

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Литвинова Степана Викторовича на тему: «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 и научная новизна диссертации.

Говоря кратко об актуальности, сама предложенная соискателем тема неисчерпаема и отвечает всем вопросам научной специальности «Строительная механика». Набирающий в последние десятилетия обороты научно-технический прогресс привнес в строительную отрасль элементы конструкций из полимеров и композитов на их основе. Одним из факторов перехода от традиционных материалов, используемых в строительной отрасли, к полимерам являются их уникальные свойства: высокая прочность, сравнимая или превышающая таковую для металлов, при относительно невысокой плотности, высокая устойчивость к агрессивным средам и т. д. Необходимо отметить, что при всех положительных чертах, полимеры имеют ряд характерных свойств, которые накладывают ограничения на область их применения, и игнорировать которые в работе ответственных элементов конструкции на основе полимеров категорически нельзя. Во-первых, это низкий модуль упругости, на 1-2 порядков ниже, чем у стали. Плюс к этому значения физико-механических параметров могут существенно снижаться под действием внешних воздействий, например, повышения температуры. Во-вторых, это выраженная ползучесть, которая с точки зрения работы конструкции может приводить к значительному изменению напряжённо-деформированного состояния в теле с течением времени, например, приводить к релаксации напряжений за счёт роста деформаций в изделии. Поэтому при проектировании элементов строительных конструкций, воспринимающих внешние нагрузки, расчёт необходимо проводить не только при изотермических, но и неизотермических условиях. Следовательно, затруднения теоретического и практического планов, возникающие при решении реальных задач строительной отрасли, с учётом перечисленных факторов, удаётся квалифицированно преодолеть, если проводить расчеты с учётом длительности действия нагрузок.

Диссертационная работа С.В. Литвинова развивает существующие методы оценки напряжённо-деформированного состояния элементов

строительных конструкций из полимерных материалов, работающих в условиях воздействия физических полей различного генезиса. Вектор работы направлен на совершенствование методов расчета элементов конструкций на прочность, деформативность, долговечность и прогнозирование длительной работы. Выбранная тема является довольно сложной, **актуальной и практически значимой**. В диссертационной работе автором были предложены модели и разработаны методики расчёта, учитывающие воздействие физических полей и свойства ползучести материала, а также их вклад на напряжённо-деформированное состояние изделия. Если говорить про явление ползучести, то решение поставленных задач С.В. Литвиновым было получено в двух постановках, нелинейной и линеаризованной, на основе нелинейного обобщённого уравнения связи Максвелла-Гуревича. Важным достоинством диссертации является определенная универсальность математических моделей, позволяющая использовать как линейную, так и нелинейную теории ползучести.

Точное решение подобных задач не всегда может быть получено аналитически, кроме отдельных частных случаев, в связи с тем, что в начале необходимо определить распределение физических полей, определить их влияние на физико-механические параметры материала и только тогда приступать к решению задачи по определению напряжённо-деформированного состояния. В диссертационной работе рассматривается подобная квазистатическая постановка на каждом этапе времени при учёте ползучести. Интегрирование по всему периоду времени фактически возможно только при помощи численных методов, что ещё раз говорит в пользу актуальности исследований автора.

Решение задач невозможно без определения упругих и реологических параметров материала, соответственно, данному этапу должен предшествовать анализ поведения материала в различных условиях. Для этого автором предложена альтернативная методика определения физико-механических параметров материала конструкции, которая основана на математической обработке кривых релаксации напряжения.

Достоверность выводов и результатов исследования.

Достоверность исследований, изложенных в диссертационной работе, сомнений не вызывает. Она обеспечивается проверкой математических

моделей, сопоставлением полученных результатов с известными результатами других авторов, приведенными в открытой печати.

Практическая значимость результатов работы.

Практическую значимость представляет разработанный пакет прикладных программ, который может быть использован как в проприетарной среде MATLAB, так и в открытой Octave, что согласуется с политикой импортозамещения в Российской Федерации. В работе приводятся примеры использования результатов в практических целях: определение физико-механических параметров полимера по кривым релаксации, выбор оптимальных полученных параметров полимера для изготовления опалубки оголовков ввинчиваемых свай; определение остаточных напряжений при выходе изделия из экструдера; оценка длительной прочности адгезионного соединения на нормальный отрыв. Последняя задача весьма актуальна во многих клеевых соединениях элементов строительных конструкций.

Структура и объём работы.

