

ОТЗЫВ

официального оппонента Тер-Эммануильян Татьяны Николаевны

на диссертационную работу Чепилко Сергея Олеговича

**«Влияние нелинейной ползучести на напряженно-деформированное состояние
сталежелезобетонных конструкций»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.9. Строительная механика

Актуальность темы исследования

В современной строительной практике наряду с конструкциями из обычного железобетона или стальными конструкциями все чаще начинают использоваться конструкции из сталежелезобетона. Сталежелезобетонные конструкции – особый класс конструкций в современном строительстве, который отличается не только по своему конструктивному признаку, но и по соотношению использования бетонной и стальной составляющей. С помощью этих конструкций можно эффективно развивать преимущество стальных, сталебетонных и сталежелезобетонных элементов. Очевидно, увеличивается жесткость таких конструкций по сравнению со стальными, уменьшается расход стали и снижается себестоимость. По сравнению с железобетонной конструкцией можно уменьшить собственный вес, ускорить строительство, уменьшить площадь конструкции. Сталежелезобетонные конструкции в широком смысле представляют собой железобетонные элементы с внешней арматурой. В узком смысле они представляют собой железобетонные плиты, опирающиеся на стальные балки, при этом обеспечена их совместная работа. Такого рода конструкции позволяют существенно повышать жесткость, что особенно важно в мостостроении либо в большепролетных перекрытиях. Кроме того, в них существенно эффективнее используются лучшие качества бетона – работа на сжатие, – и, тем самым, достигается экономия материалов.

На рубеже 90-х годов XX столетия в России имелся некоторый провал в использовании и развитии методов расчета такого рода конструкций, однако в последнее время интерес к ним начинает возрастать, чему свидетельством является появление сравнительно новых отечественных строительных норм, например, СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования (с

Изменением №1, с Поправкой)» и СП 159.1325800.2014 «Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов. Правила расчета».

Стандартный инженерный расчет такой балки производится, как расчет классической комплексной балки в упругой стадии. Это верно только при сравнительно малых уровнях загрузки. Уже при величинах напряжений порядка $0.2 \div 0.4R_b$ начинает сказываться нелинейный характер работы бетона. Помимо собственно нелинейной диаграммы « σ - ϵ », проявляющейся при мгновенном нагружении, длительное действие нагрузки вызывает в бетоне такие процессы, как ползучесть, которая, в свою очередь, существенно нелинейна даже при самых низких уровнях нагружения. В соответствии со строительными нормами и правилами расчет СЖБ балок производится по предельным состояниям, как и для обычных железобетонных балок. Однако работа СЖБ балок имеет свою специфику, поскольку эксплуатационные нагрузки обычно существенно меньше предельных, но зачастую больше тех, при которых можно считать бетон работающим в упругой стадии. Фактически большая часть «рабочих» напряжений бетона, т.е. $0.2R_b < \sigma \leq R_b$, не может быть рассчитана по упругой стадии. Все эти вопросы, связанные с нелинейной работой бетона, требуют анализа их влияния на работу сталежелезобетонной конструкции в целом и сравнения с упругим расчетом.

Необходимость учета приведенных соображений и обуславливает актуальность исследований в данном направлении.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные автором результаты обоснованы использованием моделей и подходов, принятых в современных научных представлениях, подкрепленных различными экспериментами и широко используемыми в практических расчетах. Это относится как к гипотезе плоских сечений, так и к основному интегральному уравнению вязко-упруго-пластичности бетона.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием корректных физических моделей, использованием методов строительной механики, теории упругости, теории ползучести и строгим математическим аппаратом

Научная новизна результатов диссертации:

1. Разрешающая система интегральных уравнений ползучести для СЖБ-балок в линейной постановке, выписано ее решение в резольвентах, а также асимптотическое решение для случая теории упругой наследственности.
2. Разрешающая система интегральных уравнений ползучести для СЖБ-балок в нелинейной постановке, выписано ее асимптотическое решение для случая теории упругой наследственности.

