых железобетонных конструкциях на 10-20% и уменьшить длину анкеровки нахлёста стержней на 12%.

**Практическая значимость:**

1. Арматура с периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П, обладающая более высокими прочностными характеристиками сцепления с бетоном по сравнению с повсеместно применяющимся «европейским» профилем.
2. Импортозамещение дорогостоящих и менее эффективных зарубежных видов винтовой арматуры.

**Методология и методы исследования.** Исследования проводились в соответствии с положениями ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций Технические условия», ГОСТ 34227-2017 «Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Методы испытаний» и СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты исследований механических свойств новых видов арматурного проката с эффективным четырёхрядным периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П и муфтовых соединений этой арматуры при статическом и динамическом нагружении, а также характеристик их сцепления с бетоном.
2. Результаты исследований сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов с арматурой классов Ав500П, Ав600П, в том числе с резьбовыми муфтовыми соединениями стержней.
3. Рекомендации по расчёту и конструированию железобетонных конструкций с учётом свойств новой винтовой арматуры и её резьбовых муфтовых соединений.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов исследований подтверждается использованием современного оборудования и методик для проведения испытаний НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». В процессе работы было испытано при статическом и динамическом нагружении в лабораторных условиях более 200 образцов стержней и их механических соединений, 36 сжатых, 12 растянутых и 20 изгибаемых балочных железобетонных элементов. По результатам выполненных исследований произведено и использовано в строительстве более 70 тысяч тонн арматуры с четырёхрядным профилем.

**Личный вклад автора.** Вклад автора заключается в постановке и реализации задач диссертационной работы, анализе литературных данных, выборе методики исследования, в подготовке программы экспериментальных испытаний, проведении и получении результатов исследования, обработке и анализе данных проведенных численных расчетов и экспериментальных исследований, и оформлении материалов публикаций.

**Соответствие диссертации научной специальности:**

Работа по своему содержанию, предмету и методам исследования соответствует специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения и следующим пунктам Паспорта специальности: п. 1 «Построение и развитие теории, разработка аналитических и вычислительных методов расчёта механической безопасности и огнестойкости, рационального проектирования и оптимизации конструкций и конструктивных систем зданий и сооружений»; п. 3 «Развитие теории и методов оценки

напряжённого состояния, живучести, риска, надёжности, остаточного ресурса и сроков службы строительных конструкций, зданий и сооружений, в том числе при чрезвычайных ситуациях, особых и запроектных воздействиях, обоснование критериев приемлемого уровня безопасности»; п. 8 «Разработка новых и совершенствование рациональных типов несущих и ограждающих конструкций, конструктивных решений зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, механической, пожарной и экологической безопасности».

**Апробация результатов.** Основные результаты диссертационной работы были доложены на следующих конференциях: Конференция студентов и молодых учёных «Проблемы технологического горения» (г. Алматы, 2018 г.), Международный научно-практический семинар «Современные тенденции в проектировании строительных конструкций» (г. Москва, РУДН, 2020), II Научно-практическая конференция молодых учёных, аспирантов и исследователей АО «НИЦ «Строительство» «Научный потенциал строительной отрасли» (г. Москва, 2021 г.), XIII, XIV и XV Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием) (г. Санкт-Петербург 2019 г., г. Сочи 2021 и 2023 г.), круглый стол «Перспективы развития нормативной базы с учетом внедрения новых видов арматурного проката для железобетона» в рамках промышленной выставки «Металл-Экспо'2021» (г. Москва, 2021 г.), конференция «Проектирование и строительство зданий и сооружений из железобетона с использованием новой винтовой арматуры класса Аv500СП и Аv600СП» (АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, 2022 г.), I Международный Строительный Конгресс (АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, 2023 г.), 55-ый научный Межвузовский семинар «Геометрия и расчет тонких оболочек неканонической формы» (г. Москва, РУДН, 2023 г.), Научный семинар по актуальным вопросам строительства (г. Москва, РУДН, 2023 г.), BRICS 4<sup>th</sup> Scitech Forum on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials (РУДН, г. Москва, 2023 г.).

**Внедрение результатов исследования.** Результаты проводимых исследований были отражены в нормативных документах (СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах», СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы»), получено 7 патентов. Арматура классов Аv500П и Аv600П производится по ТУ 24.10.62-007-83936644-2020 Тульским металлопрокатным заводом и ТУ 24.10.62-311-05757676-2019 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и используется по СТО 36554501-068-2022 и СТО 36554501-065-2020\* на строительных объектах Республики Чувашия, Республики Киргизия, стройках Сибири и Дальнего Востока. Её производство составило, к настоящему времени, около 100 тыс. т. (4 справки о внедрении).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 9 статей, из которых 6 публикаций в журналах, включённых в перечень РУДН/ВАК и получено 7 патентов: 6 патентов на изобретения и 1 патент на полезную модель.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов и списка литературы. Общий объём работы 202 страницы, в том числе: 121 рисунок, 25 таблиц, 2 приложения.

Автор выражает свою благодарность научному руководителю Окольниковой Г.Э., а также сотрудникам НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» Тихонову И.Н., Блажке В.П., Гришину Г.Е., Гладышевой Л.А., Мешкову В.З., Терину В.Д., Саврасову И.П., Бучкину А.В., Кузьменко Н.В., Квасникову А.А., Дьячкову В.Д., Слышенкову С.О., Рыкову Ю.В., Казаряну В.А., Вострову М.С., Груню Ю.И., Юрину Е.Ю.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, описаны объект и предмет исследования, описаны методология и методы проведения исследования, сформулирована научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы.

**В первой главе** представлен обзор работ отечественных и зарубежных авторов по различным видам применяемых повсеместно и инновационных профилей арматурного проката.

Исследованиям различных видов арматурного проката и железобетонных конструкций с его применением, посвящены работы Ли Т., Ван дер Хорста А., Цанко Ц., Бауса Р., Танаки Ё., Ларсона Ф., Хайё Б., Дамаса Ф., Магуры Д., Эрдельи А., Соретса С., Майера А., Мулина Н.М., Михайлова К.В., Мадатяна С.А., Мамедова Т.И., Скоробогатова С.М., Тихонова И.Н., Гуши Ю.П., Митасова В.Н., Ратнера Б.Р., Белоброва И.К., Горячева Б.П., Терина В.Д., Дьячкова В.В., Рахманова В.А., Гуменюка В.С., Фредлянова Б.Н., Саврасова И.П., Цыбы О.О., Квасникова А.А., Положнова В.И., Мартынова А.А., Кудзиса А.П., Гвоздева А.А., Астровой Т.М., Холмянского М.М., Судакова Г.Н., Карпенко Н.И., Мешкова В.З., Тулеева Т.Д. и др.

На основе проанализированных исследований сделан вывод о зависимости сцепления арматуры с бетоном, длины анкеровки и нахлестки от формы, наклона и взаимного расположения поперечных рёбер, наличия или отсутствия продольных.

Проанализирована зависимость критерия Рема ( $f_R$ ), общепринятая характеристика анкерующей способности периодического профиля арматуры, от расположения и формы поперечных рёбер. Оптимальным значением принято  $f_R \geq 0,07$ .

Выявлены преимущества и недостатки применяемых в строительстве на данный момент «кольцевого» и «европейского» профилей и сложности, которые повлекло за собой переориентирование отечественного производства в 90-х годах экспорт, в соответствии с зарубежными нормативными стандартами.

Рассмотрены конструктивные особенности, результаты исследований и опыт внедрения инновационного отечественного профиля А500СП, разработанного в 2000-х годах НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Проведена оценка эффективности данного профиля в сравнении с «кольцевым» и европейским», показавшая преимущество по всем техническим показателям.

Описаны существующие на данный момент виды винтовой арматуры. Основным примером для сравнения с предметом исследований в части эффективности винтового профиля выбрана применяемая в отечественном строительстве арматура GEWI-Stahl, имеющая увеличенную себестоимость и завышенную рыночную стоимость, а также высокую распорность в бетоне. Рассмотрены причины, ограничивающие широкомасштабное внедрение винтовой арматуры при производстве железобетонных конструкций в России.

**Во второй главе** описывается предмет исследований, новая арматура с четырёхрядным профилем классов Ав500П и Ав600П, приведены результаты экспериментальных исследований её механических свойств; резьбовых муфтовых соединений винтовой арматуры на растяжение, сжатие, на многоцикловые и малоцикловые нагрузки, в том числе резьбоклеевых муфтовых соединений с разными клеевыми составами на растяжение; произведена экспериментальным путем оценка сцепления арматуры с бетоном.

Описаны концептуальные отличия данной арматуры от А500СП (отсутствие продольных рёбер, инновационная двухзаходная винтовая резьба, образуемая поперечными рёбрами) (рисунок 1), эффективность которой была сохранена в новом

профиле. Автор диссертации принимал участие в разработке и является соавтором данной арматуры, патентодержателем зарубежных патентов на неё.

Для производства данной арматуры при участии автора были разработаны ТУ 24.10.62-007-83936644-2020 для Тульского металлпрокатного завода и ТУ 24.10.62-311-05757676-2019 для АО «Евраз ЗСМК».

Для проведения испытаний, вошедших в диссертационную работу, было прокатано 10 т опытных образцов диаметром от 12 до 40 мм классов Ав500П и Ав600П.

