

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Лупин Вадим Павлович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ ИЗГИБАЕМЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С МУФТОВЫМИ
СОЕДИНЕНИЯМИ АРМАТУРЫ**

Направление подготовки
08.04.01 – «Строительство»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Никитина Елена Николаевна
Проверено
25.06.2026 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель: Дзюба Виктор Александрович
кандидат технических наук, доцент

Рецензент: Головки Александр Владимирович
доцент кафедры "Строительные конструкции,
здания и сооружения" Дальневосточного госу-
дарственного университета путей сообщения,
кандидат технических наук.

Защита состоится «17» июня 2026 г. в 12 часов 00 мин. на заседании
государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки
08.04.01 «Строительство» в Комсомольском-на-Амуре государственном уни-
верситете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27,
ФГБОУ ВО «КНАГУ» ауд. 212/1.

Автореферат разослан 13 июня 2026 г.

Секретарь ГЭК

И.В. Погорельских

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Современное строительство предъявляет высокие требования к прочности, надежности и долговечности конструкций. Особенно это актуально для железобетонных изделий, которые широко используются в строительстве зданий и сооружений различного назначения. Одним из ключевых факторов, определяющих эксплуатационные характеристики железобетонных конструкций, является их предельная кривизна. Предельная кривизна - это величина, характеризующая способность конструкции к деформациям под действием внешних нагрузок, и ее значение напрямую влияет на безопасность и долговечность сооружений. В условиях современного строительства, где часто используются различные соединения арматуры, включая муфтовые, необходимо детальное изучение влияния этих соединений на предельную кривизну.

Муфтовые соединения арматуры представляют собой один из способов соединения стержней арматуры, позволяющий обеспечить надежный и прочный контакт между элементами конструкции. Они находят широкое применение в железобетонных конструкциях, особенно в тех случаях, когда необходимо соединить арматуру на больших длинах или в труднодоступных местах. Однако, несмотря на их распространенность, вопросы, касающиеся влияния муфтовых соединений на предельную кривизну изгибаемых железобетонных конструкций, остаются недостаточно изученными. Это создает необходимость в проведении глубокого анализа и исследования данной проблемы, что и является целью настоящей данной работы.

Существует несколько типов муфтовых соединений (резьбовые, обжимные, болтовые), каждый из которых обладает уникальными конструктивными особенностями и областью применения, обусловленными инженерным расчетом, спецификой проектных задач и условиями эксплуатации.

Основные преимущества муфтовых соединений:

- уменьшение расхода металлопроката за счёт отсутствия нахлёста;

- повышение темпов монтажа арматурных каркасов;
- снижение трудоёмкости и численности рабочих благодаря высокой автоматизации процесса;
- отсутствие необходимости привлекать сварщиков высокой квалификации.

Общеизвестно, что традиционные способы соединения (сварные швы или нахлест) сопряжены либо с перерасходом стали (до 20 %), либо с ослаблением сечения в зоне термического влияния. Применение муфт позволяет значительно сократить расход арматуры и ускорить возведение монолитных конструкций. Тем не менее, на сегодняшний день остаются недостаточно изученными вопросы деформативности и предельной кривизны железобетонных элементов, армированных стержнями с муфтовыми стыками. Малочисленны экспериментальные данные о поведении таких соединений под нагрузкой вплоть до разрушения.

Именно это обстоятельство обуславливает актуальность настоящей работы. Для обеспечения надёжного и экономичного проектирования монолитных зданий с муфтовыми соединениями арматуры необходимо проведение дополнительных исследований, включая натурные испытания образцов арматуры с муфтами и численное моделирование изгибаемых железобетонных элементов с учётом реальных диаграмм деформирования.

Вопросы деформативности арматуры с муфтовыми соединениями остаются недостаточно изученными, что требует проведения дополнительных экспериментальных и теоретических исследований для обеспечения надёжности и экономичности монолитных зданий, в которых применяются муфтовые соединения арматуры.

Целью диссертационной работы «Исследование предельной кривизны изгибаемых железобетонных конструкций с муфтовыми соединениями арматуры» является экспериментальное и теоретическое изучение предельной кривизны изгибаемых железобетонных элементов, армированных стержнями с муфтовыми соединениями, а также разработка практических рекомендаций

по учёту деформативных особенностей таких соединений при проектировании.

Научная новизна работы заключается в получении новых экспериментальных данных о деформативности арматуры с муфтовыми соединениями (в том числе с использованием испытательной машины Autograph AG-X plus), в установлении закономерностей изменения предельной кривизны изгибаемых балок в зависимости от наличия муфт и относительной высоты сжатой зоны.

Практическая ценность

Настоящая диссертация выполнена в 2024–2026 г. на кафедре «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (научный руководитель – к.т.н., доцент В.А. Дзюба). Экспериментальная часть работы реализована на базе лаборатории Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения РАН г. Комсомольск-на-Амуре.

Полученные в ходе выполнения работы экспериментальные данные об упруго-пластических свойствах арматуры с муфтовыми соединениями (испытания на растяжение, проведённые в лаборатории ИМиМ ДВО РАН (г. Комсомольск-на-Амуре) на универсальной машине Autograph AG-X plus), а также результаты численного моделирования предельной кривизны изгибаемых железобетонных балок позволяют повысить достоверность проектирования монолитных конструкций многоэтажных зданий с муфтовыми соединениями.

Апробация работы и публикации

Экспериментальные исследования арматурных стержней с муфтовыми соединениями проведены автором в 2025 году в лаборатории механических испытаний ИМиМ ДВО РАН (г. Комсомольск-на-Амуре) с использованием универсальной испытательной системы Autograph AG-X plus. Автор выражает благодарность сотрудникам института за содействие в проведении натуральных испытаний.