На основе анализа влияния нелинейных процессов на НДС СЖБ-балок и сравнении с линейным расчетом была показана допустимость линейного расчета в системах САПР с возможной последующей коррекцией.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

В общетеоретическом плане значимость выводов, полученных автором результатов, заключается в следующем:

1. Теоретически обоснован метод перехода к асимптотическим системам разрешающих уравнений в случае бетона, подчиняющегося теории упругой наследственности.
2. Выявлена сравнительно слабая зависимость напряжений в стальной балке от нелинейной работы бетона.
3. Показано, что корректная оценка максимальных напряжений в бетонной части сечения СЖБ-балки при высоких уровнях нагружений может быть проведена только с учетом нелинейной работы бетона.
4. Полученные разрешающие уравнения для мгновенного нагружения и ползучести могут быть применены и к расчету обычных железобетонных балок, поскольку никаких ограничений геометрической связности на стальное сечение не накладывалось.

Практическая значимость результатов выводов диссертации:

1. Обоснована возможность использования систем САПР (ЛИРА, SCAD, и т.п.), в расчетах СЖБ-балок с последующим уточнением напряжений в бетоне, поскольку нелинейная работа бетона сравнительно слабо сказывается на работе стальной балки и ее прогибах.
2. Выписанные в явном виде системы нелинейных уравнений могут быть численно решены в современных расчетных комплексах символьной математики, таких как Mathematica, Maple, MathCad и т.п., что делает их доступной в использовании в повседневной инженерной практике.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав, заключения и списка используемой литературы. Содержит 123 страницы, 31 рисунок, 146 формул, 11 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, определяются цели и задачи исследований по учету нелинейности работы бетона в СЖБ балках, отмечается научная новизна работы.

В первой главе произведен обзор состояния вопроса и рассмотрены некоторые вводные соображения, относящиеся к теме диссертационной работы. В частности, указано на некоторую несогласованность отечественных норм – СП 159.1325800.2014 «Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов. Правила расчета» и СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования (с Изменением №1, с Поправкой)». Кроме того, приведен интересный качественный анализ сравнительной эффективности использования сталежелезобетонных комплексных балок, в которых обеспечена совместная работа стальной балки и бетонной плиты, и таких же балок, но в которых допускается сдвиг.

Во второй главе произведен качественный анализ возможности аппроксимации диаграммы « σ - ϵ » бетона полиномами с целыми степенями и сделан вывод, что в общем случае таким представлением нужно пользоваться с известной осторожностью. Кроме того, сделан вывод о предпочтительности использования в нелинейных расчетах формулы Сарджина, нормируемой в Еврокодах. Нужно отметить, что в последнее время в отечественных работах, в основу выбора диаграммы « σ - ϵ » бетона принимается энергетический подход.

Автором подробно рассмотрен расчет СЖБ балок по предельным состояниям с использованием формулы Сарджина и унифицированной диаграммы работы стали и проведено сравнение с обычным инженерным расчетом по предельным состояниям с использованием пластического шарнира в бетоне и двухлинейной диаграммы работы стали (диаграмме Прандтля). Отмечено, что в некоторых случаях разница в расчетах может составлять до 11%.

Основное содержание главы – вывод разрешающей системы нелинейных уравнений для случая мгновенного нагружения СЖБ балки, удобной для инженерных расчетов, а также определение сдвигающих усилий на контакте «сталь-бетон». Произведены модельные расчеты и их анализ. Сделан вывод, что в сталежелезобетонных балках первыми всегда начинают «течь» нижние волокна в стальной балке.

В третьей главе рассмотрена линейная ползучесть в СЖБ балках и произведен вывод разрешающей системы интегральных уравнений на основе интегрального уравнения ползучести Маслова-Арутюняна, которое корректно при небольших уровнях нагружения. Вывод разрешающей системы уравнений производился при тех же допущениях, что и в случае мгновенного нагружения. Проведен качественный анализ полученной системы уравнений для мер ползучести, отвечающих теории упругой наследственности и теории старения. На основе этого анализа сделан вывод, что в случае бетона, подчиняющегося теории упругой наследственности, сталежелезобетон также подчиняется этой теории, в то время как для теории старения подобное не выполняется. Автор сформулировал и доказал теорему, названную им теоремой Харлаба, позволяющую получать асимптотическое решение в интегральных уравнениях ползучести, когда бетон подчиняется теории упругой наследственности (в честь относительно недавно скончавшегося выдающегося ученого, профессора СПбГАСУ Вячеслава Даниловича Харлаба, нестрого указавшего способ подобного перехода). С использованием этой теоремы получено асимптотическое решение для случая теории упругой наследственности, показывающее, что в этом случае достаточно заменить в расчетах модуль деформации бетона на длительный модуль деформации.

