

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора
Каюмова Рашида Абдулхаковича на диссертационную работу
Литвинова Степана Викторовича «Нелинейное термовязкоупругое
деформирование толстостенных цилиндрических непрерывно неоднородных тел»,
представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.1.9. Строительная механика

Актуальность избранной темы

Вопросам ползучести в XX веке уделялось достаточно много внимания, как одному из наиболее важных аспектов в обеспечении прочности и устойчивости строительных конструкций в условиях длительного нагружения. Для изучения ползучести одного из самых распространённых строительных материалов — бетона — необходимо проводить исследования, длящиеся не менее полугода, а то и нескольких лет непрерывно, что требует значительных вложений как материального плана, так и «простой» оборудования в полный период проводимых опытных изысканий и невозможности задействования его для иных хозяйственных работ. Одним из вариантов решения данной проблемы является изучение ползучести на полимерах, где связанные с ней эффекты явно видны в течение гораздо меньшего периода времени по сравнению с бетоном, а также с последующим переносом разработанных методик на более «традиционные» материалы.

Расчёту элементов строительных конструкций из полимеров в настоящее время уделяется относительно малый процент исследований по сравнению с иными материалами: бетоном и железобетоном, сталью, древесиной и т.д. Элементы конструкций на основе полимерных материалов занимают всё больший объём строительной индустрии: трубы для отопления и вентиляции; колодцы для канализации; полимербетоны для ремонта железобетонных конструкций, создания колонн для эстакад под электролизные ванны, этажерок, коллекторных колец и колодцев, способных к длительной эксплуатации в агрессивных средах, для изготовления травильных и электролизных ванн; пропитка древесины полимерами (например, обработанная метилметакрилатом древесина имеет прочность на растяжение вдоль волокон до 3 раз выше, чем необработанная), создание многослойных панелей, использование эпоксидных смол для склеивания деревянных конструкций и т.д.

Полимерные материалы обладают рядом выраженных особенностей, значительно выделяющих их, таких как низкий модуль упругости, высокая химическая устойчивость, значительная деформация ползучести, зависимость свойств материала от воздействия окружающей среды, особенно, от температуры. Всё это требует подробного изучения свойств исходных компонентов, используемых для изготовления элементов строительных конструкций и развития методов учёта их в расчётных моделях.

Резюмируя вышесказанное, актуальность выбранной автором темы диссертации не вызывает сомнения для развития прикладных методов расчёта элементов строительных конструкций.

Оценка структуры диссертации и степени ее завершенности.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 4-х приложений. Текст изложен на 299 страницах, содержит 119 рисунков, 28 таблиц, список литературы из 237 наименований. Структура и содержание работы

соответствуют научной специальности 2.1.9. Строительная механика, а также обозначенным в работе целям и задачам.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, рассмотрена степень разработанности темы, указаны цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиты, достоверность полученных результатов, апробация работы.

В главе 1 представлен обзор изученности вопроса в области моделирования ползучести элементов строительных конструкций из полимеров, приводятся основные соотношения механики деформируемого твёрдого тела, необходимые далее в диссертационной работе, основные уравнения метода конечных элементов и метода конечных разностей.

Глава 2 рассматривает использование основных соотношений вязкоупругости для моделирования ползучести в изделиях из полимерных материалов. В качестве уравнения состояния автором выбрано нелинейное обобщённое уравнение Максвелла–Гуревича. Подробно описана разработанная методика определения физико-механических параметров, входящих в уравнение состояния, на основе обработки экспериментальных кривых релаксации напряжений при одномерном центральном растяжении образцов. Для эпоксидного связующего ЭДТ-10 автором определены коэффициенты уравнения состояния для различных температурных режимов и значения полной деформации с последующей аппроксимацией полиномом четвертой степени относительно деформации и третьей степени относительно температуры. Полученные полиномиальные зависимости весьма интересны, поскольку исследователи в своих изысканиях проводят моделирование ползучести и релаксации напряжений в изделиях из полимеров при постоянном значении физико-механических параметров. Предложенная методика обработки опытных кривых ползучести полимеров использована для обработки кривых ползучести бетона, показав очень хорошее согласование теоретических данных, построенных на основе полученных коэффициентов, с исходными экспериментальными кривыми. Все использованные опытные данные были заимствованы автором из различных литературных источников с корректным цитированием оригинальных материалов.

Начиная с *главы 3* и до конца диссертационной работы все задачи рассматриваются в осесимметричной постановке. Приводятся основные разрешающие уравнения метода конечных элементов и метода конечных разностей в одномерной постановке для случая плоского деформированного состояния. В расчётах при этом используются все три компоненты главных напряжений относительно осей в цилиндрической системе координат. Сопоставление решений двумя численными методами позволяет выявить нюансы при решении задач определения нестационарного температурного поля и учесть их в последующих главах.

В *главе 4* автором диссертационной работы изучается изменение напряжённо-деформированного состояния изделий под действием ионизирующего излучения (гамма-лучей) и введением в полимер добавки гидроксиапатита. Оба фактора по отдельности представляют собой очень важный практический интерес, поскольку облучение материала может приводить к значительному изменению свойств изделия (в лучшую или худшую сторону — зависит от конкретного способа эксплуатации элементов конструкций), а наличие добавок активно используется в более

«классических» материалах строительного назначения. Приводится решение ряда интересных и с практической точки зрения оптимизационных задач, в которых подбирается такое теоретическое распределение добавки в материале, чтобы полученное изделие было равнопрочным или равнонапряжённым. Итогом четвертой главы является изучение напряжённо-деформированного состояния толстого бетонного цилиндра под действием внутренних источников тепловыделения, наличием воздушного охлаждения и воздействием ионизирующего излучения. Подобного рода задачи актуальны для моделирования тепловых экранов.