Объем и структура диссертации

В диссертационной работе представлены: введение, 3 главы, библиографический список из 50 наименований. Работа отображена на 107 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков, 4 таблицы

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи, предмет и объект исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость, апробация результатов.

В **первой главе** «Соединения арматуры в железобетонных конструкциях» проведен системный анализ существующих способов соединения арматурных стержней в монолитных и сборных железобетонных конструкциях. Показано, что железобетон, как композитный материал, остается доминирующим конструкционным решением, однако статистические данные свидетельствуют, что до 70 % отказов на стадиях возведения и эксплуатации связаны с дефектами именно в зонах стыков. Данное обстоятельство переводит задачу выбора типа соединения из разряда локальных технологических операций в разряд критических условий безопасности и долговечности объекта.

В работе рассмотрены три принципиально различные по физической природе группы соединений:

1. **Сварные соединения.** Применение контактной стыковой, дуговой с накладками и ванной сварки обеспечивает жесткий узел, однако чувствительность к химическому составу стали ведет к образованию хрупких мартенситных структур в зоне термического влияния и падению усталостной прочности. Этот недостаток ограничивает применение сварки для термически упроченных сталей классов А500СП, А600 и выше.

2. **Соединения внахлестку.** Механизм передачи усилия через бетонное ядро, несмотря на простоту исполнения, вызывает асимметричную передачу усилий и раскалывающие напряжения в защитном слое. Метод ведет к

перерасходу арматурной стали до 25 % и конструктивно неприемлем в густоармированных узлах и при диаметре стержней более 40 мм.

3. Механические муфтовые соединения. Рассмотрены как наиболее прогрессивное технологическое решение, лишенное термического воздействия на металл и исключая зависимость от сцепления с бетоном.

Детальный обзор классификации муфт показал, что они подразделяются по методу фиксации на обжимные (опрессованные), резьбовые, болтовые и конические. Особое внимание уделено **обжимному соединению**, формируемому путем холодного пластического деформирования стальной гильзы гидравлическим прессом. Металл муфты вдавливается между поперечными ребрами арматурного профиля, создавая надежный механический замок без ослабления сечения резьбой.

Установлено, что ключевыми преимуществами муфтовой технологии являются:

- обеспечение равнопрочности стыка основному стержню при статических и циклических нагрузках;
- компактность узла, достигаемая за счет исключения нахлесточных перепусков;
- снижение расхода арматуры на 20–25 % и повышение скорости монтажа независимо от погодных условий.

В главе проанализирована нормативная база, в частности введенный в действие с 1 июня 2025 года ГОСТ 34278-2024 «Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Технические условия», гармонизированный с ISO 15835-2:2018. Рассмотрены технологические аспекты изготовления муфт: холодная и горячая накатка резьбы, механическая обработка резанием, а также производство обжимных гильз из цельнотянутых труб. Показано, что холодная накатка формирует благоприятные сжимающие напряжения в вершинах резьбового профиля, а отсутствие концентраторов напряжений в обжимных муфтах минимизирует риск хрупкого разрушения.

Во второй главе «Экспериментальные исследования муфтовых соединений арматуры» представлены программа, методика и результаты экспериментального определения физико-механических свойств обжимных муфтовых соединений стержневой арматуры класса А500С. Целью испытаний являлось получение исходных данных для диаграммных расчётов изгибаемых железобетонных элементов, а также количественная оценка влияния муфтового стыка на жёсткость и прочность арматурного стержня.

Экспериментальная база и нормативное обеспечение. Испытания выполнялись в аккредитованной лаборатории Института машиноведения и металлургии ДВО РАН на универсальной электромеханической разрывной машине Shimadzu AG-250kN Xplus (класс точности 1 по ISO 7500-1, диапазон нагрузок до 250 кН). Методика статических осевых испытаний соответствовала требованиям ГОСТ 12004-81 и ГОСТ 34227-2024. Нагружение осуществлялось в квазистатическом режиме с постоянной скоростью перемещения траверсы 5 мм/мин; деформации регистрировались прецизионным экстензометром, что позволило построить полные диаграммы «нагрузка – удлинение» без потери информации на нисходящей ветви.

Характеристика образцов. Объектом исследования служила арматура периодического профиля класса А500С (по СТО АСЧМ 7-93). Выбор данного класса обусловлен его массовым применением в монолитном домостроении и сочетанием высокой прочности ($\sigma_t \geq 500$ МПа, $\sigma_b \geq 600$ МПа) с пластичностью ($\delta_5 \geq 14$ %). Для испытаний были изготовлены две серии образцов: контрольная (цельные стержни) и опытная (стержни, состыкованные обжимными муфтами). Соединения выполнялись в лабораторных условиях гидравлическим обжатием стальных гильз, что обеспечило механическое заклинивание муфты на поперечных рёбрах арматуры без термического воздействия. Каждая серия включала статистически достаточное количество образцов (не менее двух, согласно программе испытаний).

Результаты испытаний и их анализ. По данным эксперимента построены диаграммы растяжения цельных стержней и образцов с муфтовыми со-

единениями. Качественно характер деформирования обеих групп идентичен: на кривых отчетливо выделяются упругий участок, площадка текучести и стадия деформационного упрочнения.

В третьей главе «Расчет железобетонных конструкций с муфтовыми соединениями рабочей арматуры диаграммным методом» рассмотрен метод расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при изгибе по реальным диаграммам бетона и арматуры.

