

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента, доктора технических наук, профессора Берлинова Михаила Васильевича на диссертационную работу Обернихиной Яны Леонидовны на тему «Прочность и деформативность неразрезных железобетонных балок, усиленных полимеркомпозиционными материалами под нагрузкой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.**

Представленная на рассмотрение диссертация состоит из введения, 4-х разделов, заключения, списка литературы и 1-го приложения. Работа изложена на 152 страницах, включающих 127 страниц основного текста, 66 рисунков, 29 таблиц, список литературы состоит из 178 наименований работ, в том числе 55 иностранных.

На основании просмотренных материалов можно отметить, что диссертационная работа Обернихиной Яны Леонидовны на тему: «Прочность и деформативность неразрезных железобетонных балок, усиленных полимеркомпозиционными материалами под нагрузкой» соответствует пунктам 1 и 3 паспорта специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

### **Актуальность темы диссертации.**

Важным обстоятельством для развития промышленности в современных условиях является вопрос о техническом перевооружении, реконструкции и перепрофилировании существующих производств, что часто связано с увеличением нагрузок на существующие несущие конструкции зданий и сооружений. Кроме этого Длительный период предыдущей эксплуатации как правило приводит к снижению их силового сопротивления в условиях силовых и средовых воздействий, что требует проведения комплекса работ по их усилению. Практика отечественного и зарубежного строительства свидетельствует о широком использовании в последнее время различных методов усиления с применением полимеркомпозиционных материалов на основе углеволокна. Существующая нормативная база и методы проектирования не позволяют в полной мере оценить напряженно-деформированное состояние, прочность и деформативность неразрезных железобетонных балок с учетом влияния предыстории их нагружения перед

усилением, а также характер перераспределения усилий в сечениях, что в целом снижает показатели надежности зданий и сооружений.

В связи с вышеизложенным тема рецензируемой диссертационной работы является несомненно актуальной.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.**

В рецензируемой работе рассмотрены вопросы оценки прочности нормальных сечений и деформативности двухпролетных неразрезных железобетонных балок, усиленных углепластиком под нагрузкой.

На сегодняшний день используются различные подходы по исследованию напряженно-деформированного состояния нормальных сечений. Однако они не позволяют проанализировать характер его изменения на всех стадиях деформирования, включая возможную критическую, а также не учитывают уровень нагружения, при котором выполняется усиление.

Учет реального напряженно-деформированного состояния в рассматриваемой работе основан на использовании деформационной модели квазиоднородного сплошного тела с использованием реальных диаграмм деформирования бетона, арматуры и углепластика. Применение деформационной модели способствует созданию единых, физически обоснованных методов расчета.

К достоинствам работы следует отнести оценку напряженно-деформированного состояния на всех стадиях работы конструкции с использованием зависимости «момент-кривизна» с ниспадающей ветвью с учетом перераспределения усилий в статически неопределимых конструкциях, и конкретно, в двухпролетных неразрезных железобетонных балках.

В представленной работе подтверждена перспективность использования при определении жесткости сечений обратного метода, согласно которому при выполнении необходимых расчетов используется не нагрузка, а заданная кривизна, по которой определяется действующий в сечении изгибающий момент, а затем жесткость сечения. Особенно это актуально для статически неопределимых систем, когда вследствие перераспределения усилий наступление предельного состояния в различных сечениях может наступить одновременно, в отличие от метода предельного состояния, согласно

которого характерно одновременное достижение предельного состояния в наиболее нагруженном сечении.

Возможность учета закритической работы сечений, хотя и не имеет большого самостоятельного смысла, однако, при организации итерационного процесса, особенно статически неопределимых систем, способствует его стабилизации и исключает «раскачку» или прерывание итерационного процесса в случае выхода отдельных сечений на промежуточных итерациях в закритическую область.

Предложенная соискателем методика расчета неразрезных железобетонных балок, усиленных углепластиком под нагрузкой реализуется посредством аппроксимации изогнутой оси балки кубическим сплайном, позволяет определить параметры напряженно-деформированного состояния по всей длине балки и на всех этапах работы. Данный подход более реалистичен поскольку описание характера изменения жесткости по длине осуществляется в виде «ломаной» линии, а не ступенчато как в традиционных исследованиях. Описанный итерационный процесс обладает достаточной сходимостью и устойчивостью. Предложенный алгоритм расчета реализован в виде комплекса программ и отдельных модулей для ЭВМ. Предложенные расчетные положения могут быть использованы как на стадии проектирования, так и при усилении конструкций, что достаточно актуально.