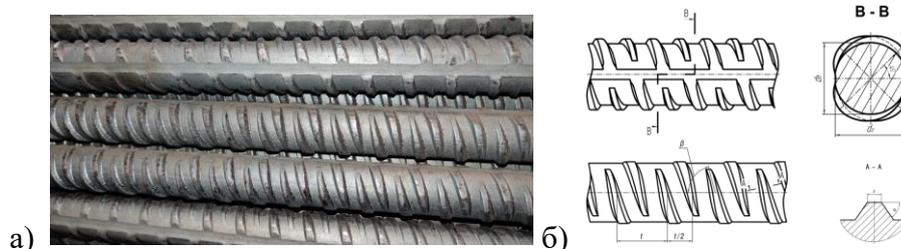


Рисунок 1 - Профиль арматуры с двухзаходным винтообразным расположением по поверхности серповидных рёбер  
а - общий вид; б – конфигурация профиля

Приведены и проанализированы результаты испытаний арматурных стержней классов Ав500П и Ав600П на растяжение. Были сделаны выводы о соответствии механических характеристик образцов требованиям ГОСТ 34028-2016.

В соответствии с требованиями ГОСТ 34028-2016 были проведены испытания 18 образцов классов Ав500П и Ав600П диаметром  $\varnothing 12, 25, 40$  мм на выносливость при многократно повторяющихся циклических нагрузках. Все образцы выдержали нормируемую нагрузку.

Проведены испытания арматуры класса Ав500П диаметром  $\varnothing 16$  мм на усталостную прочность (2 млн. циклов). По результатам испытаний 6 образцов определено, что усталостная прочность превышает нормируемую величину в среднем на 33,3%.

Для испытаний по ГОСТ 34227-2017 на растяжение муфтовых соединений были изготовлены образцы с арматурой Ав500П и Ав600П диаметром  $\varnothing 16-40$  мм с моментом затяжки контргаек, равным 350 Н·м (усилие, равное затяжке обычным гаечным ключом). Образцы диаметром  $\varnothing 16$  мм с данным моментом затяжки удовлетворяли требованиям по остаточным деформациям, не превышающим 0,1 мм, для остальных диаметров в последующих испытаниях было принято решение повысить момент затяжки и применять резьбклеевые соединения. Разрушение образцов всех соединений арматуры происходило вне муфтового соединения по основному металлу стержня (рисунок 2).



Рисунок 2 – Характер разрушения образцов

Проведены испытания 2 образцов по ГОСТ 34227-2017 муфтовых соединений арматуры Ав500П и Ав600П диаметром  $\varnothing 16$  мм с затяжкой 350 Н·м на малоцикловые нагрузки категории S1. Установлено, что арматура Ав500П диаметра  $\varnothing 16$  мм удовлетворяет требованиям ГОСТ.

Аналогичные испытания 6 образцов диаметром  $\varnothing 20$  мм показали не соответствие образцов требованиям по деформативности.

Проведены испытания 6 образцов с арматурой Ав500П и Ав600П диаметром  $\varnothing 20$  мм на многоцикловые нагрузки. Все образцы прошли 2 млн. циклов без разрушения.

Проведены испытания 6 образцов муфтовых соединений арматуры Ав500П и Ав600П диаметром  $\varnothing 20$  мм с моментом затяжки 350 Н·м на малоцикловые нагрузки категории S2. Установлено, что арматура Ав500П диаметром  $\varnothing 20$  мм удовлетворяет нормативным требованиям.

Все образцы муфтовых соединений в указанных выше экспериментах разрушились по основному металлу (см. рисунок 2).

Были проведены испытания на сжатие 4 образцов с арматурой Ав500П и Ав600П  $\varnothing 16$ . Образцы отвечают нормативным требованиям.

Для снижения деформативности муфтовых соединений с новой винтовой арматурой классов Ав500П, Ав600П было принято целесообразным применение резьбклеевых соединений, позволяющих удовлетворять требования норм.

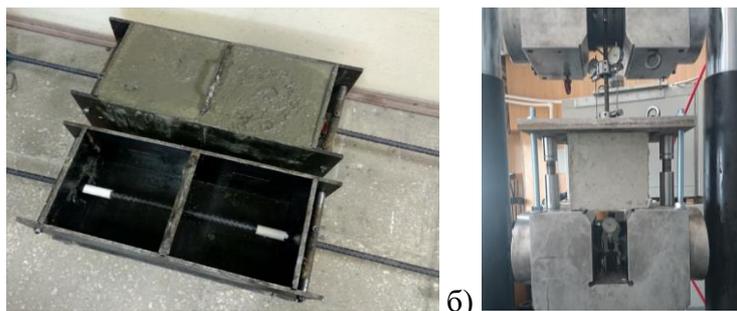
В работе были проведены исследования резьбклеевых муфтовых соединений с подбором клеевого состава для обеспечения нормативной податливости.

Проанализированы результаты испытаний резьбклеевых соединений винтовой арматуры по прочности и деформативности на эпоксидном составе ERX 585 S и цементных составах Master Emaco A640 и Master Flow. Все 30 образцов с арматурой Ав500П диаметров  $\varnothing 20$ , 25 и 36 с моментами затяжки 350 Н·м и 1000 Н·м показали нулевую деформативность, что позволяет говорить о перспективности и высокой эффективности данной технологии стыкования стержней.

Проведены исследования сцепления новой винтовой арматуры с бетоном по методике НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (доработанная методика из EN со снятием показаний с загруженного конца арматуры) с выдёргиванием арматурного стержня из бетонного куба 250x250x250 мм (рисунок 3).

Данные испытания производились в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева и во ВНИИжелезобетон. Было изготовлено 2 партии бетонных кубов: В первой партии 15 образцов для испытаний НИИЖБ с арматурой Ав500П  $\varnothing 16$  с анкерровкой в 5, 9 и 10d, бетон В30; 24 образца для ВНИИжелезобетон, 12 с арматурой GEWI-Stahl  $\varnothing 16$ , 12 с Ав500П  $\varnothing 16$ , анкерровка 5d. Во второй партии 8 образцов для НИИЖБ с арматурой Ав500П и Ав600П  $\varnothing 20$ , 4 из которых были дополнительно армированы сеткой на торце. Превышение прочности сцепления с бетоном в образцах с Ав500П составило 8,3%, с Ав600П – 14,1%. В арматуре класса Ав500П  $\varnothing 16$  при длине анкерровки 5d с бетоном В60 был достигнут предел текучести.

По результатам испытаний определено, что арматура классов Ав500П и Ав600П имеет прочность сцепления выше, а деформативность ниже, чем у арматуры с профилем GEWI-Stahl на 15-30% (рисунок 4). Конструкция нового профиля обеспечивает равномерное распределение распорных усилий в теле бетона, уменьшая их влияние на прочность сцепления арматуры с бетоном, особенно после достижения предела текучести  $\sigma_{T(02)}$ .



а) Рисунок 3 - Испытание на сцепление арматуры с бетоном  
а) изготовление образцов для проведения испытаний на сцепление с бетоном;  
б) проведение испытаний

**В третьей главе** приводятся результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов, армированных арматурой классов Аv500П и Аv600П, в том числе с резьбовыми муфтовыми соединениями.

Для испытаний сжатых элементов по схеме армирования (рисунок 5) было изготовлено 36 бетонных призм из бетонов классов В30 и В60, из которых 13 образцов с арматурой Аv600П Ø20 мм, 21 с Ø32 мм и 2 без армирования. Муфтовые соединения арматуры Ø20 мм производились без контргаек, а арматуры Ø32 мм – с контргайками и без них (рисунок 6, 7). Контргайки затягивались с усилием 350 Нм.

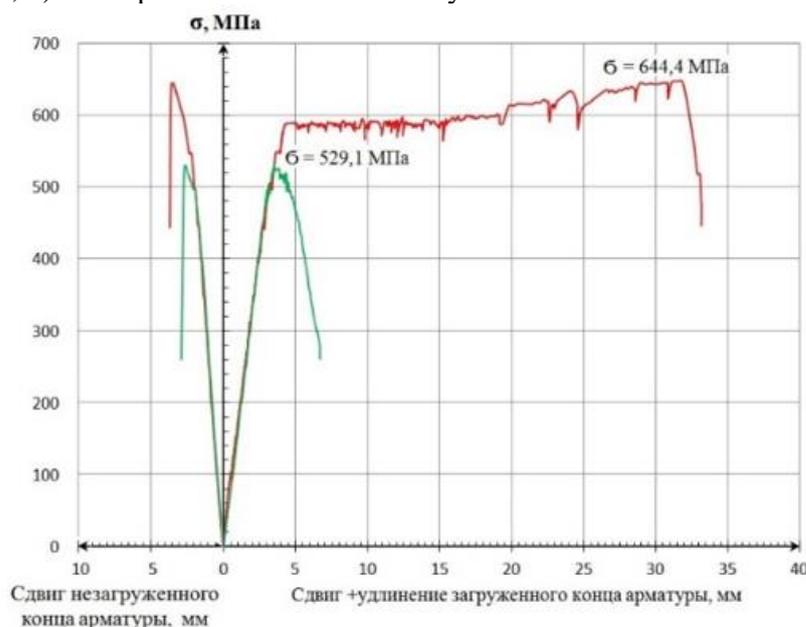


Рисунок 4 – Деформации втягивания незагруженного и сдвиг с удлинением загруженного концов арматуры ( $d=16$  мм, заделка 5d) при выдёргивании из бетона прочностью 72,2 МПа:

- - арматура с четырёхрядным винтовым профилем (Аv500П)  $f_r=0,072$ ;
- - арматура с двухрядным винтовым профилем (GEWI-Stahl),  $f_r=0,091$ .

