

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполняющий обязанности ректора
Балтийского федерального
университета имени Иммануила
Канта,
кандидат физико-математических
наук



М.В. Демин

Сентября 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации — федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» на диссертационную работу Литвинова Степана Викторовича «Нелинейное термовязкоупругое деформирование толстостенных цилиндрических непрерывно неоднородных тел», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика, в диссертационный совет 24.2.295.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

Соискателем Литвиновым С.В. для рецензирования его диссертационной работы в виде отзыва были представлены все необходимые материалы в электронном и печатном виде в частности:

- текст диссертационной работы, состоящей из: введения, шести глав, заключения, списка литературы, приложений. Общий объём работы составляет 299 страниц, содержит 119 рисунков и 28 таблиц. Список литературы состоит из 237 наименований.
- автореферат объемом 43 страницы.

Актуальность темы диссертационного исследования

По существу, основные задачи, рассматриваемые в работе С.В. Литвинова, связаны с инженерным применением материала в конструкциях (изделиях). Рецензируемая диссертация, по замыслу её автора, посвящена разработке методов решения задач расчёта сооружений и их

элементов на прочность и жёсткость при статических, температурных и других воздействиях, в этом отношении относится к области строительной механики. Такая постановка изучаемой проблемы включает в себя необходимость решения следующих задач:

- выбор адекватной модели поведения материала;
- решение ряда математических задач, относящихся к механике деформируемого твёрдого тела;
- экспериментальная апробация исходных положений и полученных результатов.

Поэтому при оценке полученных результатов, да и при квалификационной оценке диссертанта, важно понять уровень оригинальности исследований. Именно с этих позиций в настоящем отзыве рассматривается работа С.В. Литвинова.

Прогнозирование поведения конструкций под нагрузкой во времени является одной из важнейших задач строительной механики. Этому направлению посвящено огромное количество работ как отечественных, так и зарубежных ученых. Традиционные строительные материалы обладают достаточно длительной ползучестью в нормальных условиях (бетон) или более быстрой, развивающихся при высоких температурах и иных экстремальных условиях (сталь). Для железобетонных конструкций, работающих в условиях одномерного сжатия, вопросы реологического расчета достаточно хорошо проработаны, хотя есть куда развиваться, что нельзя сказать о массивных конструкциях, в которых возникает объёмное напряжённое состояние. Особенно сложной задача становится при учете нелинейной ползучести, температурных воздействий, ионизирующего излучения и добавок в материале изделия. Деформации ползучести могут неоднозначно сказываться на напряженно-деформированном состоянии конструкций, зачастую отрицательно, а в некоторых случаях и положительно, например, понижая интенсивность напряжений (явление релаксации). Автором диссертации развит интересный подход подробного изучения ползучести ряда полимеров, проявляющих реологию за относительно короткий период времени с последующим переносом полученных алгоритмов исследования физико-механических параметров, входящих в обобщённое уравнение Максвелла–Гуревича, на бетон.

Целью работы автора выступает совершенствование расчета массивных тел в условиях ползучести с учётом указанных выше факторов, что заметно выделяет диссертацию соискателя на фоне других работ по

данной проблеме. Такая постановка задачи, несомненно, является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Постановка задач исследования и путей их решения произведена автором на основе анализа отечественного и зарубежного опыта по расчету напряжённо-деформированного состояния неоднородных цилиндров с учётом ползучести. При этом автор достаточно корректно применяет элементы существующих методов строительной механики и механики деформируемого твердого тела, используемых ранее в основном для решения упругих задач, развивая известные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов) на случай нелинейной работы элемента строительной конструкции в условиях ползучести.

Теоретические результаты обеспечиваются: применением обоснованных методов теории упругости, использованием современных средств вычислительной техники, проверкой выполнения всех интегральных и дифференциальных соотношений, граничных условий, и сделанные на основании этого выводы не вызывают возражений.

Полученная автором группа разрешающих уравнений обладает универсальностью, позволяя выполнять расчет на основе произвольных законов ползучести, что демонстрируется решением задач для конструкций цилиндрической формы из бетона, полимербетона и «чистых» полимеров.

Достоверность результатов подтверждается строгой математической постановкой задач с проверкой граничных условий, дифференциальных и интегральных соотношений. Для контроля в частных случаях автор выполняет сравнение с решениями других авторов, а также использует конечно-элементное моделирование в МКЭ комплексе.