К достоинствам работы также следует отнести проведенные экспериментальные исследования 15-ти двухпролетных неразрезных железобетонных балок, усиленных углепластиком при различных уровнях нагружения. Усиление углепластиком под нагрузкой способствует повышению прочности нормальных сечений, при этом можно отметить, что с повышением уровня нагрузки усиления, прочность по нормальным сечениям возрастает. Выполненное усиление приводит к повышению жесткости сечений усиленных образцов, а уровень нагрузки усиления влияет на деформативность балок.

Выполненные сопоставления с результатами проведенных экспериментальных исследований и с опытными данными других авторов подтвердили целесообразность и достоверность теоретических положений и выводов.

Для апробации предлагаемой методики в работе были выполнены численные исследования.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается согласованностью принятых гипотез и допущений с базовыми положениями теории железобетона и строительной механики, использованием стандартных методов испытаний, поверенных и аттестованных приборов и испытательного оборудования, удовлетворительным совпадением результатов расчетов с экспериментальными данными автора и других исследователей

### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций.**

К научной новизне работы следует отнести:

1. Методику и алгоритм расчета нормальных сечений железобетонных балок, усиленных под нагрузкой для различных вариантов напряженно-деформированного состояния с учетом физической нелинейности материалов, позволяющих рассматривать их работу на всех стадиях, включая закритическую.

2. Предложенную методику и алгоритмы статического расчета неразрезных двухпролетных балок переменной жесткости с описанием оси балки кубическим сплайном и использованием метода заданных деформаций.

3. Методику и алгоритмы расчета прочности и деформативности неразрезных двухпролетных железобетонных балок, усиленных под нагрузкой полимеркомпозиционными материалами на различных стадиях работы с учетом физической нелинейности материалов.

4. Экспериментальные данные о прочности нормальных сечений, деформативности и перераспределении усилий в неразрезных двухпролетных балках, усиленных углепластиком при различных уровнях нагружения.

5. Предложенные алгоритмы, программы и результаты численных исследований, позволяющие оценить влияние уровня нагрузки и схемы усиления на прочность и деформативность двухпролетных неразрезных железобетонных балок, усиленных углепластиком под нагрузкой.

### **Теоретическая значимость полученных автором результатов.**

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в разработке методики расчета прочности нормальных сечений и деформативности неразрезных железобетонных балок, внешне армированных углепластиком при различных уровнях нагружения, с учетом характера перераспределения усилий и использованием реальных диаграмм деформирования бетона, стальной арматуры и углепластика

## **Практическая значимость диссертационной работы.**

Разработанные прикладные программы и полученные физико-механические свойства углепластика на основе углеродного волокна марки FibARM 530/300 применены для верификации и валидации собственных научных разработок и в поверочных расчетах при проектировании усиления неметаллической арматурой балочных перекрытий, выполненных АО «КТБ Железобетон».

Разработанная методика может быть использована для расчетов и проектирования усиления железобетонных балочных конструкций под нагрузкой, а также рекомендована для использования в инженерной практике обследования.

## **Структура работы.**

В введении обоснована актуальность темы исследований, приведена общая характеристика работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен краткий обзор традиционных методов усиления изгибаемых железобетонных элементов и конструкций, применения углепластика при усилении изгибаемых железобетонных элементов, моделей деформирования и методик расчета прочности нормальных сечений и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимеркомпозиционными материалами.

На основе обзора сформулированы цель и задачи исследований. При этом отмечается, что существующие методы расчета прочности нормальных сечений и деформативности неразрезных железобетонных балок нуждаются в доработке с экспериментальным подтверждением и корректировке с учетом перераспределения усилий в сечениях.

В второй главе изложена разработанная методика определения напряженно-деформированного состояния железобетонных неразрезных элементов, усиленных под нагрузкой с учетом полной диаграммы деформирования бетона на всех стадиях работы, в том числе и закритической.

Приведены основные положения методики статического расчета двухпролетной балки переменной жесткости методом заданных деформаций. Разработаны методика, алгоритмы и программы расчета прочности нормальных сечений и деформативности однопролетных и двухпролетных железобетонных балок

В третьей главе приведены задачи экспериментальных исследований, методология и методика их решения, результаты экспериментальных исследований неразрезных двухпролетных железобетонных балок, усиленных под нагрузкой.

В соответствии с программой экспериментальных исследований в качестве опытных образцов были использованы 15 двухпролетных железобетонных балок прямоугольного сечения 80x120 мм пролетом 1200 мм, усиленных углепластиком при уровне внешнего нагружения 30%, 50% и 70% от разрушающей нагрузки эталонных образцов. В процессе испытаний оценивалось влияние уровня внешней нагрузки на жесткость, прочность нормальных сечений и характер перераспределения усилий. Установлено, что разрушение всех опытных образцов происходило по нормальным сечениям в пролете или на опоре в зоне действия максимальных изгибающих моментов вследствие текучести растянутой продольной арматуры или раздробления бетона сжатой зоны.

