

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Кузнецова Владимира Вячеславовича «Напряжённо-деформированное состояние неоднородных железобетонных цилиндров с учётом физической нелинейности», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика

Актуальность темы диссертации. В современном строительстве всё большее внимание уделяется конструкциям, работающим в сложных условиях нагружения – при высоком внутреннем давлении, значительных температурных перепадах и в агрессивных средах. Железобетонные цилиндрические оболочки (трубы, колонны, резервуары, элементы защитных сооружений) являются классическим примером таких конструкций. Традиционные методики расчёта, основанные на линейной теории упругости и осреднённых характеристиках материалов, не позволяют корректно описать реальное поведение бетона, который проявляет ярко выраженную физическую нелинейность даже при небольших нагрузках из-за развития микротрещин. Кроме того, неоднородность, вызванная армированием и температурным полем, создаёт сложную картину напряжений, где локальные пики могут привести к преждевременному разрушению. Поэтому разработка численных алгоритмов, учитывающих эти эффекты, является крайне востребованной как в научном плане, так и для инженерной практики. Диссертация Кузнецова В.В. ориентирована на решение этой проблемы – создание расчётных модулей для программных комплексов, позволяющих моделировать работу цилиндрических железобетонных элементов с учётом реальной диаграммы деформирования бетона, переменных свойств от температуры и дискретного армирования. Это определяет несомненную *актуальность* темы исследования.

Содержание диссертации. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём 152 страницы, содержит 65 рисунков и 6 таблиц.

Введение содержит стандартные разделы: актуальность, степень разработанности проблемы, цель и задачи, объект и предмет исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методологию, положения на защиту, апробацию и публикации.

Глава 1 представляет собой развёрнутый обзор литературы по механике неоднородных тел и расчёту железобетонных конструкций. Выделены основные гипотезы и допущения, приведены основные уравнения теории упругости, пластичности и ползучести, а также выполнен вывод матрицы жёсткости и вектора нагрузок для осесимметричного треугольного конечного элемента. Сформулирован подход к учёту изменения модуля упругости.

Глава 2 посвящена исследованию различных диаграмм деформирования бетона. Проведено сравнение трёх подходов (Сарджин/Еврокод, СП 63.13330, теория Гениева) с экспериментами из работ Мкртчяна, Медянкина и Таинга.

Разработана методика пересчёта модуля деформации для объёмного напряжённого состояния на основе интенсивностей напряжений и деформаций. Представлен итерационный алгоритм.

Глава 3 содержит численное моделирование бетонного и железобетонного цилиндра при силовом и температурном нагружении. Решена задача №1 (чисто бетонный цилиндр) с проверкой на аналитическое решение, показано отличие однородного и неоднородного вариантов. В задаче №2 вводятся дискретные арматурные стержни и исследуются пять подзадач с различными сочетаниями температуры, давления и учётом физической нелинейности. Выявлены зоны разрушения бетона от растяжения.

Глава 4 рассматривает цилиндры с преднапряжённой арматурой (внутренней и внешней) и внешней стальной оболочкой. В задаче №3 показано, что внутреннее преднапряжение не даёт существенного повышения несущей способности; в задаче №4 выполнено сравнение с результатами Алексея Муханова, показавшее значительные расхождения; в задаче №5 показано, что внешняя обойма с преднапряжением в сочетании с температурным градиентом может увеличить допустимое давление вдвое.

В заключении сформулированы основные выводы и намечены направления дальнейших исследований.

Достоверность и новизна полученных результатов обеспечивается строгой математической постановкой краевых задач, применением численных методов с контролем сходимости, верификацией на аналитических решениях и экспериментальных данных. Сравнение с работами Смолова и Тимошенко показало погрешность в пределах долей процента, что подтверждает корректность реализации МКЭ. Сопоставление теоретических диаграмм с экспериментами (глава 2) показывает приемлемое согласие, особенно для Еврокода. Итерационный алгоритм с контролем ошибки на каждом шаге обеспечивает устойчивость расчётов.