Для определения напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при изгибе необходим расчет изгибающих моментов и кривизны. Такой расчет позволяет производить программа «GID». В качестве нагрузки на каждом этапе принимается деформация на крайнем сжатом волокне бетона. Проектирование железобетонной конструкции в программном комплексе «GID» начинается с построения диаграммы сжатого бетона. Данная диаграмма описывается в виде составной функции, включающей три участка:

- Криволинейный участок 1 при изменении деформации от нуля до ε_L ;
- Прямолинейный участок 2 при деформации от ε_L до $\varepsilon_{0,25}$;
- Прямолинейный участок 3 при деформации от $\varepsilon_{0,25}$ до ε_0 .

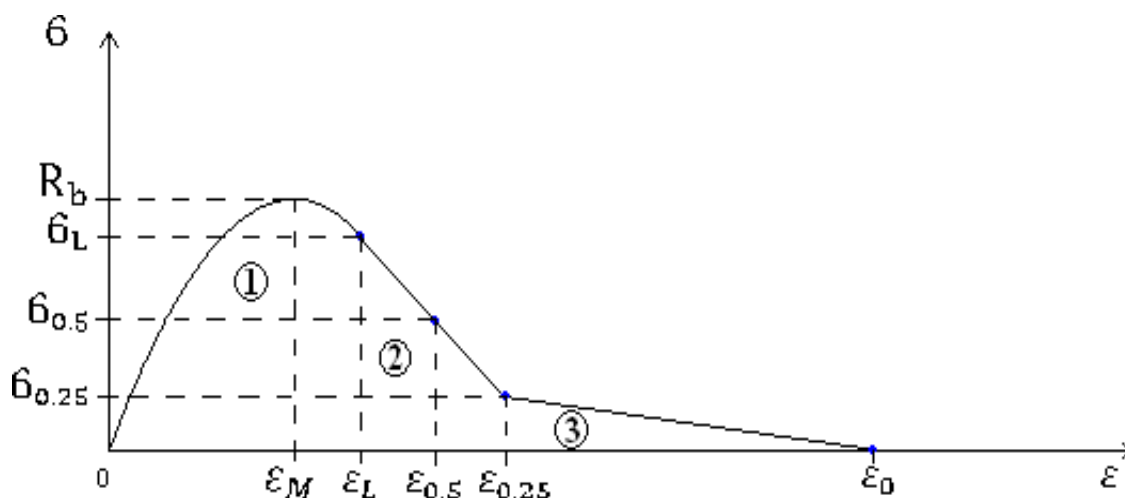


Рисунок 1 – Полная диаграмма деформирования сжатого бетона

Для описания восходящего участка и начального этапа стадии разрушения

($0 < \varepsilon_b \leq \varepsilon_l$) используется зависимость, приведенная в работе В. А. Дзюбы [17]:

$$\sigma_b = R_b \frac{D \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_M}}{\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_M}\right)^2 + (D - 2) \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_M} + 1};$$

где σ_b – текущее напряжение, МПа;

R_b – призменная прочность бетона, МПа;

D – константа;

ε_b – текущая деформация;

ε_M – деформация, соответствующая призменной прочности бетона.

Нисходящая ветвь диаграммы сжатия бетона описывается двумя прямыми линиями:

– в интервале $\varepsilon_L < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{0,25}$ напряжение σ_b вычисляется по формуле:

$$\sigma_b = M - N * \varepsilon_b;$$

– в интервале $\varepsilon_{0,25} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_0$ напряжение σ_b вычисляется по формуле:

$$\sigma_b = M_{0,25} - N_{0,25} * \varepsilon_b.$$

Диаграмма деформирования бетона растянутой зоны описывается уравнениям (3.1 – 3.3) с заменой в формулах величины R_b на $R_{bt} = 0,1R_b$:

$$\sigma_{bt} = R_{bt} \frac{D \frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_{Mt}}}{\left(\frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_{Mt}}\right)^2 + (D - 2) \frac{\varepsilon_{bt}}{\varepsilon_{Mt}} + 1};$$

Нисходящая ветвь диаграммы сжатия бетона описывается двумя прямыми линиями:

– в интервале $\varepsilon_L < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{0,25}$ напряжение σ_b вычисляется по формуле:

$$\sigma_{bt} = M_t - M_t * s_{bt};$$

– в интервале $\varepsilon_{0,25} < \varepsilon_b \leq \varepsilon_0$ напряжение σ_b вычисляется по формуле:

$$\sigma_{bt} = M_{0,25t} - M_{0,25t} * \varepsilon_{bt}.$$

Диаграмма деформирования арматуры представляется в виде кусочно-линейной функции. Деформация растянутой арматуры вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{sk} = \varepsilon_{bfk} \frac{(h - x_k - a)}{x_k};$$

где x_k – высота сжатой зоны бетона на k-ом этапе нагружения.

При проведении машинных экспериментов использовались арматурные стали классов А500С с муфтовыми соединениями и без. Диаграмма растяжения приведена на рисунке 3.1.2.