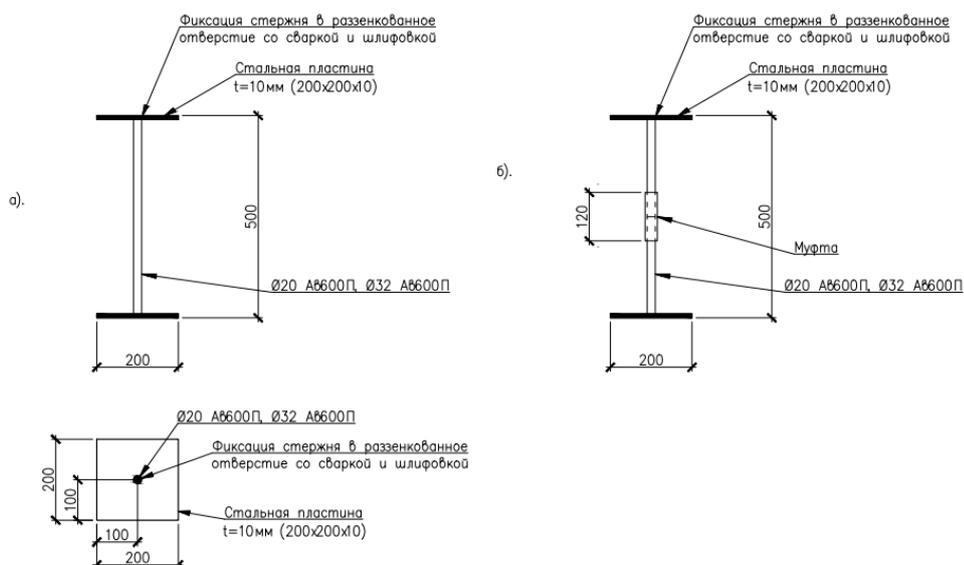


Рисунок 5 - Схемы армирования образцов на сжатие  
 $\varnothing 20$  – муфты без контргаек;  $\varnothing 32$  – муфты с контргайками и без контргаек

Сопоставление результатов испытаний и результатов расчёта прочности опытных образцов с арматурой  $\varnothing 20$  мм по предельным усилиям, выполненного по положениям СП 63.13330.2018 для внецентренно сжатых бетонных и железобетонных элементов с учётом нормируемого случайного эксцентриситета приведено в таблице 1.

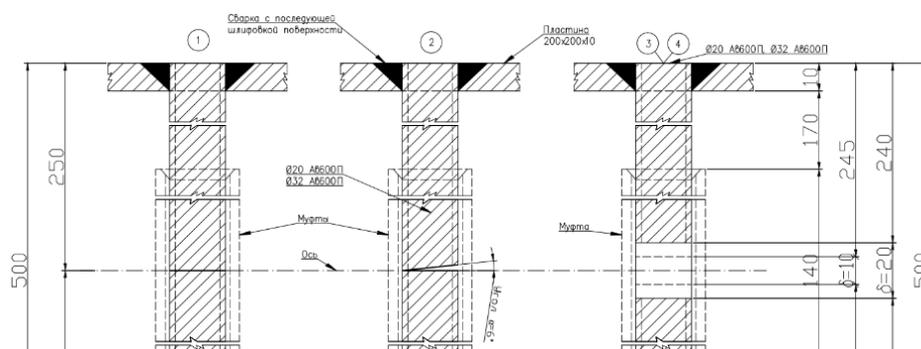


Рисунок 6 - Конструкция муфтовых соединений.

1) контактный стык,  $\alpha = 0^\circ$ ; 2) частично-контактный,  $\alpha \approx 6^\circ$ ; 3) бесконтактный,  $\Delta \approx 10$  мм; 4) бесконтактный,  $\Delta \approx 20$  мм

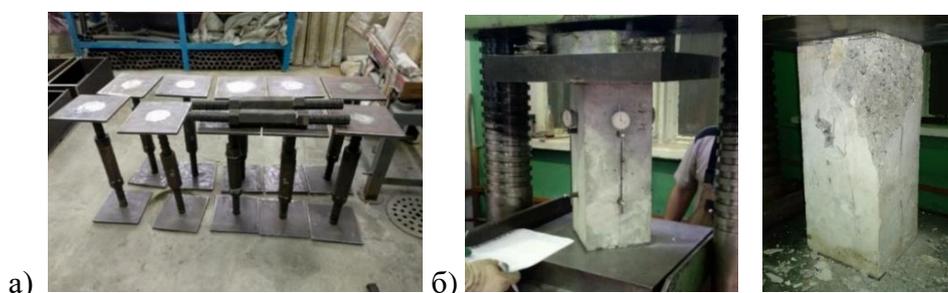


Рисунок 7 – Испытания на сжатие

а) металлические элементы, изготовленные на ТМПЗ; б) испытания и характер разрушения образцов

Для проведения исследований на растяжение было изготовлено 12 образцов-призм 20x20x80 мм из бетона класса В30 и В60 с расположением в центре арматурных стержней класса Ав500П, Ø 16 и 36 мм. 8 образцов была с муфтовым соединением с контргайками (рисунок 8). Усилие затяжки контргайек для арматуры Ø16 мм составляла 300 Нм, Ø36 мм – 2000 Нм и 3000 Нм. Образцы были изготовлены на заводе ЖБИ и испытаны на оборудовании АО «НИЦ «Строительство» (рисунок 8б).

Результаты испытаний в графической форме приведены на рисунках 9 и 10.

По результатам испытаний и диаграммам деформирования совместно бетона и арматуры, а также свободных участков арматурных стержней и максимальной ширины раскрытия трещин, был оценён характер совместной работы арматуры и бетона при увеличении растягивающих усилий и сделаны выводы о высокой трещиностойкости железобетонных конструкций, армированных четырёхрядной винтовой арматурой.

Для проведения испытаний на изгиб на заводе ЖБИ были изготовлены образцы-балки размером 120x200x1800 мм и 120x300x1800 мм. Всего было испытано 20 балок, из которых 12 высотой 200 мм и 8 высотой 300 мм. Использовался бетон В30 и В60.

Балки высотой 200 мм армировались в растянутой зоне двумя стержнями диаметром 16 мм классов Ав500П и Ав600П, а балки высотой 300 мм - двумя стержнями диаметром 12 мм классов Ав500П и Ав600П.

Армирование сжатой зоны балок (рисунок 11) не предусматривалось во избежание его влияния на прочностные и деформационные свойства бетона, так как предполагалось тщательное исследование характера пластического деформирования балок в запредельной стадии, что обеспечивалось минимальными значениями относительной высоты сжатой зоны, составляющей в балках высотой 300 мм от 0,05 до 0,1, и высотой 200 мм от 0,14 до 0,28.

Таблица 1 - Сопоставление результатов расчёта и испытаний образцов-призм с арматурой Ø20 мм класса Ав600П

№ п/п	Образец (марка)	Армирование образца	Расчётная прочность, кгс/см <sup>2</sup>		Разрушающая нагрузка, кгс		$\frac{P_o - P_T}{P_T} \times 100\%$
			Бетон $R_{np}/R_{b-1,3}^*/R_b$	Арматура $R_{sc}$	Опыт $P_o$	Расчёт $P_T$	
1	5-11	С арм. без муфты	388/220/170	4000	140000	151076/ 91100/ 73250	-7,3/+53,7/+91,1
2	5-12	С арм. без муфты	388/220/170	4000	91500	151076/ 91100/ 73250	-39,4/+0,44/+25
3	1-1	С муфтой, стык арм. без зазора	388/220/170	4000	140000	151076/ 91100/ 73250	-7,3/+53,7/+91,1
4	1-2	С муфтой, стык арм. без зазора	388/220/170	4000	135000	151076/ 91100/ 73250	-10,6/+48,2/+84,3
5	2-3	С муфтой, стык арм. без зазора (скос 6°)	388/220/170	4000	170000	151076/ 91100/ 73250	+12,5/+86,6/+132,1
6	2-4	С муфтой, стык арм. без зазора (скос 6°)	388/220/170	4000	160000	151076/ 91100/ 73250	+5,9/+75,6/+118,4

7	3-6	С муфтой, стык арм. с зазором 10 мм	388/220/170	4000	180000	151076/ <b>91100</b> / 73250	+19,1/+ <b>97,6</b> /+145,7
8	4-7	С муфтой, стык арм. с зазором 20 мм	388/220/170	4000	170000	151076/ <b>91100</b> / 73250	+12,5/+ <b>86,6</b> /+132,1
9	4-8	С муфтой, стык арм. с зазором 20 мм	388/220/170	4000	123000	151076/ <b>91100</b> / 73250	-18,5/+ <b>35</b> /+67,9
10	5-13	С арм. без муфты	609/430/330	4000	270000	229973/ <b>166070</b> / 130370	+17,4/+ <b>62,6</b> /+107,1
11	5-14	С арм. без муфты	609/430/330	4000	230000	229973/ <b>166070</b> / 130370	+0,01/+ <b>38,5</b> /+76,4
12	4-9	С муфтой, стык арм. с зазором 20 мм	609/430/330	4000	235000	229973/ <b>166070</b> / 130370	+2,2/+ <b>41,5</b> /+80,35
13	4-10	С муфтой, стык арм. с зазором 20 мм	609/430/330	4000	220000	229973/ <b>166070</b> / 130370	-4,3/+ <b>32,5</b> /+68,8