Резюмируя вышесказанное, обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Научная новизна диссертационной работы

Соискателем выполнен обширный объём теоретических исследований по моделированию цилиндрических тел в упругой и вязкоупругой постановках. Построены модели их деформирования, учитывающие такие факторы, как температурные воздействия, ионизирующее излучение, наличие добавок в материале изделия путем изменения значений физико-механических характеристик материала, как функций нескольких

переменных. Решены задачи оптимизации элементов строительных конструкций цилиндрической формы под действием внутреннего давления, позволяющие за счёт перераспределения добавки в материале получить косвенную неоднородность и добиться равнонапряжённого или равнопрочного состояний. Произведена оценка уровня остаточных напряжений, возникающих в полимерном изделии при выходе из экструдера и неоднородном охлаждении. Подробно рассмотрена задача длительной прочности адгезионного соединения на нормальный отрыв с учётом развития деформаций ползучести в компаунде и изменением физико-механических параметров от температуры. Предложена методика определения параметров материала, входящих в уравнение Максвелла-Гуревича путём обработки кривых релаксации напряжений.

Значимость результатов исследований для науки и практики

Значимость результатов исследований для науки:

— разработаны оптимизационные методы получения равнопрочной (по четырём теориям прочности) и равнонапряжённой конструкций путем варьирования свойствами материала, как в упругой стадии, так и с учётом деформаций ползучести;

— проведено исследование остаточных напряжений, возникающих в процессе неравномерного охлаждения элемента конструкции цилиндрической формы, полученной формованием путём экструзии;

— представлены результаты оценки длительной прочности адгезионного соединения на нормальный отрыв для разных температурных режимов;

Значимость результатов исследований для практики:

— разработан и предложен эффективный алгоритм определения реологических параметров материала с использованием методов нелинейной оптимизации при обработке кривых ползучести и релаксации для материалов;

— результаты, полученные в диссертации, внедрены в 2 проектные организации (группа компаний АКССстрой (г. Аксай), ООО «Научно-исследовательский центр НИКА» (г. Казань))

Несомненной практической ценностью обладают реализованные в виде пакетов прикладных программ методики определения физико-механических параметров материала на основе анализа кривых релаксации и ползучести, подходящие как для полимеров, так и для бетона.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа излагается последовательно, с переходом от простых моделей к более совершенным, учитывающим большее число факторов.

Во введении диссертации обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи, приводятся научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы.

В главе 1 приведены основные уравнения механики деформируемого твёрдого тела, необходимые для получения разрешающих уравнений задач далее в диссертации, приводятся выражения для перехода от дифференциальной постановки задач физических полей к минимуму выпуклого функционала.

В главе 2 на основе уравнений механики полимеров приведены основные соотношения, описывающие процесс ползучести и релаксации полимерных тел. В качестве основного уравнения, используемого с настоящей главы и до конца диссертационной работы, выбрано нелинейное обобщённое уравнение Максвелла-Гуревича. Разработан алгоритм определения физико-механических параметров материала на основе кривых релаксации напряжений в образце при центральном растяжении. Оцениваются упругие параметры уравнения состояния (модуль упругости) и характеристики, определяющие развитие деформаций ползучести (модуль высокоэластичности, модуль скорости и коэффициент начальной релаксационной вязкости). После определения необходимых параметров, по ним строятся теоретические кривые и оценивается расхождение с исходными экспериментальными данными. Для поливинилхлорида приводятся физико-механические параметры как функции температуры, для эпоксидного связующего ЭДТ-10 — как функции двух переменных (температуры и полной деформации). В завершении главы приводятся результаты внедрения в ГК АКСстрой предложенной методики подбора оптимальных параметров формирования изделия из полимера в виде оголовка ввинчиваемой сваи.

В главе 3 рассматриваются задачи в одномерной постановке, решение производится при помощи метода конечных элементов (МКЭ) и метода конечных разностей (МКР). Использование двух методов позволяет произвести сопоставление результатов решения задач, показать особенности минимизации выпуклого функционала исходного дифференциального уравнения физического поля.

В главе 4 приведены результаты определения физико-механических параметров как функций двух переменных: уровня гамма-облучения изделия

и доли добавок в материале. Приводятся оптимизационные задачи получения равнонапряжённого и равнопрочного элемента конструкции путём нахождения оптимального закона распределения по объёму изделия добавки, влияющей на изменение физико-механических параметров и возникновение неоднородности. Приводится задача расчёта железобетонного цилиндра под действием внутренних источников тепла и ионизирующего излучения.

В главе 5 автор приводит разработанный прямоугольный в осях r и z конечный элемент, для получения которого проведено непосредственное интегрирование выбранной функции формы. В вектор нагрузок входят компоненты температурной деформации и деформации ползучести. Приводится решение практически важной задачи оценки остаточных напряжений в элементе конструкции, получаемой экструзией, для случая неравномерного остывания (при двух режимах).

Глава 6 полностью посвящена моделированию, при помощи полученного в прошлой главе прямоугольного конечного элемента, адгезионного соединения на длительную прочность при нормальном отрыве. Моделирование производится при различных температурных режимах, в нелинейной и линеаризованных постановках. Показано существенное различие с использованными ранее методами расчёта.