Диаграмма растяжения арматуры класса А500С и А500С с муфтовыми соединениям

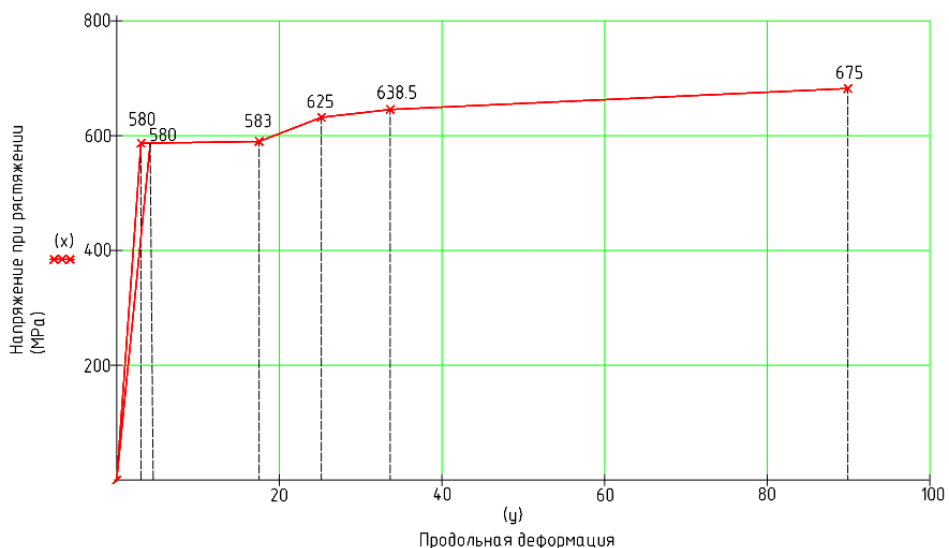


Рисунок 2 - Диаграмма растяжения арматуры класса А500С с муфтовыми соединениями и без

Для оценки условия равновесия на каждом участке нагружения k проверяется выполнение условия:

$$N_{bk} = N_{ck} + N_{btk}.$$

При этом выражение для N_b имеет вид:

$$N_b = \frac{b * x}{\varepsilon_{b,f}} * \int_0^{\varepsilon_{b,f}} \sigma_b(\varepsilon_b) d\varepsilon_b;$$

где b – ширина элемента;

x – высота сжатой зоны бетона;

$\varepsilon_{b,f}$ – деформация крайнего сжатого волокна бетона.

Равнодействующая растянутого бетона:

$$N_{bt} = \frac{b * (h - x)}{\varepsilon_{bt,f}} * \int_0^{\varepsilon_{bt,f}} \sigma_{bt}(\varepsilon_{bt}) d\varepsilon_{bt}.$$

Усилие в арматуре определяется по формуле

$$N_s = \sigma_{sf} * A_s;$$

где A_s – площадь сечения арматуры, заданная пользователем.

Для вычисления внутреннего изгибающего момента используется выражение:

$$M_{intk} = M_{bk} + M_{sk} + M_{btk}.$$

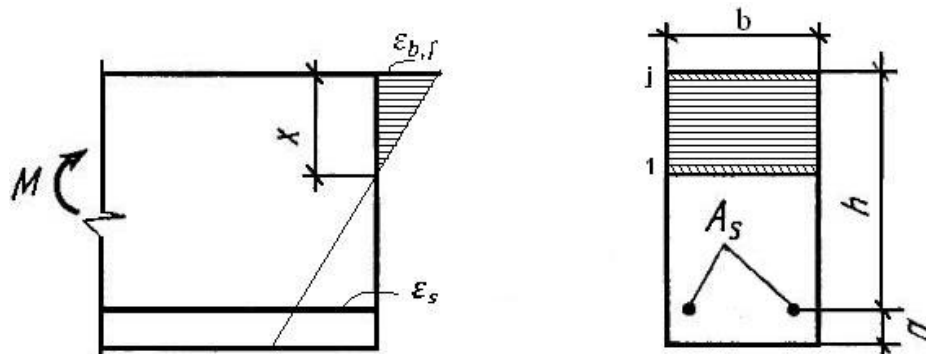


Рисунок 3 – Деформация железобетонного элемента при изгибе

За основу взята теоретическая разработка программы «GID». На её основе был произведён машинный эксперимент. В данном эксперименте исследовались железобетонные балки сечением:

- 0,6 * 0,2 м; класс бетона – В20.

Были проведены две группы машинных экспериментов. В первой группе армирование осуществлялось арматурой класса А500С, а во второй класса А500С с муфтовым соединением. Используемые в расчетах диаграммы арматуры приведены ниже.

Исходные данные для ввода в программу «GID»:

- призмная прочность бетона – $R_{b,n} = 15$ МПа;
- начальный модуль упругости бетона для арматурного стержня класса А500С и стрежней с муфтовыми соединениями – $E_b = 27,5 * 10^3$ МПа;
- высота защитного слоя – $a = 0,06$ м.

В каждой группе машинных экспериментов варьировалась высота сжатой зоны ξ , так как значение относительной высоты сжатой зоны определяет способность изгибаемого элемента к пластическому или хрупкому деформированию. В итоге было проведено шесть машинных экспериментов, результаты варьируемых параметров для которых представлены на рисунках.

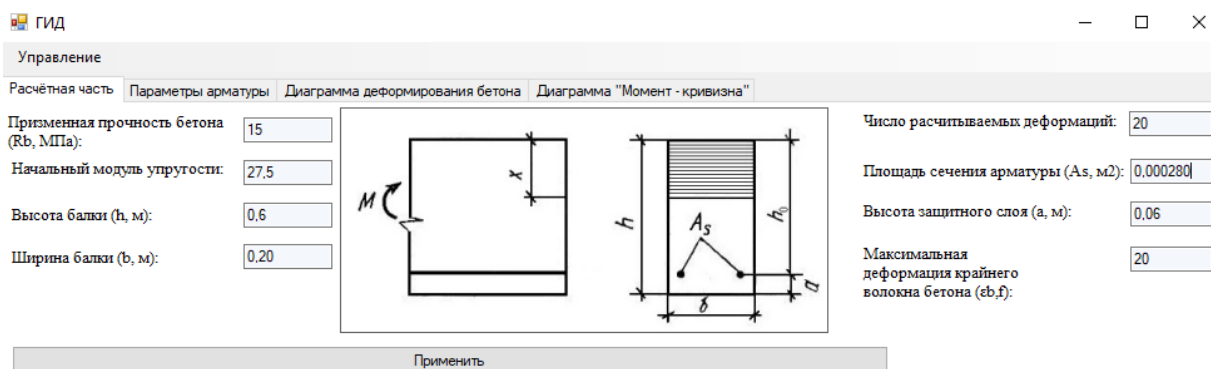


Рисунок 4 – Ввод данных машинных экспериментов арматуры А500С в программе «ГИД»