В главе 5 автор рассматривает конечный элемент (матрицу жесткости и вектор нагрузок), полученный путем непосредственного аналитического интегрирования выбранной функции формы, что позволяет получить точность решения, не уступающую численному интегрированию конечного элемента по точкам Гаусса. В вектор нагрузок полученного конечного элемента входят деформации ползучести и температурные деформации. Рассматривается задача оценки остаточных напряжений в окончательном изделии, определяемых неравномерным температурным полем, вызванным экструзией тела и его охлаждением от контакта с окружающей средой. Снижение напряжения с течением времени обусловлено развитием деформаций ползучести в элементе конструкции.

Глава 6 связана с изучением длительной прочности адгезионного соединения на нормальный отрыв. Отличие от существующих ранее работ заключается в том, что изучается развитие деформаций ползучести в полимере, соединяющем металлические диски, в то время, как подавляющее число работ проводит моделирование в конечно-элементных комплексах в упругой стадии. Подобные исследования проводились и отечественными учёными, но на основе изучения пограничного слоя между металлическим телом и полимером, решение проводилось при этом в одномерной постановке с приведением решения относительно касательных напряжений при использовании гипотезы, что в пограничном слое развития деформаций ползучести не происходит. Автор проводит моделирование в полноценной двумерной постановке, при различных значениях растягивающего усилия в осевом направлении и при различных температурных режимах. Завершается глава экспериментом по оценке длительной прочности адгезионного соединения и сопоставлением полученных результатов с теоретически прогнозируемыми.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложениях представлены основные операции с матричным исчислением, коэффициенты матрицы жесткости и вектора нагрузок полученного конечного элемента, копии свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ и документы о внедрении результатов исследования.

Достоверность и новизна научных положений, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием численных методов исследований в лицензионных и свободно распространяемых программных комплексах, достаточным объемом проведенных исследований, а также достоверностью широко известных результатов в механике полимеров, на которых базируются исследования, проведенные автором диссертации. Итоги выполненного исследования, представленные в заключении диссертации, отражают

основное содержание и результаты теоретических и экспериментальных исследований и раскрывают полноту решения поставленных в работе задач.

Научную новизну диссертационной работы составляют разработанные и предложенные теоретические положения в области расчёта элементов строительных конструкций, реализованные в виде различных пакетов прикладных программ, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, которое вносит значительный вклад в развитие отечественной науки и строительной отрасли.

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

Текст диссертации изложен лаконично, последовательно, стилистически грамотно. По каждой главе имеются аргументированные выводы, работа содержит достаточное количество иллюстративного и графического материала.

Положения и выводы, приведенные в работе, аргументированы и научно обоснованы. Цель исследования достигнута, задачи исследования выполнены в полном объеме. Структура, содержание и выводы, содержащиеся в автореферате, соответствуют тексту диссертации. Диссертация и автореферат выполнены на высоком научно-техническом уровне.

Анализ диссертационной работы показывает, что она соответствует паспорту научной специальности 2.1.9. Строительная механика по направлениям исследований: п.4. Численные и численно-аналитические методы расчета зданий, сооружений и их элементов на прочность, жесткость, устойчивость при статических, динамических, температурных нагрузках и других воздействиях; п.5. Теория и методы оптимизации конструкций зданий и сооружений; п.6. Теория и методы расчета зданий, сооружений и их элементов на надежность (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость; п.11. Экспериментальные методы исследования зданий, сооружений и их элементов..

По работе имеются следующие замечания:

1. В главе 4 приводится решение задач при помощи вариационно-разностного метода. Не совсем ясна целесообразность этого, особенно при параллельном использовании метода конечных элементов.

2. Не совсем понятно утверждение автора, что деформации ползучести полимера по своему абсолютного значению могут сопоставляться с упругой деформацией. Различные классы полимеров могут показывать разные соотношения в значения этих деформаций. Необходимо определить область работы предложенного утверждения.

3. В работе автор приводит результаты обработки кривых релаксации с большим количеством значащих цифр.

Указанные замечания носят рекомендательный и уточняющий характер и ни коим образом не снижают научную и практическую значимость работы.

Заключение

Диссертационная работа Литвинова Степана Викторовича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержит научную новизну и практическую ценность; в ней автором совершенствованы принципы и методы расчета элементов строительных конструкций с учётом развития деформаций ползучести и изменением физико-механических параметров под действием многочисленных факторов, что имеет существенное значение для развития строительной отрасли.

Считаю, что диссертационная работа «Нелинейное термовязкоупругое деформирование толстостенных цилиндрических непрерывно неоднородных тел» соответствует требованиям, установленным Разделом II Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г., №842 (актуализированная редакция), а ее автор Литвинов Степан Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по научной специальности 2.1.9. Строительная механика.

Я, Каюмов Рашит Абдулхакович, настоящим даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук (01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела), профессор, профессор кафедры «Механика» КГАСУ
Email: kayumov@rambler.ru,

тел. +7 (843) 510-47-23



Каюмов Рашит Абдулхакович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» КГАСУ. 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1; тел. +7 (843) 510-46-01, +7 (843) 238-79-72; e-mail: info@kgasu.ru; официальный сайт организации: www.kgasu.ru



Собственноручную подпись	
<i>Р.А. Каюмова</i>	
удостоверяю	
Начальник Отдела кадров	
<i>Радия Замзума</i>	
15	08 20 24