Примечание: \* $R_{b-1,3}$  – прочность бетона с коэффициентом запаса по ГОСТ 8829-2018;

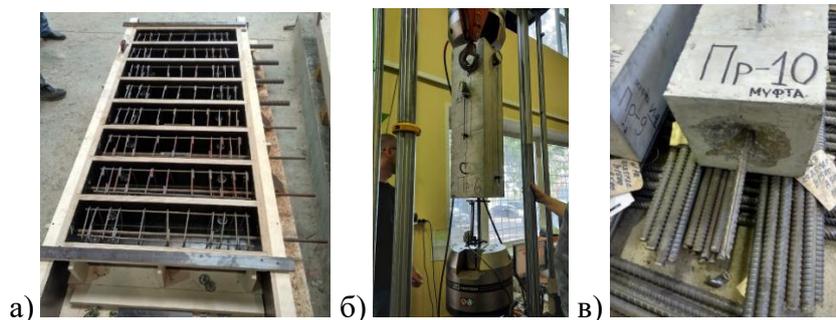
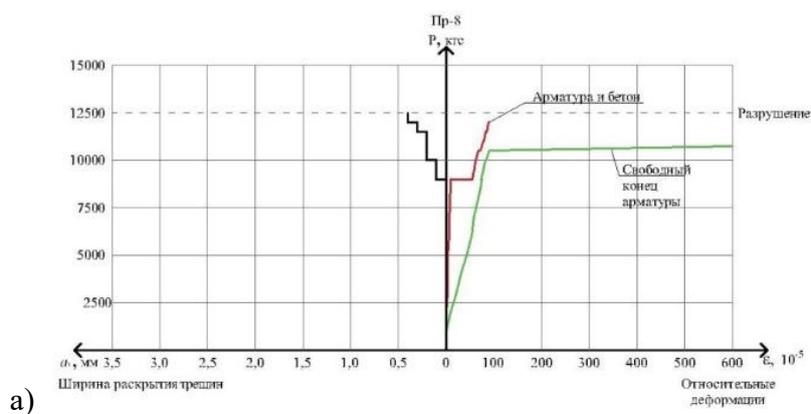


Рисунок 8 – Испытания на растяжение

а) изготовление, б) испытания, в) характер разрушения опытных образцов



а)

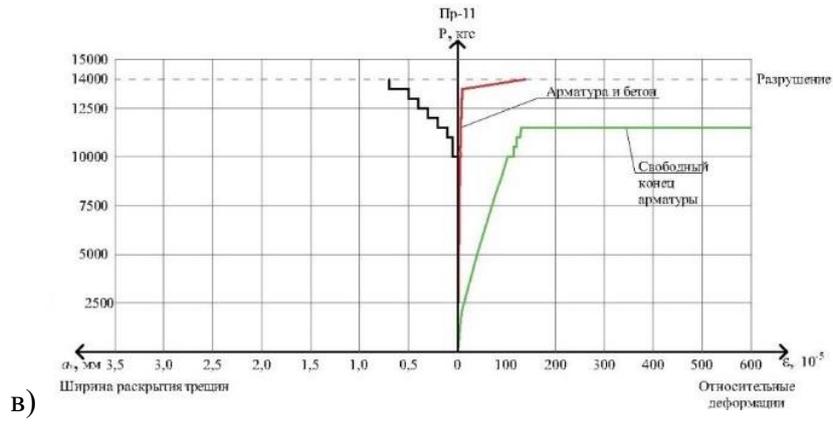
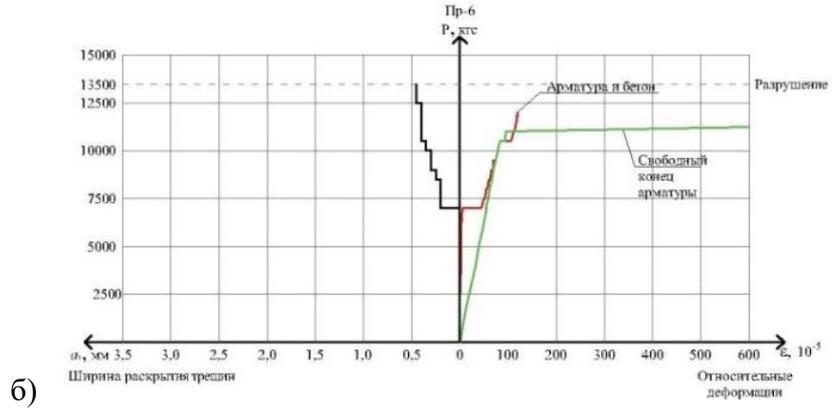
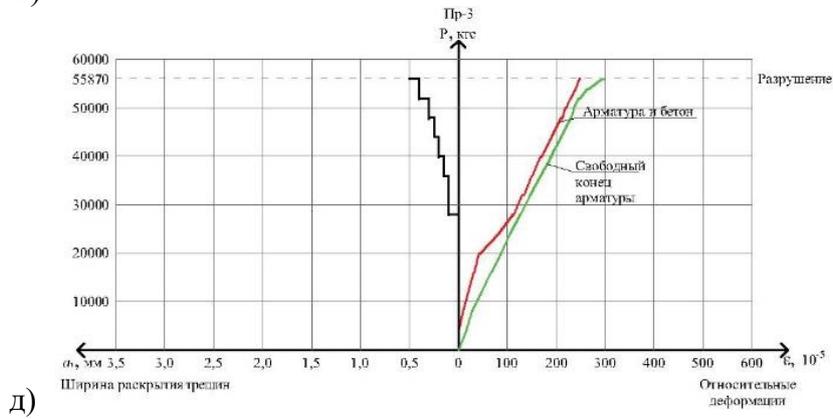
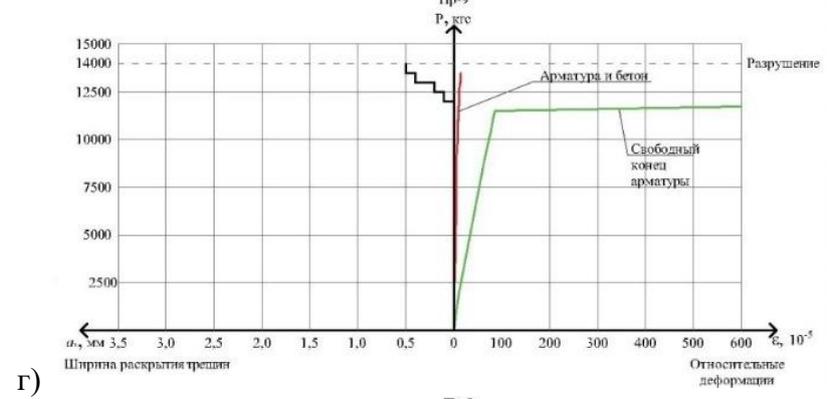
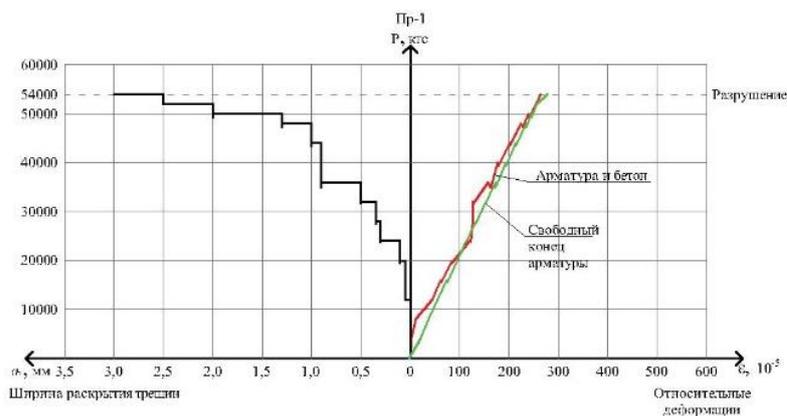


Рисунок 9 – Результаты испытаний на растяжение:

а) Пр-8, В30, Ав500П, Ø16мм, без муфты; б) Пр-6, В30, Ав500П, Ø16мм, с муфтой; в) Пр-11, В60, Ав500П, Ø16мм, без муфты





е)

Рисунок 10 – Результаты испытаний железобетонных элементов на растяжение:  
 а) Пр-9, В60, Ав500П, Ø16мм, с муфтой; б) Пр-3, В30, Ав500П, Ø36мм, без муфты; в)  
 Пр-1, В30, Ав500П, Ø36мм, с муфтой, момент затяжки контргаяк 2000Н·м

В процессе испытаний определялись прогибы балок с учётом осадки опор, деформации бетона при сжатии и растяжении, совместные деформации бетона и арматуры при растяжении с использованием индикаторов часового типа и прогибомеров (рисунок 11). Ширина раскрытия трещин определялась визуально с помощью микроскопа 10-ти кратного увеличения и штангенциркуля.

Образцы-балки загружались ступенями, не превышающими 10% от разрушающей нагрузки  $P_{test}$  до уровня, равного  $0,8 P_{test}$  с выдержкой в 5-10 мин. После этого ступени уменьшали до  $5\% P_{test}$  до достижения напряжений в арматуре предела текучести. Дальнейшее нагружение производилось ступенями по 100 кгс до разрушения балок (рисунок 12).