Ввод данных арматуры происходил по следующим значениям:

Таблица 2 – Исходные значения ввода данные арматуры

Арматура А500С		Арматура А500С с муфт. соед.	
0	0	0	0
580	2.7	580	2.88
583	17.5	583	17.68
625	25	625	25
638.5	33.52	638.5	33.52
675	90	675	90

Численное моделирование выполнялось в программном комплексе «ГИД» (разработка В.А. Дзюбы и Ю.С. Глушаковой, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, свидетельство о госрегистрации № 2014615125). В его основе заложен шагово-итерационный метод, реализующий деформационную модель железобетона и позволяющий отследить трансформацию напряжённо-деформированного состояния (НДС) изгибаемых элементов на всех этапах - от начального нагружения вплоть до полного физического разрушения.

В процессе счёта для каждого сечения вычислялся полный комплекс параметров НДС. В их число входят: эпюры нормальных напряжений в бетоне и арматуре, относительные деформации крайних фибров, текущая высота сжатой зоны и положение нейтральной оси. Путём интегрирования напряжений по сечению определялась величина внутреннего изгибающего момента. Расчёт вёлся при последовательном возрастании деформаций крайнего сжатого волокна с контролем равновесия усилий в сечении, благодаря чему удаётся корректно смоделировать стадии образования трещин, текучести арматуры и приближения к предельному состоянию.

Результаты моделирования в наглядной форме приведены на рисунках ниже.

С помощью программы «GID» был произведён расчет железобетонных балок и определены параметры напряжённо-деформированного состояния.

На основе экспериментальных данных, были построены графики «момент – кривизна». Первая серия – балки с обычным армированием сталью класса А500С (цельные стержни). Вторая серия – балки, армированные такой же сталью А500С, но с муфтовым соединением арматуры в растянутой зоне. Все графики строились по абсолютным значениям изгибающего момента, чтобы корректно сравнивать характер деформирования образцов при одинаковых уровнях нагружения вплоть до разрушения.

Полученные графики «момент – кривизна» приведены на рисунках 3.4.7 – 3.4.10. Они наглядно демонстрируют, как развивались деформа-

ции в балках по мере увеличения нагрузки. На всех графиках чётко прослеживаются основные стадии работы железобетона: условно-упругая стадия до образования трещин, стадия с трещинами, когда кривизна начинает расти быстрее, и стадия текучести арматуры, которой соответствует практически горизонтальный участок кривой или резкое снижение жёсткости. Сравнение двух серий показывает, что наличие муфтового соединения вносит определённые изменения в работу конструкции. Характер кривых для балок с муфтовым соединением отличается от кривых для цельных балок – это выражается как в угле наклона начальных участков, так и в величине предельной кривизны, достигнутой перед разрушением. Кроме того, графики позволяют оценить момент образования трещин, момент достижения текучести арматуры и предельный изгибающий момент для каждого образца, что в дальнейшем использовалось при сопоставлении несущей способности и деформативности.