Автором также проведено экспериментальное исследование прочности адгезионного соединения двух алюминиевых дисков. Результаты эксперимента достаточно хорошо согласуются с построенной теорией, что свидетельствует о достоверности результатов исследования.

В конце приводятся основные результаты и выводы.

Степень завершенности и качество оформления диссертации

Диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, подготовленной на высоком научном уровне.

Диссертация оформлена в соответствии с действующими требованиями, стиль изложения позволяет провести на должном уровне экспертизу полученных результатов исследования. Построена логически грамотно, заключение в полном объёме отражает полученные в ходе исследования результаты.

Достаточность и полнота публикаций по теме диссертации

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 60 печатных и электронных работах, из них в ведущих рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ — 21, в отечественных изданиях, которые входят в международные базы цитирования Scopus и Web of Science

— 5, в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science — 19, в других периодических изданиях — 10, получено 5 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Соискатель с достаточной полнотой оценивает влияние ползучести, неоднородности материала и физической нелинейности на напряжённо-деформированное состояния строительных конструкций и их элементов. Из представленных в диссертационной работе результатов следует, что указанными факторами ни в коем случае нельзя пренебрегать.

Работы С.В. Литвинова опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Автор имеет очень разносторонний перечень трудов, что говорит о комплексном подходе к решению научной проблемы. Ценность научных работ соискателя состоит в том, что в опубликованных работах отражены результаты научного исследования, создающие научно-методический аппарат по расчету тел цилиндрической формы в условиях нелинейной ползучести с учетом температурных воздействий, наличием добавок и т.д. Научные положения, на новизну которых претендует автор, достаточно полно отражены в его публикациях.

Автореферат и диссертация изложены грамотным языком, ясно, логически последовательно. Работа характеризуется смысловой законченностью и целостностью.

Результаты диссертации неоднократно докладывались на различных международных конференциях, внедрены в проектную организацию.

Замечания по содержанию диссертации

1. Автор ссылается на недостатки современных МКЭ комплексов, на отсутствие законов ползучести, учитывающих обратимые деформации. При этом не приводится информация о преимуществе применения уравнение связи Максвелла-Гуревича по сравнению уравнениями ползучести, заложенными в расчётные комплексы.

2. В диссертации не отражен диапазон применения предложенной автором методики определения физико-механических параметров полимеров.

3. Графики зависимостей физико-механических характеристик на рисунках 2.8 для поливинилхлорида и 2.12 для ЭДТ-10 немонотонны. Чем объясняется такое поведение?

4. Недостаточно исследована возможность итерационного уточнения решения рассматриваемых нелинейных задач.

5. В тексте диссертации не всегда используются четкие формулировки. Например, в подписях к рисункам 4.11 - 4.13 используется выражение «по первой теории цилиндра».

Указанные замечания не снижают высокого уровня работы и её значимости в решении проблемы развития численных методов расчета элементов конструкций с учетом неоднородности и нелинейной ползучести.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертационная работа Литвинова Степана Викторовича на тему «Нелинейное термовязкоупругое деформирование толстостенных цилиндрических непрерывно неоднородных тел» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена крупная научная проблема прогнозирования напряжённо-деформированного состояния массивных конструкций и их элементов цилиндрической формы во времени с учетом ползучести материала, работающих в сложных условиях под действием физических полей различной природы, имеющая важное хозяйственное значение в строительной отрасли. Работа содержит ряд существенных новых научных результатов, имеющих важное теоретическое и практическое значение для развития строительной отрасли страны.

Полученные результаты диссертационной работы вносят существенный вклад в расширение спектра использования полимеров и композитов строительного назначения. Тематика работы, её содержание, а также содержание публикаций автора соответствуют паспорту специальности 2.1.9. Строительная механика, следующим пунктам: 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.

Полученные результаты обладают научной новизной и имеют высокое фундаментальное и практическое значение. Автореферат диссертационной работы полностью отражает основные результаты и соответствует содержанию. Результаты исследования внедрены в проектные организации.

Диссертационная работа Литвинова Степана Викторовича «Нелинейное термовязкоупругое деформирование толстостенных цилиндрических непрерывно неоднородных тел» по своей актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с п.9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции с изменениями от 20 марта 2021 г. № 426), а ее автор Литвинов Степан Викторович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании Экспертного совета по группе научных специальностей 1.1 Математика и механика (протокол №3 от 28.06.2024), решение Экспертного совета поддержано на заседании Ученого совета ОНК «Институт высоких технологий» БФУ им. И. Канта 16 августа 2024 года, протокол №18.

Руководитель образовательно-научного кластера
«Институт высоких технологий»,
доктор физико-математических наук, профессор



Секретарь Учёного совета
образовательно-научного кластера
«Институт высоких технологий»

М. В. Тарачков

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта».

Почтовый адрес: 236016, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14

Тел.: +7 (4012) 59-55-95

<https://kantiana.ru/>

E-mail: post@kantiana.ru