Результаты испытаний опытных балок приведены в таблице 2 и на рисунках 13-15, где показаны фото характерных испытанных балок, а также графические изображения прогибов, максимально замеренной ширины раскрытия трещин, совместных деформаций арматуры и бетона в растянутой зоне и эпюры деформирования сжатого и растянутого бетона в середине пролёта балок в процессе поэтапного нагружения.

**В четвёртой главе** представлены рекомендации по проектированию железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018 с использованием арматуры классов Ав500П и Ав600П.

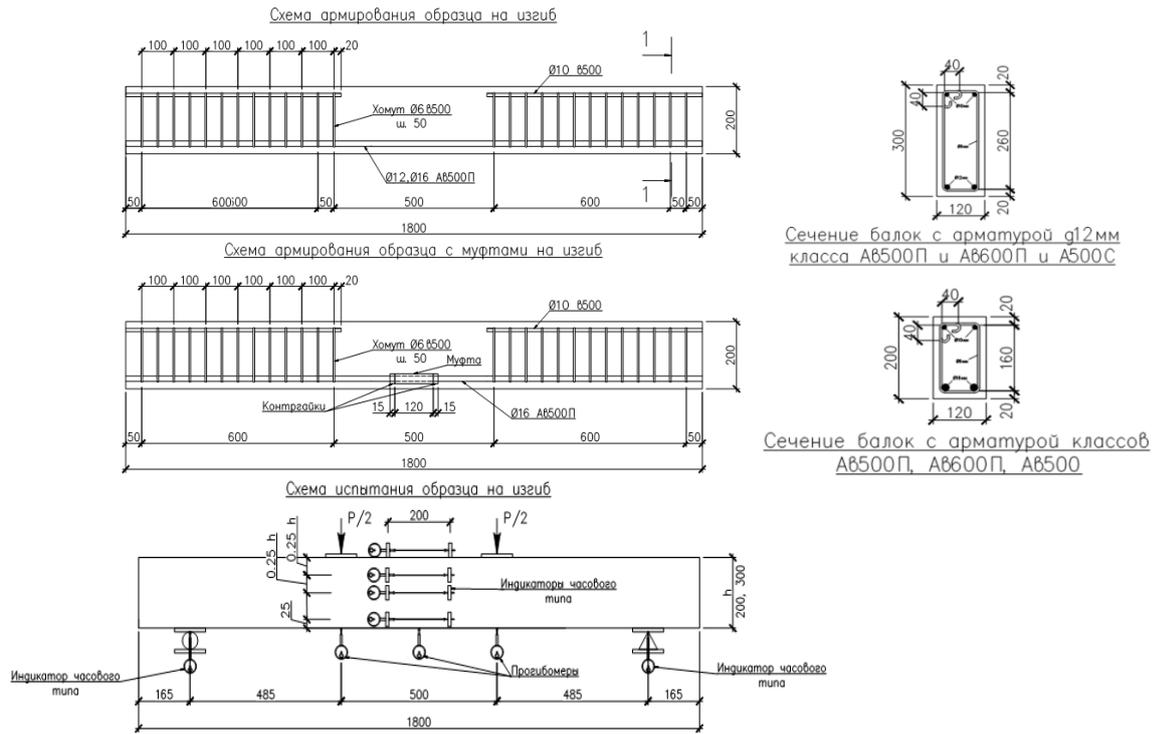


Рисунок 11 - Схемы армирования, расстановки приборов и испытаний образцов на изгиб

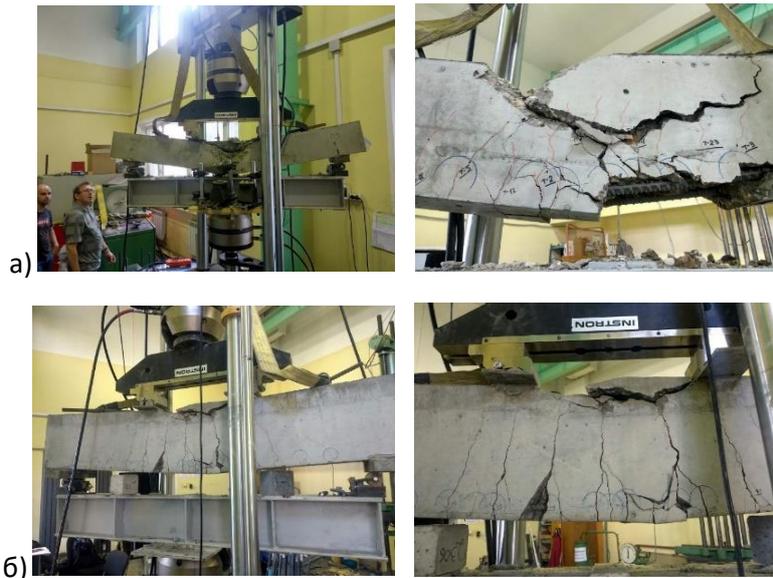


Рисунок 12 – Характер разрушения балок при испытаниях на изгиб  
а) балки Б 1.1; б) балки Б 3.1

Таблица 2 - Результаты испытаний балок с четырёхрядной винтовой арматурой класса Аv500П и Аv600П

№ п/п	Балки (сечения)	Бетон, МПа				Арматура, МПа			Разрушающая нагрузка Р, кгс	Ширина раскрытия трещин, мм		Количество трещин, шт.	Прогибы $f_{\phi}$ при $P_3$ , мм
		Класс	$R_b$	$R_{bn}$	$R_{bпр}$ (факт.)	Класс	$R_s$	$R_{sn}$		$a_3$ при $P_3$	$a_4$ при $P_4$		
120x200, Винт Ø16, без муфты													
1	Б 1.1	V30	17	22	40,9	A500	435	500	14250	0,1	0,2	23	7,04
2	Б 1.2	V30	17	22	40,9	A500	435	500	14250	0,05	0,05	22	6,79
3	Б 1.3	V30	17	22	40,9	A600	520	600	17500	0,05	0,1	28	6,89
4	Б 1.4	V30	17	22	40,9	A600	520	600	17500	0,05	0,1	18	7,13
5	Б 1.5	V60	33	43	67,7	A600	520	600	18000	0,15	0,15	20	8,18
6	Б 1.6	V60	33	43	67,7	A600	520	600	18500	0,15	0,15	20	8,96
7	Б 1.7	V60	33	43	67,7	A500	435	500	15650	0,15	0,15	24	6,75
8	Б 1.8	V60	33	43	67,7	A500	435	500	15500	0,1	0,1	23	7,50
120x200, Винт Ø16, с муфтой													
9	Б 2.1	V30	17	22	40,9	A500	435	500	12500	0,05	0,05	21	6,72
10	Б 2.2	V30	17	22	40,9	A500	435	500	14000	0,05	0,1	20	6,60
11	Б 2.3	V30	17	22	40,9	A600	520	600	17690	0,1	0,15	22	7,00
12	Б 2.4	V30	17	22	40,9	A600	520	600	17500	0,1	0,15	23	6,67
120x300, Винт Ø12, без муфты													
1	Б 3.1	V30	17	22	40,9	A500	435	500	13400	0,1	0,1	15	4,31
2	Б 3.2	V30	17	22	40,9	A500	435	500	13100	0,1	0,1	14	4,25
3	Б 3.3	V30	17	22	40,9	A500	435	500	13400	0,1	0,1	16	4,11
4	Б 3.4	V30	17	22	40,9	A500	435	500	13400	0,05	0,05	18	4,56
5	Б 3.5	V60	33	43	67,7	A500	435	500	14300	0,1	0,1	12	4,42
6	Б 3.6	V60	33	43	67,7	A500	435	500	14250	0,05	0,05	13	4,62
7	Б 3.7	V60	33	43	67,7	A500	435	500	14200	0,15	0,15	15	4,22
8	Б 3.8	V60	33	43	67,7	A500	435	500	14000	0,05	0,05	14	4,40

Таблица 3 - Сравнение результатов испытаний балок теоретическими контрольными значениями