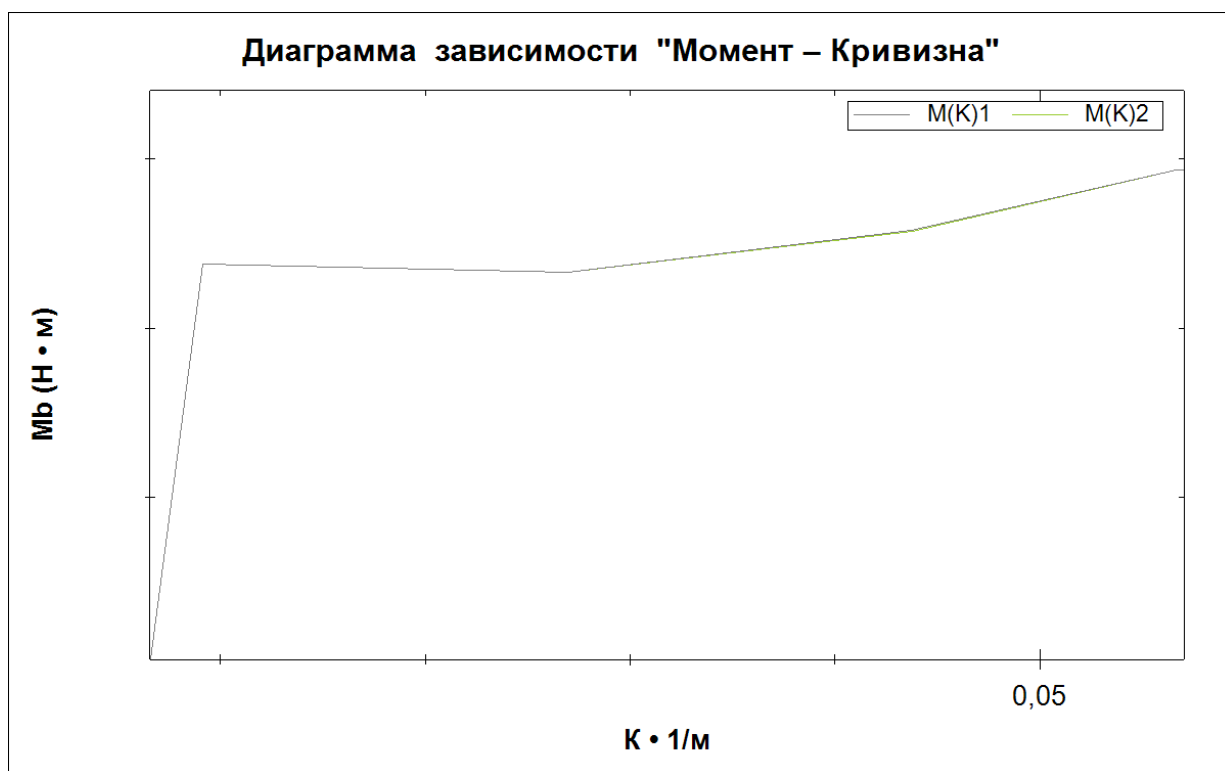


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости «Момент-кривизна» при абсолютных моментах для образцов арматуры А500 № 1, $\xi = 0,1$ (M(K)1) и арматуры А500 с муфтовым соединением № 1, $\xi = 0,1$ (M(K)2)

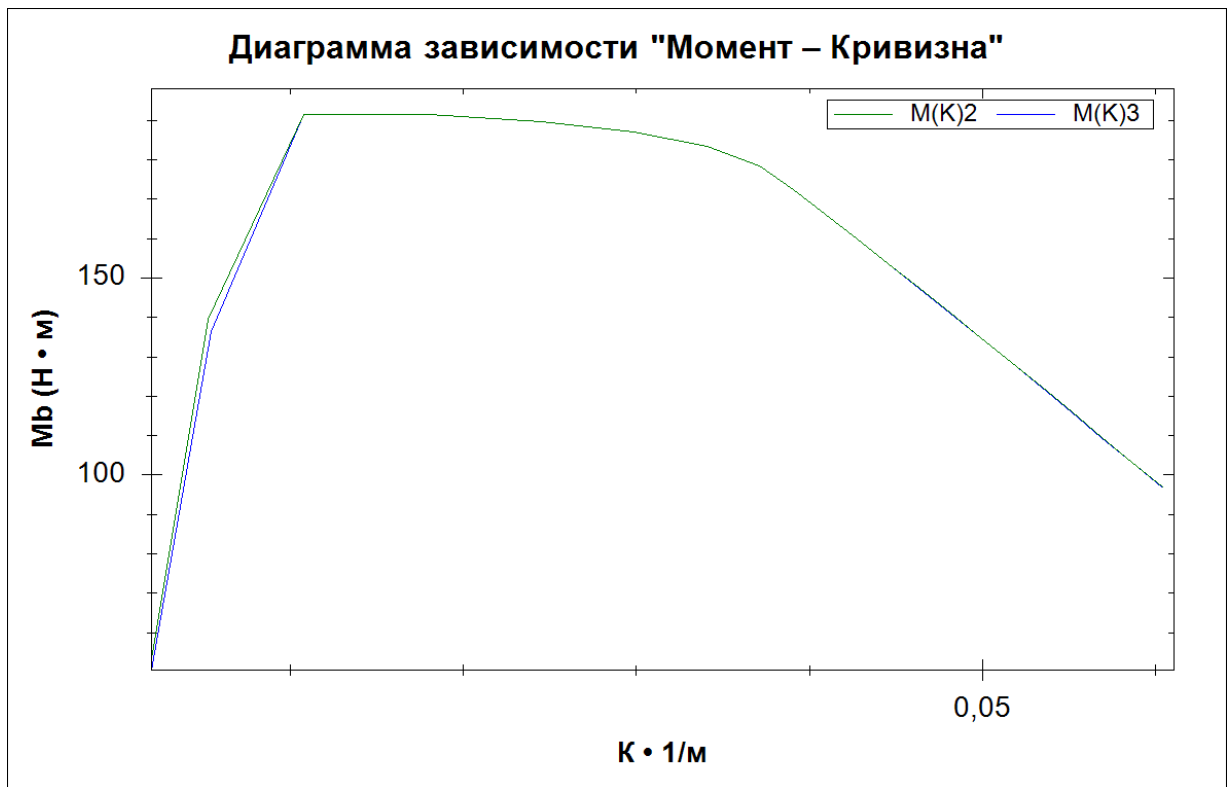


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости «момент-кривизна» при абсолютных моментах для образца арматуры А500 № 2, $\xi = 0,25$ (M(K)1) и арматуры А500 с муфтовым соединением № 2, $\xi = 0,25$ (M(K)2)