Научная новизна заключается в следующем:

- разработан оригинальный алгоритм учёта объёмного напряжённого состояния через связь интенсивности напряжений и интенсивности деформаций с использованием секущего модуля, что позволяет обойтись без сложных поверхностей текучести;
- впервые применено дискретное моделирование арматуры в толстостенных цилиндрах, что позволило выявить локальные концентрации напряжений у арматурных стержней;
- получены новые данные о влиянии типа преднапряжения (внутреннее/внешнее) на несущую способность при совместном действии давления и температуры; показана неочевидная эффективность внешней обоймы в определённых условиях.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов расчёта неоднородных физически нелинейных тел, что может быть использовано для более широкого класса конструкций (сферические оболочки, резервуары).

Предложенная методика корректировки модуля деформации может быть адаптирована для других материалов (полимербетон, фибробетон).

Практическая значимость подтверждена внедрением разработанных программных модулей в ГК АКСстрой при проектировании железобетонных колодцев. Экономический эффект составляет 1,5 млн рублей за счёт оптимизации армирования. Рекомендуются использовать разработанный пакет в проектных институтах для расчёта трубопроводов, оболочек сухой защиты АЭС, силосов и других цилиндрических сооружений, особенно при наличии температурных воздействий.

Степень обоснованности научных положений. Все положения, выносимые на защиту, имеют убедительное обоснование. В работе приведены последовательные логические цепочки от дифференциальных уравнений до конечно-элементных формулировок. Итерационный процесс сходится, что проверено на тестовых примерах. Выводы о снижении напряжений при учёте температурной неоднородности согласуются с физическими представлениями. Рекомендации по использованию результатов имеют документальное подтверждение актом внедрения. Обоснованность можно считать достаточной.

Публикации. Результаты работы опубликованы в 6 статьях, в том числе 4 – в изданиях из перечня ВАК РФ и 2 – в журналах, индексируемых Scopus/Web of Science. Получены 2 свидетельства на программы ЭВМ. Работа прошла апробацию на трёх международных конференциях. Это подтверждает своевременность и известность работы в научном сообществе.

Соответствие работы паспорту научной специальности. Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 2.1.9. В ней разработаны физико-математические модели (п. 2) и применены численные методы (МКЭ) для расчёта конструкций на прочность и жёсткость при статических и температурных нагрузках (п. 4).

Автореферат полностью передаёт содержание диссертации, правильно отражает структуру, основные результаты, выводы и защищаемые положения. Каких-либо несоответствий не обнаружено.

Замечания по работе. В порядке дискуссии хотелось бы высказать следующие замечания:

1. В работе принято допущение о независимости коэффициента Пуассона от температуры и уровня напряжений. Хотя это упрощение общепринято, в литературе имеются данные о его изменении вплоть до дилатации. Желательно было бы оценить чувствительность результатов к вариациям ν .

2. При моделировании разрушения бетона автор использует обнуление модуля, если главное напряжение превышает предел прочности на растяжение. Однако для объёмного состояния более строгим был бы критерий, учитывающий влияние сжимающих напряжений (например, критерий Мора-Кулона). В работе это не реализовано, хотя автор упоминает об этом в перспективах.

3. В главе 4, задача №4, автор показывает расхождение с результатами Алексея Муханова, но не приводит подробного анализа причин: возможно, различные гипотезы о характере контакта арматуры и бетона, или разные диаграммы деформирования. Это следовало бы прояснить.

Заключение. Диссертация Кузнецова Владимира Вячеславовича представляет собой завершённое квалификационное исследование, выполненное на хорошем научно-техническом уровне. Она содержит новые результаты, имеющие теоретическое и практическое значение. Работа соответствует всем требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, В. В. Кузнецов, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Кандидат технических наук по
научной специальности 2.1.9.
Строительная механика,
старший преподаватель кафедры
«Строительные конструкции и
механика» КБГУ им. Х.М.Бербекова



Казбек Нарзанович
Хашхожев

Подпись ст. преподавателя
К.Н.Хашхожева удостоверяю

Заведующий:
Ученый секретарь



Н.В. Жеманов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; почтовый адрес: 360004, Кабардино-Балкарская Республика г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; телефон: +7(495)3379955; адрес электронной почты: yka@kbsu.ru; сайт: <https://kbsu.ru>

08.10.2026