В четвертой главе рассмотрена нелинейная ползучесть в СЖБ балках и вывод разрешающей системы интегральных уравнений на основе интегрального уравнения вязко-упруго-пластичности бетона:

$$f(\sigma_b(z, t)) = E_b(t)\varepsilon_b(z, t) + E_b(t) \int_{t_0}^t K(t, \xi) f(\sigma_b(z, \xi)) d\xi.$$

Как и ранее, принятая система координат и основные расчетные допущения относительно СЖБ балки – те же, что и в случае линейной ползучести. Для случая упругой наследственности с помощью теоремы Харлаба получена асимптотическая разрешающая система нелинейных уравнений, произведены модельные расчеты, а также сравнение результатов с расчетами для случаев мгновенного нагружения и асимптотики системы уравнений линейной ползучести. По результатам расчетов сделан вывод о сравнительно слабой зависимости напряжений в стальной балке от учета нелинейной работы бетона.

В заключении представлены основные итоги проведенных исследований, которые достаточно полно отражают основные результаты выполненной работы.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияющие отмеченных недостатков на качество исследования

Давая положительную оценку работе в целом, можно отметить следующие недостатки:

1. Автор уделил недостаточное внимание обзору имеющихся результатов, полученных отечественными и иностранными исследователями.
2. Диссертация перегружена формулами в сравнении с тестовыми пояснениями, что делает работу тяжело читаемой.
3. Автор ограничился рассмотрением только двух видов ядер ползучести – соответствующих теориям упругой наследственности и теории старения. В работе не рассмотрены ядра типа Прокоповича-Улицкого и другие. В рамках используемых автором аналитических подходов никак не освещен вопрос, как такого рода ядра влияют на асимптотику.
4. Автором не рассмотрены вопросы учета усадки бетона на начальных этапах бетонирования, хотя в этом случае также имеют место явления ползучести.
5. Автор сделал основной упор на математические аспекты расчета, практически не рассматривая физические стороны процессов, идущих в бетоне.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают научную ценность и значимость результатов диссертационной работы, опирающуюся на единый подход к рассмотрению и выводу разрешающих уравнений и ее высокий математический уровень.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат диссертации Чепилко Сергея Олеговича в полной мере отражает основное содержание диссертационной работы, полностью раскрывает цель и задачи исследования, а также описывает основные положения, выносимые на защиту.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положение о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14

В соответствии с п. 10 «Положение о присуждении ученых степеней» 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.

В соответствии с п. 11 «Положение о присуждении ученых степеней» по теме диссертации автором опубликованы 4 работы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК.

В соответствии с п. 14 «Положение о присуждении ученых степеней» в диссертации соискатель ученой степени ссылается на авторов и источники заимствования материалов или отдельных результатов.

Заключение

Диссертация Чепилко Сергея Олеговича на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Влияние нелинейной ползучести на напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций» является завершенной научно-квалификационной работой, которая обладает новизной, выполнена на высоком научном уровне и имеет важные практические результаты.

Учитывая актуальность, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к работам, представленным на диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Чепилко Сергей Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент:

Тер-Эммануильян Татьяна Николаевна,
доктор технических наук по специальности
2.1.9. Строительная механика, доцент,
профессор кафедры «Теоретическая механика»
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
Институт пути, строительства и сооружений,
Тел.: + 7 (925) 296-47-09
E-mail: tanya_ter@mail.ru

«4» мая 2022 г.


(подпись)

Т.Н. Тер-Эммануильян

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»,
127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Подпись Тер-Эммануильян Т.Н.
удостоверяю:


Одобрено
Федеральным У.В.
05.05.2022