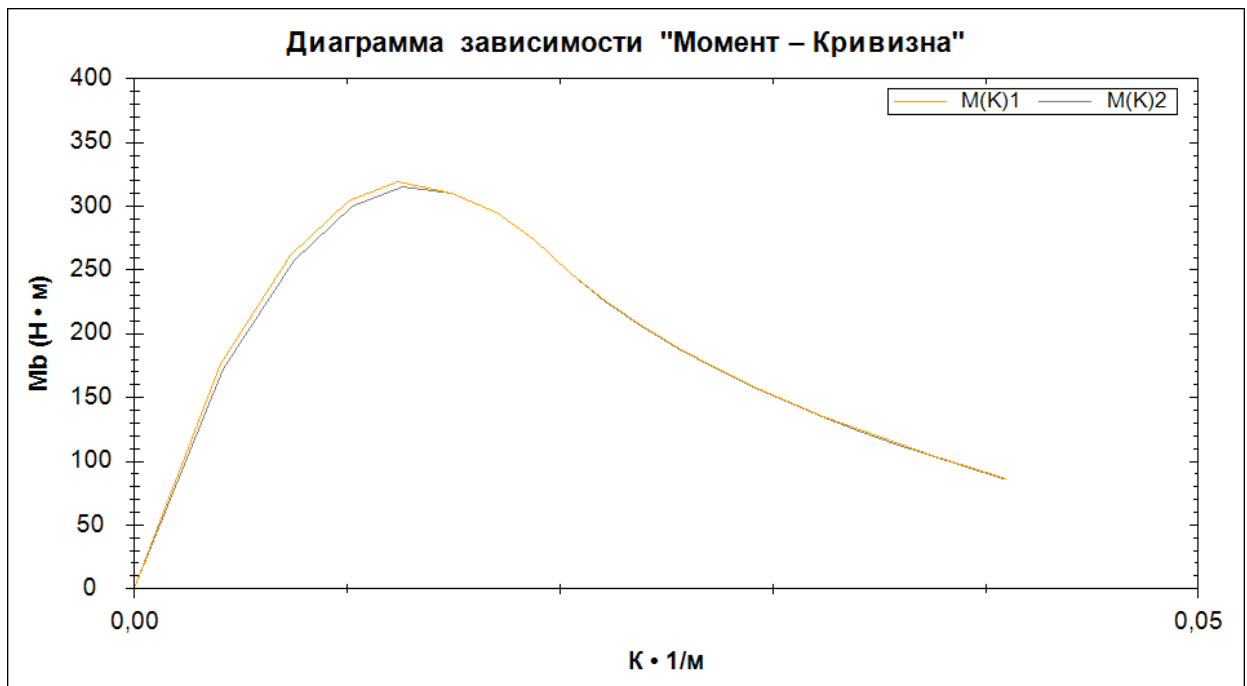


Рисунок 7 – Диаграмма зависимости «момент-кривизна» при абсолютных моментах для образца арматуры А500 № 3, $\xi = 0,5$ (M(K)1) и арматуры А500 с муфтовым соединением № 3, $\xi = 0,5$ (M(K)2)

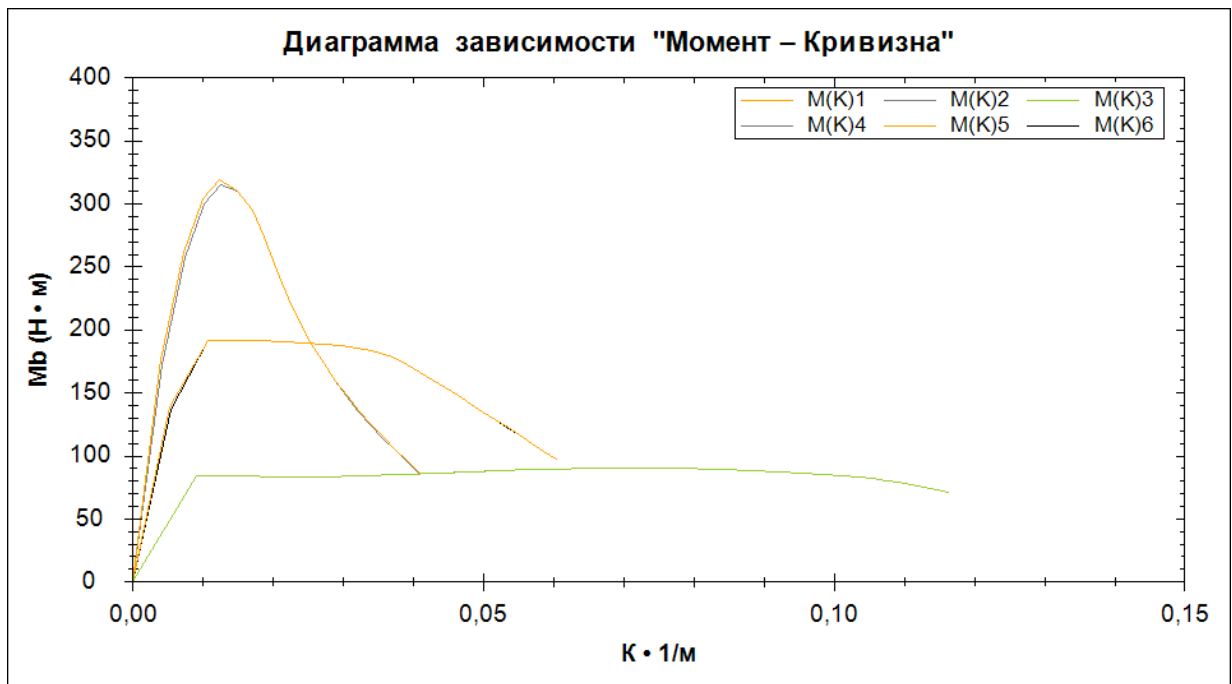


Рисунок 8 — Общие диаграммы зависимости «момент-кривизна» при абсолютных моментах для образцов машинных экспериментов

Выводы по диссертации

Исследования магистерской диссертации на тему «Исследование предельной кривизны изгибаемых железобетонных конструкций с муфтовыми соединениями арматуры» позволяют сделать следующие выводы:

1. Анализ проблемы надёжности железобетонных конструкций показал, что до 70 % всех отказов, фиксируемых как на этапе возведения, так и в процессе эксплуатации, инициированы дефектами арматурных соединений. Таким образом, узел стыковки стержней превращается в наиболее уязвимое звено несущей системы, от которого напрямую зависят безопасность и долговечность всего сооружения.