№ п/п	Балки (сечения)	Контрольная нагрузка по I пред. сост.		$\frac{P - P_1}{P_1} \times 100\%$	$\frac{P - P_2}{P_2} \times 100\%$	Контрольная нагрузка по II пред. сост.		Ширина раскрытия трещин, мм				Прогибы теор. $f_T$ , мм	$\frac{f_T - f_\phi}{f_\phi} \times 100\%$
		$R_1$ , при $R_b$ и $R_s$ (расчёт при $C=1.3$ )	$R_2$ , при факт. $R_{bnp}$ и $R_{sn}$			$R_3$ , при $R_{bn}$ и $R_{sn}$ (расчёт.)	$R_4$ , при факт. $R_{bnp}$ и $R_{sn}$	Теор.		$\frac{a_{3T} - a_3}{a_3} \times 100\%$	$\frac{a_{4T} - a_4}{a_4} \times 100\%$		
								$a_{3T}$ при $R_3$	$a_{4T}$ при $R_4$				
120x200, Винт Ø16, без муфты													
1	Б 1.1	11323	11719	25.85%	21.60%	10391	11719	0.246	0.265	146%	33%	12	70%
2	Б 1.2	11323	11719	25.85%	21.60%	10391	11719	0.246	0.265	392%	430%	12	77%
3	Б 1.3	12715	13698	37.63%	27.76%	11740	13698	0.281	0.314	462%	214%	12	74%
4	Б 1.4	12715	13698	37.63%	27.76%	11740	13698	0.281	0.314	462%	214%	12	68%
5	Б 1.5	13229	14572	36.06%	23.52%	13798	14572	0.316	0.321	111%	114%	12	47%
6	Б 1.6	13229	14572	39.84%	26.96%	13798	14572	0.316	0.321	111%	114%	12	34%
7	Б 1.7	12473	12333	25.47%	26.90%	11809	12333	0.266	0.266	77%	77%	12	78%
8	Б 1.8	12473	12333	24.27%	25.68%	11809	12333	0.266	0.266	166%	166%	12	60%
120x200, Винт Ø16, с муфтой													
9	Б 2.1	11323	11719	10.39%	6.66%	10391	11719	0.246	0.338	392%	576%	12	79%
10	Б 2.2	11323	11719	23.64%	19.46%	10391	11719	0.246	0.338	392%	238%	12	82%
11	Б 2.3	12715	13698	39.13%	29.14%	11740	13698	0.281	0.343	181%	129%	12	71%
12	Б 2.4	12715	13698	37.63%	27.76%	11740	13698	0.281	0.343	181%	129%	12	80%
120x300, Винт Ø12, без муфты													
1	Б 3.1	11497	11215	16.55%	19.48%	10813	11215	0.434	0.417	334%	317%	12	178%
2	Б 3.2	11497	11215	13.94%	16.81%	10813	11215	0.434	0.417	334%	317%	12	182%
6	Б 3.3	11497	11215	16.55%	19.48%	10813	11215	0.434	0.417	334%	317%	12	192%
4	Б 3.4	11497	11215	16.55%	19.48%	10813	11215	0.434	0.417	768%	734%	12	163%
5	Б 3.5	11386	11428	25.59%	25.13%	11258	11428	0.413	0.386	313%	286%	12	171%
3	Б 3.6	11386	11428	25.15%	24.69%	11258	11428	0.413	0.386	726%	672%	12	160%
7	Б 3.7	11386	11428	24.71%	24.26%	11258	11428	0.413	0.386	175%	157%	12	184%
8	Б 3.8	11386	11428	22.96%	22.51%	11258	11428	0.413	0.386	726%	672%	12	173%

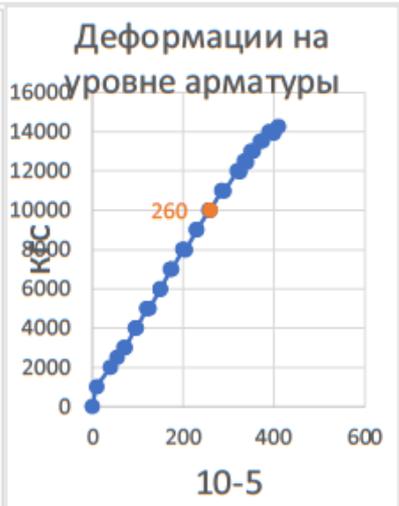
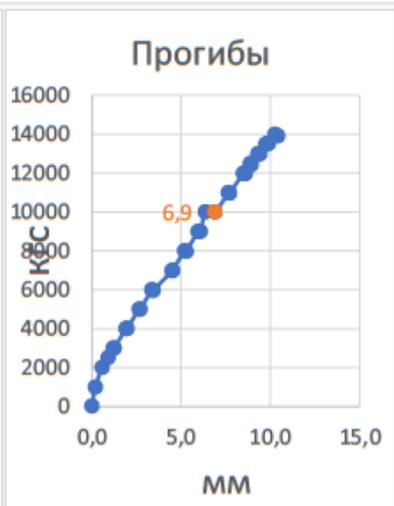
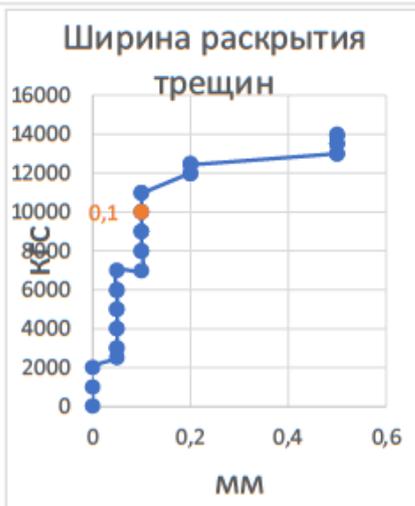
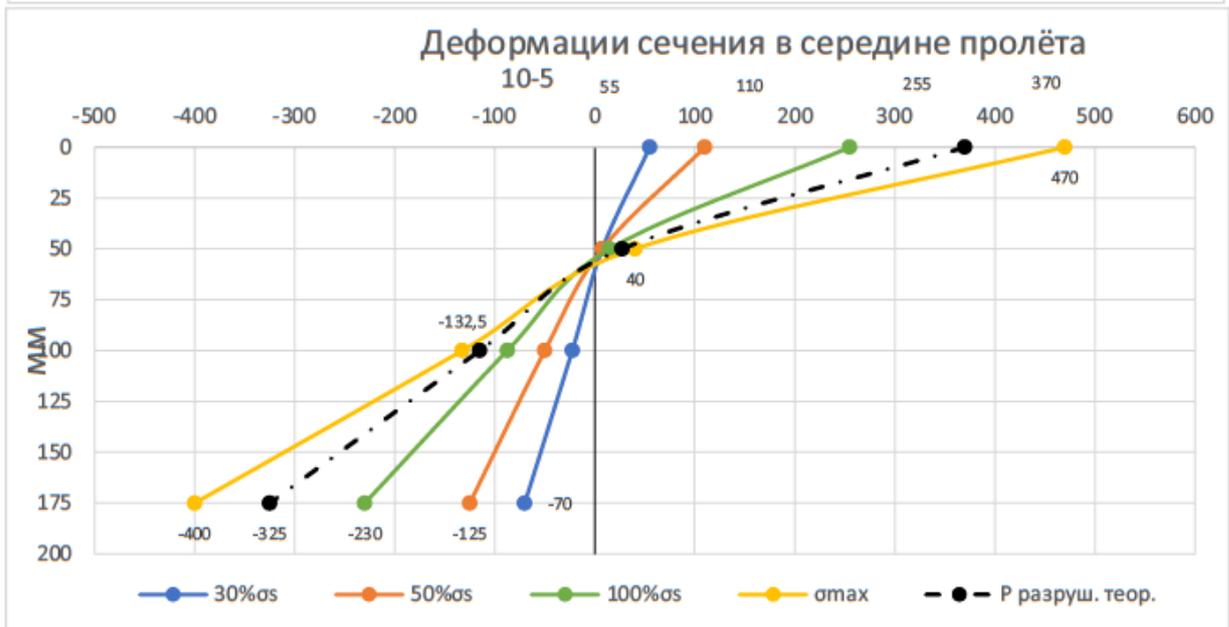
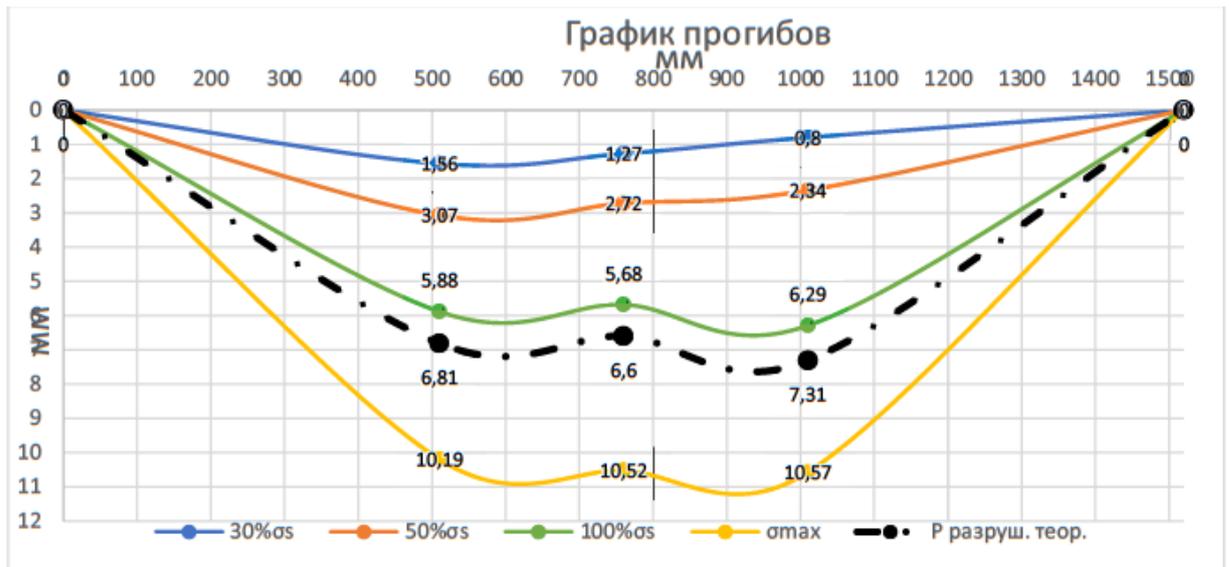


Рисунок 13 – Результаты испытаний на изгиб балки Б 1.1; 120x200мм; В-30; Ав500П; Ø16; Ребро вниз; без муфты