Усиление углепластиком приводит к повышению жесткости и прочности нормальных сечений, при этом чем выше уровень нагрузки усиления, тем больше величина разрушающей нагрузки. Так среднее значение разрушающей нагрузки на 33,3% - 47,2% выше, чем у эталонных балок без усиления. Величина прогибов всех усиленных балок меньше, чем у эталонных, при этом прогибы эталонных балок на 27,73% - 44,92% больше, чем у усиленных балок, но при этом прогибы усиленных балок под нагрузкой на 4,26% - 93,62% больше по сравнению с образцами, усиленными без нагрузки.

Усиление углепластиком и уровень нагружения оказывает влияние на характер перераспределения изгибающих моментов, отношение опорных моментов к пролетным моментам изменяется в интервале от 1,06 до 1,16 усиленных балок, при этом чем выше уровень нагрузки усиления, тем ближе соответствие отношение моментов к упругому.

В четвертой главе приведены результаты проведенных численных исследований прочности и деформативности неразрезных железобетонных балок, усиленных полимеркомпозиционными материалами под нагрузкой. Выполненные численные исследования напряженно-деформированного состояния двухпролетных неразрезных железобетонных балок, внешне армированных углепластиком при разных уровнях нагружения, позволили установить влияние различных факторов на прочность нормальных сечений и

деформативность, и подтвердили возможность и целесообразность применения разработанных методик расчета.

#### **Публикации основных результатов диссертации в научных изданиях.**

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 5 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в журналах, входящих в базу данных и системы цитирования (WoS и Scopus). Получены два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

#### **Соответствие автореферата основным положениям и выводам диссертации.**

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

#### **Замечания по работе:**

- В работе не исследовано влияние деформационных и прочностных свойств клеящего материала для выполнения полимеркомпозиционного усиления, податливости такого соединения.
- В работе не рассмотрена возможность расчета усиления сжатых зон элемента.
- В предлагаемой методике расчета прочности и деформативности неразрезных железобетонных балок, усиленных углепластиком под нагрузкой, предполагается использование фактических прочностных и деформативных характеристик материалов, что не всегда удобно при проектировании ввиду недостаточности опытных и нормативных данных.
- В проведенных численных исследованиях в качестве варьируемых параметров используются только уровень нагрузки усиления и местоположение системы усиления. Следовало бы также рассмотреть влияние на НДС исследуемых конструкций таких параметров как класс бетона и арматуры, а также различные коэффициенты армирования в пролете и на опоре.
- В п. 4.2.3 диссертации выполнено компьютерное моделирование в ПК ЛИРА-САПР напряженно-деформированного состояния опытных образцов двухпролетных неразрезных балок без усиления и усиленных под нагрузкой, результаты которого не приведены в автореферате.

Сделанные замечания по работе не снижают положительной оценки диссертационной работы.

### **Общая оценка диссертационной работы.**

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пункту 10: диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пункту 11: основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пункту 14: в диссертации соискатель ученой степени ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

Представленная диссертация Обернихиной Яны Леонидовны является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития строительной отрасли, состоящей в разработке методики расчета прочности и деформативности неразрезных железобетонных балок, внешне армированных углепластиком под нагрузкой.

На основании вышеизложенного следует отметить, что по объему, содержанию, элементам научной новизны и практической значимости результатов исследований диссертационная работа Обернихиной Яны Леонидовны соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Обернихина Яна Леонидовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Официальный оппонент:  
Берлинов Михаил Васильевич,  
доктор технических наук,  
профессор,  
профессор кафедры «Железобетонных  
и каменных конструкций»  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный  
исследовательский Московский  
государственный строительный  
университет», научная специальность,  
05.23.01 Строительные конструкции,  
здания и сооружения

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26,  
корпус УЛК.  
Телефон: +7 (499) 183-38-92,  
e-mail: berlinov2010@mail.ru.

«24» марта 2025 г.

Я, Берлинов Михаил Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Обернихиной Яны Леонидовны, и их дальнейшую обработку.

«24» марта 2025 г.

 М.В. Берлинов  
(подпись) (инициалы, фамилия)

*Подпись Берлинова М.В. заверено:*

  
Начальник отдела  
Кадрового делопроиз-  
водства УРП  
А.В. ПИНЕГИН