2. Традиционные способы – электродуговая сварка и нахлест без сварки – обладают фундаментальными физико-механическими ограничениями. Сварка создаёт зону термического влияния с риском образования мартенситных структур и падения усталостной прочности; нахлест ведёт к перерасходу металла до 25 % и асимметричной передаче усилий, вызывающей опасные раскалывающие напряжения в бетоне. Обе технологии не способны гарантировать соосность и стабильную жёсткость стыка, что критично для изгибаемых элементов.

3. Установлено, что механические муфтовые соединения, регламентированные введённым с 1 июня 2025 года ГОСТ 34278-2024, снимают перечисленные ограничения. Среди конструктивных типов (обжимные, резьбовые, болтовые) предпочтение для ответственных изгибаемых конструкций целесообразно отдавать резьбовым муфтам, обеспечивающим контролируемое усилие затяжки, равнопрочность цельному стержню и компактность узла.

4. Экспериментальные исследования выполнены автором в лаборатории механических испытаний ИМиМ ДВО РАН (г. Комсомольск-на-Амуре) на универсальной разрывной машине Shimadzu Autograph AG-X plus. Испытаниям подвергнуты две серии образцов арматуры класса А500С: цельные стержни и стержни, соединённые резьбовыми муфтами. Для каждого образца

получена полная диаграмма растяжения, зафиксированная с частотой оцифровки 5 кГц.

5. Сравнительный анализ диаграмм показал, что характер деформирования обоих типов образцов качественно одинаков: выражены упругий участок, площадка текучести и стадия упрочнения. Принципиальное различие зафиксировано только в наклоне начальной линейной ветви – у образцов с муфтами угол наклона меньше, что указывает на более высокую податливость составного стержня в упругой области. Количественно начальный модуль упругости муфтовых соединений оказался в среднем на 6 % ниже, чем у цельной арматуры. При этом предел текучести, временное сопротивление и длина площадки текучести у обеих серий практически совпадают (напряжение начала текучести составляет около 580 МПа). Таким образом, пластические и прочностные характеристики муфтовых стыков не уступают показателям сплошного стержня.

6. Для практических расчётов деформативности изгибаемых железобетонных элементов модуль упругости арматурных стержней с муфтовыми соединениями рекомендуется принимать со снижением на 15 % относительно значения для цельной арматуры. Данный запас учитывает как выявленную в эксперименте повышенную податливость, так и возможные технологические отклонения.

7. При математическом описании поведения бетона целесообразно использовать составную функцию, объединяющую криволинейный восходящий участок и два прямолинейных отрезка на нисходящей ветви (до уровня $\varepsilon_{0,25}$ и далее до ε_0). Такой подход реализован в программе «ГИД», которая применялась для численного моделирования.

8. Расчёт напряжённо-деформированного состояния изгибаемых балок с муфтовыми соединениями арматуры следует выполнять с помощью программы «ГИД», основанной на шагово-итерационном методе и позволяющей отследить трансформацию НДС на всех этапах – от упругой стадии до физического разрушения, с контролем равновесия внутренних усилий.

9. С использованием программы «ГИД» проведены машинные эксперименты для железобетонных балок сечением $0,6 \times 0,2$ м из бетона класса В20. Варьировалась относительная высота сжатой зоны ξ (0,1; 0,25; 0,5) и тип армирования – цельные стержни А500С и стержни с муфтовыми соединениями. Для каждого варианта построены графики зависимости «момент–кривизна».

10. Сопоставление расчётных данных показало, что в пластичных элементах ($\xi = 0,1$ и $0,25$) кривые деформирования для балок с муфтами и без них практически совпадают; пониженный модуль упругости муфтового стыка не вызывает заметных изменений ни жёсткости, ни предельной кривизны. В элементах, близких к хрупкому разрушению ($\xi = 0,5$), максимальный изгибающий момент для конструкций с муфтовыми соединениями снижается на 3–5 %, однако одновременно на диаграмме «момент–кривизна» появляется незначительная, но отчётливая площадка текучести, отсутствующая у обычного армирования. Этот эффект свидетельствует о повышении пластичности элемента при пиковой нагрузке.

11. Зафиксированное увеличение пластичности в предельном состоянии следует рассматривать как благоприятный фактор для статически неопределимых систем с высоким процентом армирования, поскольку оно способствует перераспределению внутренних усилий и повышает живучесть несущей системы многоэтажного здания.

12. Таким образом, выполненные экспериментальные и теоретические исследования доказывают, что изгибаемые железобетонные элементы, армированные стержнями с муфтовыми соединениями, обладают высокой надёжностью. При относительной высоте сжатой зоны, не превышающей граничное значение ($\xi \leq \xi_R$), их напряжённо-деформированное состояние идентично элементам с цельной арматурой. В случае $\xi = \xi_R$ муфтовые стыки обеспечивают более высокую пластичность, что улучшает эксплуатационные характеристики ответственных несущих конструкций.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1 В. П. Лупин, В. А. Дзюба / Виды соединения стальной арматуры // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства, кадастров и техносферной безопасности в начале III тысячелетия : Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–18 декабря 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025. – С. 148-150. – EDN XOTARD.

2 В. П. Лупин, В. А. Дзюба / Виды соединительных муфт для арматуры и особенности их применения // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования Комсомольского-на-Амуре государственного университета, Комсомольск-на-Амуре, 07–08 октября 2025 года. Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2025. – С. 383-386. – EDN KPREQZ.

3 Лупин В.П., Дзюба В.А. Использование в строительстве муфтовых соединений в суровых климатических условиях // Строительство и техносферная безопасность. – 2025. – № 3. – С. 45–52. –284, 16–17 декабря 2020 года, г. Комсомольск-на-Амуре.