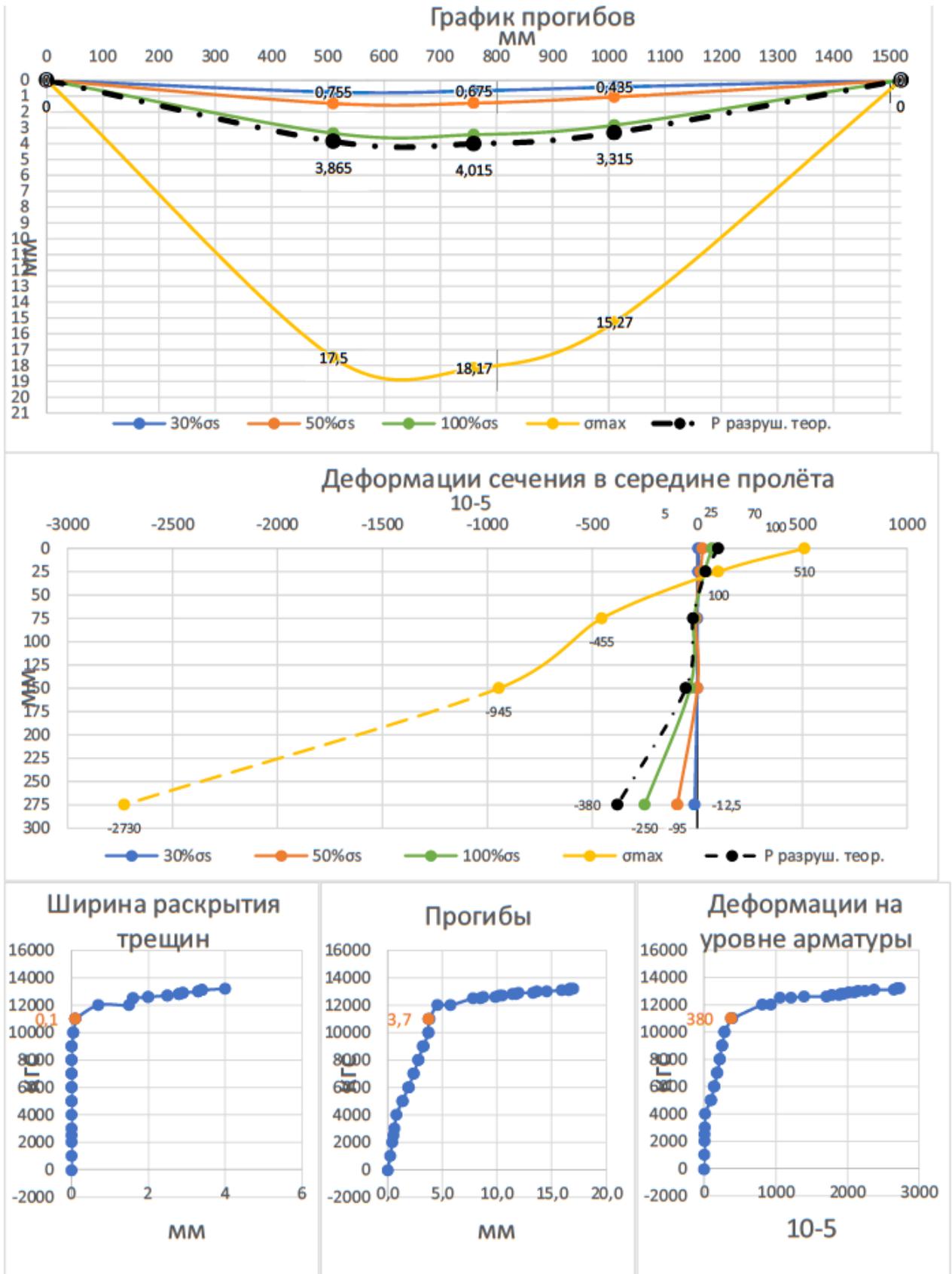


Рисунок 14 – Результаты испытаний на изгиб балки

С учётом незначительного влияния муфтовых соединений арматуры Ав500П и Ав600П, а также наличия расстояния между контактируемыми в муфте стержнями вплоть до 0,5 см, на прочность и деформативность при сжатии, есть основание проектировать при сжатии железобетонные элементы в местах их механических соединений муфтами по аналогии с проектированием сжатых элементов с цельными стержнями.

Муфтовые соединения растянутой арматуры следует располагать в зонах нулевых или минимальных усилий, а в случае их расположения в зонах максимальных усилий необходимо учитывать податливость этих соединений при расчёте ширины раскрытия трещин в железобетоне. Во многих случаях податливость муфтовых соединений может быть использована в расчётах статически неопределимых конструктивных систем с целью конкретного обозначения местоположения образования пластических шарниров.

Подтверждена возможность использования методики СП 63.13330.2018 с применением пониженного коэффициента  $\varphi_2=0,4$  вместо 0,5 в формуле 8.128 СП 63.13330.2018 для изгибаемых элементов с новой арматурой. Применение данного коэффициента позволит снизить расход арматуры в изгибаемых железобетонных конструкциях, рассчитываемых по второму предельному состоянию, на 10-20%.

Рекомендовать при проектировании статически неопределимых конструктивных систем с новой арматурой, для увеличения способности их расчётных сечений к пластическому деформированию, массово использовать приём конструирования этих сечений, применённый в опытах из данной диссертации (изменение геометрии сечения), что имело бы большую ценность в случае расчётов на сейсмическое, ударное, взрывное внешнее воздействие.

4-5 кратный запас прочности сцепления относительно расчётных даёт основание снизить длину анкеровки нахлёстки стержней нового вида арматуры с четырёхрядным периодическим профилем.

Предлагается в формуле 10.2 СП 63.13330.2018 коэффициент  $\eta_1$  принять равным 2,8 вместо 2,5, что позволит уменьшить длину анкеровки нахлёста стержней примерно на 12%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования получены следующие результаты:

1. По результатам экспериментальных исследований по определению механических свойств новых видов арматурного проката с эффективным четырёхрядным периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П при статическом и динамическом нагружении сделаны следующие выводы:

- арматура классов Ав500П и Ав600П соответствует требованиям ГОСТ 34028-2016 по механическим свойствам, в том числе, по категории свариваемости (С), пластичности (Е) и выносливости (У);

- арматура класса Ав500П диаметров 12 ÷ 40 мм и арматура класса Ав600П диаметров 12 ÷ 25 мм удовлетворяют требованиям ГОСТ 34028-2016 в части многоциклового выносливости. Усталостная прочность арматуры класса Ав500П диаметром 16 мм выше нормируемой более, чем на 33%.

2. По результатам экспериментальных исследований резьбовых муфтовых соединений винтовой арматуры классов Ав500П и Ав600П на растяжение, сжатие, на многоциклового и малоциклового нагрузки, в том числе резьбоклеевых муфтовых соединений с разными клеевыми составами на растяжение сделаны следующие выводы:

- применение арматуры с винтовым прокатным профилем позволяет производить стыкование арматурных стержней механическим способом с использованием муфтовых резьбовых соединений взамен сварных и нахлесточных.

3. По результатам экспериментальных исследований по оценке сцепления арматуры классов Ав500П и Ав600П с бетоном сделаны следующие выводы:

- арматурный прокат классов Ав500П и Ав600П с винтовым четырёхрядным профилем имеет прочность сцепления с бетоном выше, а деформативность ниже, чем у арматуры с двухсторонним серповидным (европейским) и винтовым (аналог GEWI Stahl) профилем на 15 ÷ 30%;

- конструкция профиля новой арматуры с четырёхрядным расположением поперечных рёбер на поверхности в шахматном порядке обеспечивает равномерное распределение распорных усилий от поперечных рёбер по периметру и длине стержня и уменьшает их влияние на прочность сцепления арматуры с бетоном, в особенности в запредельной стадии деформирования, после достижения предела текучести в металле арматуры ( $\sigma_s \geq \sigma_{T(02)}$ );

- установлено влияние величины критерия Рема на прочность сцепления с бетоном (длину анкеровки и нахлёста стержней) и ширину раскрытия трещин. Оптимальной величиной критерия Рема является  $f_R \geq 0,07$ . Для эффективного многорядного арматурного профиля класса А500СП и четырёхрядного профиля классов Ав500П, Ав600П браковочная величина  $f_R \geq 0,075$ , что обеспечивает малую ширину раскрытия трещин и высокую прочность сцепления как в эксплуатационной, так и в запредельной стадии деформирования ( $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{s(02)}$ ).

- длина анкеровки арматуры класса Ав500П и Ав600П ниже нормируемой величины в 4 ÷ 5 раз, что даёт основание рекомендовать уменьшения в нормах базовой длины анкеровки ( $l_{0,an}$ ) для данной арматуры.

4. По результатам проведённых экспериментальных исследований прочности и деформативности сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов, армированных арматурой классов Ав500П и Ав600П, в том числе с резьбовыми муфтовыми соединениями, сделаны следующие выводы:

- эффективность применения винтовой арматуры Ав500П и Ав600П в сжатых, растянутых и изгибаемых элементах, изготовленных из бетонов классов В30÷В60;

- эффективность применения в сжатых железобетонных элементах муфтовых резьбовых контактных, частично контактных и бесконтактных стыковых соединений;

- при выполнении сжатых муфтовых соединений четырёхрядной винтовой арматуры не требуется специального торцевания соединяемых концов стержней и допускается зазор между ними до 10 мм. В случае плотного накручивания соединительных муфт на концы стержней, возможно их использование без контргаек;

- для винтовой четырёхрядной арматуры диаметром до 16 мм в растянутых железобетонных элементах возможно применение соединительных муфт с контргайками, затянутыми с усилием 350 Н·м, диаметром 20 мм – с усилием 1500 Н·м. При внесении дополнительных конструктивных изменений возможно применение соединительных муфт для винтовой арматуры диаметром 25 – 40 мм с затяжкой контргаек усилием 2000 - 3000 Н·м. Для винтовой арматуры диаметром более 20 мм для обеспечения требований действующих норм по деформативности целесообразно использование резьбоклевых соединений;

- для обеспечения эксплуатационной надёжности железобетонных конструкций за счёт пластического деформирования их расчётных сечений, в том числе, при аварийных динамических нагружениях следует при проектировании использовать различные приёмы конструирования для снижения относительной высоты сжатой зоны бетона сечений этих элементов, например, за счёт изменения их высоты и геометрической формы (использование приопорных вутов для балок, Т и П-образных сечений для балок и пилонов колонн, капителей колонн для безбалочных перекрытий и др.).

5. На основе результатов проведённых экспериментальных исследований разработаны рекомендации по расчёту и конструированию железобетонных конструкций

с учётом прочностных и деформативных характеристик новой арматуры, её сцепления с бетоном и применения муфтовых резьбовых соединений стержней:

- предлагается в формуле 10.2 СП 63.13330.2018 коэффициент  $\eta_1$  принять равным 2,8 вместо 2,5, что позволит уменьшить длину анкеровки нахлёста стержней примерно на 12%;
- предлагается в формуле 8.128 СП 63.1330.2018 величину коэффициента  $\varphi_2$  снизить и принять  $\varphi_2=0,4$  вместо 0,5 для изгибаемых элементов с новой арматурой. Применение данного коэффициента позволит снизить расход арматуры в изгибаемых железобетонных конструкциях, рассчитываемых по второму предельному состоянию, на 10-20%.

#### **Перспективы дальнейшей разработки темы исследований:**

1. Продолжение испытаний по определению механических свойств новой арматуры и железобетонных элементов с её использованием.
2. Разработка предложений по расчёту прочности, трещиностойкости и деформативности для внесения в СП 63.13330.2018 и СП 14.13330.2018.
3. Оценка возможности учёта в расчётах статически неопределимых железобетонных конструкций податливости муфтовых соединений с целью повышения их способности к перераспределению усилий и диссипации энергии внешнего воздействия, в т.ч. сейсмического и ударного.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях RSCI**

1. Тихонов И.Н., Саврасов И.П., Харитонов В.А., **Тихонов Г.И.**, Цыба О.О., Кузьменко Н.В. Основные положения ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. технические условия» и их применение при проектировании железобетонных конструкций // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 27-34.
2. Тихонов И.Н., Смирнова Л.Н., Бубис А.А., **Тихонов Г.И.**, Сафонов А.А. О новых видах арматурного проката для сейсмостойкого строительства // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2019. № 5. С. 20-27.
3. Гришин Г.Е., **Тихонов Г.И.**, Саврасов И.П., Окольников Г.Э. Определение податливости винтовых муфтовых соединений арматуры класса прочности 500 Н/мм<sup>2</sup> // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2022. Т. 18. № 5. С. 475–484.
4. Тихонов И.Н., Крылов С.Б., Звездов А.И., Смирнова Л.Н., **Тихонов Г.И.**, Гончаров Е.Е. Оценка сейсмостойкости зданий из железобетона на стадии проектирования // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. №5. С. 31-46.

### **Публикации в изданиях, входящих в перечень РУДН/ВАК**

5. Окольников Г.Э., **Тихонов Г.И.**, Гришин Г.Е. Сцепление с бетоном новых видов арматурного проката для строительства // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2020. Т. 21. № 2. С. 144–152.
6. Гришин Г.Е., **Тихонов Г.И.**, Окольников Г.Э. Обзор высокопрочной винтовой арматуры, применяемой в предварительно напряженных конструкциях // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2020. Т. 21. № 1. С. 81–93.

### Публикации ранее пятилетнего периода

7. Тихонов И.Н., Блажко В.П., **Тихонов Г.И.**, Казарян В.А., Краковский М.Б., Цыба О.О. Инновационные решения для эффективного армирования железобетонных конструкций // Жилищное строительство. – 2018. – № 8. – С. 3-10.

### Публикации в других научных журналах и изданиях

8. **Тихонов Г.И.**, Блажко В.П., Тихонов И.Н., Качановская Л.И., Касаткин С.П. Исследования железобетонных центрифугированных стоек опор ЛЭП с арматурой класса Ау1000П // Вестник НИЦ Строительство. – 2023. – № 1(36). – С. 99-117.
9. Окольников Г.Э., **Тихонов Г.И.** Оценка эффективности применения винтовой арматуры класса Ав600П в сжатых железобетонных элементах // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 3, № 3. – С. 32-48.

### Авторские свидетельства и патенты

1. Патент на изобретение RU 2680153 С2 Арматурный стержень периодического профиля. 18.02.2019. Тихонов И.Н., Звездов А.И., Мешков В.З., Игнатова Н.В., **Тихонов Г.И.**
2. Патент на изобретение RU 2696730 С1 Способ возведения крупнопанельных зданий и сооружений. 5.08.2019. Блажко В.П., Бубис А.А., Смирнова Л.Н., Тихонов И.Н., **Тихонов Г.И.**
3. Патент на полезную модель RU 198093 U1 Муфта для соединения арматурных стержней. 17.06.2020. Тихонов И.Н., **Тихонов Г.И.**, Кузьменко Н.В.
4. Патент на полезную модель RU 208108 U1 Защитная оболочка ядерного реактора. 2.12.2021. Тихонов И.Н., Крючков В.Г., Звездов А.И., Соколов Б.С., **Тихонов Г.И.**, Гришин Г.Е.
5. Патент на изобретение RU 2756626 С1 Бурунабивная свая и её арматурный каркас. 4.10.2021. Тихонов И.Н., **Тихонов Г.И.**, Кузьменко Н.В., Гришин Г.Е.
6. Патент на изобретение RU 2784712 С1 Защитная оболочка ядерного реактора. 29.11.2022. Тихонов И.Н., Крючков В.Г., Звездов А.И., Соколов Б.С., **Тихонов Г.И.**
7. Патент на изобретение RU 2779955 С2 Способ крепления горных выработок. 15.09.2022. Тихонов И.Н., **Тихонов Г.И.**, Кузьменко Н.В., Цыба О.О.

## **АННОТАЦИЯ ДИССЕРТАЦИИ**

**Тихонов Георгий Игоревич**

«Прочность, трещиностойкость и деформативность сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов с четырёхрядной винтовой арматурой»

Диссертационная работа посвящена исследованию прочности, трещиностойкости и деформативности сжатых, растянутых и изгибаемых железобетонных элементов с четырёхрядной винтовой арматурой.

В рамках диссертационного исследования подведены итоги многолетних разработок, исследований и внедрения инновационной отечественной арматуры, чьи прочностные, деформационные и прочие потребительские показатели позволяют рекомендовать её для повсеместного использования в строительстве, особенно в ответственных зданиях и сооружениях. Оценены технологичность производства и применения известных видов арматурного проката массового использования с различными видами периодического профиля поверхности и их потребительские свойства.

Исследованы механические свойства и сцепление с бетоном новых видов арматурного проката с эффективным многорядным периодическим профилем классов Ав500П и Ав600П. Исследованы прочность и деформативность резьбовых муфтовых соединений винтовой прокатной арматуры классов Ав500П и Ав600П.

Проведены исследования работы инновационной арматуры, в том числе с резьбовыми муфтовыми соединениями, в железобетонных элементах при различных видах нагружения (сжатие, растяжение, изгиб).

На основе результатов проведённых исследований разработаны рекомендации по расчёту и конструированию железобетонных конструкций с учётом прочностных и деформативных характеристик новой арматуры, её сцепления с бетоном и применения муфтовых резьбовых соединений стержней.

## **ABSTRACT OF THE DISSERTATION**

**Tikhonov Georgii Igorevich**

«Strength, crack resistance and deformability of compressed, stretched and bent reinforced concrete elements with four-row screw reinforcement»

The dissertation work is devoted to the study of strength, crack resistance and deformability of compressed, stretched and bent reinforced concrete elements with four-row screw reinforcement.

As part of the dissertation research, the results of many years of development, research and implementation of innovative domestic fittings, whose strength, deformation and other consumer indicators allow us to recommend it for widespread use in construction, especially in responsible buildings and structures, are summarized. The manufacturability of the production and application of known types of rebar rolled products of mass use with various types of periodic surface profiles and their consumer properties are evaluated. The mechanical properties and adhesion to concrete of new types of reinforcing bars with an effective multi-row periodic profile of classes Av500P and Av600P are investigated.

The strength and deformability of threaded coupling joints of screw rolling fittings of classes Av500P and Av600P are investigated.

The work of innovative fittings, including those with threaded couplings, in reinforced concrete elements under various types of loading (compression, stretching, bending) has been studied.

Based on the results of the conducted research, recommendations have been made for the calculation and design of reinforced concrete structures, taking into account the strength and deformative characteristics of the new reinforcement, its adhesion to concrete and the use of threaded couplings of rods.