Диссертационная работа изложена на 299 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и четырёх приложений, содержит 119 рисунков и 28 таблиц.

Основное содержание диссертации.

В первой главе работы приводится краткий обзор по схожим тематикам исследований, приводятся основные уравнения механики деформируемого твердого тела, уравнения для нахождения минимума выпуклого функционала, необходимые для составления уравнения определения температурного поля методом конечных элементов.

Вторая глава начинается с подробной сводки по всем основным уравнениям механики полимеров, приводится уравнение Максвелла-Гуревича, используемое во всей диссертационной работе для описания деформаций ползучести. Представлена методика определения входящих в уравнение Максвелла-Гуревича физико-механических параметров на основе кривых релаксации. Изначально методика апробирована на поливинилхлориде (ПВХ) для различных температурных режимов, впоследствии — расширена для определения физико-механических параметров как от температуры, так и от значения начальной деформации и апробирована на обработке кривых эпоксидного связующего ЭДТ-10 по графикам А.Л. Рабиновича. Для оценки достоверности, строились

теоретические кривые релаксации и находились расхождения с исходными экспериментальными данными. Полимерные материалы в плане изучения ползучести, несомненно, характеризуются наличием гораздо большего объема экспериментальных данных в открытой печати, нежели традиционные строительные материалы, поскольку в отличие от последних проявляют деформации ползучести в гораздо более короткие промежутки времени. Предположив, что уравнение Максвелла-Гуревича позволяет достаточно адекватно описывать развитие деформаций ползучести, автор пошёл дальше, и попытался на основе полученной методики обработать кривые ползучести бетона, взятые им из работы Ю.А. Гурьевой. Несмотря на различную физическую природу полимеров и бетона, уравнение Максвелла-Гуревича дают результат с хорошим согласованием теоретических кривых с экспериментальными данными. Отличительной особенностью уравнения Максвелла-Гуревича является его дифференциальная форма записи, которая в некоторых моментах (переменных нагрузках, например) оказывается более предпочтительна, нежели интегральная форма традиционных уравнений ползучести бетона. Полученная методика определения параметров уравнения состояния позволила оптимально подобрать режимы для формования оголовка винтовой сваи, о чём рассказывается в конце главы.

В третьей главе автор приводит исследование термовязкоупругости цилиндрических тел в одномерной осесимметричной постановке. Решение задачи производится двумя численными методами: методом конечных разностей и методом конечных элементов. Исследовалось постоянное и переменное во времени температурное поле, а также изменение напряжённо-деформированного состояния, связанного с этим фактором. Все задачи рассматриваются в несвязной постановке. Полный исследуемый интервал времени «разбивается» на узлы, в каждом из которых рассматривается задача в квазиупругой постановке. При этом на первом этапе определяется температурное поле, на втором — значения физико-механических параметров как функция от температуры, на третьем — определялось напряженно-деформированное состояние. Автором рассматривался как постоянный шаг «разбиения» полного интервала времени на части, так и переменный, согласно логарифмическому закону и по закону геометрической прогрессии. Связано это с тем, что в начальный период времени полимеры проявляют неустановившуюся ползучесть, что автору удаётся продемонстрировать на

соответствующих графиках. Если постоянный шаг будет достаточно большим, то момент неустановившейся ползучести может быть пропущен.

В четвёртой главе приводятся результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния элементов строительных конструкций под воздействием физического поля, определяемого ионизирующим излучением, и введением добавок в материал. Начинается глава с определения физико-механических параметров полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), входящих в уравнение состояния, как функции двух факторов: уровня гамма-излучения и доли гидроксипатита. Приводится теоретическое исследование задачи, в которой требовалось определить такой закон распределения добавки в изделии вдоль радиуса, чтобы её влияние на физико-механические параметры приводило к возникновению равнонапряжённого или равнопрочного состояний. Это весьма интересный оптимизационный подход, реализация которого на практике позволила бы существенно улучшить прочность изделия без изменения каких-либо габаритов. Завершается глава исследованием напряжённо-деформированного состояния железобетонной оболочки под действием внутренних источников теплоты и ионизирующего излучения.

В пятой главе автор предлагает построение нового конечного элемента путем непосредственного аналитического интегрирования функции формы. Реализовать это возможно по той причине, что координаты узлов конечного элемента не могут располагаться произвольно, как в традиционном четырехугольном конечном элементе, а фиксировано расположены в узлах прямоугольника, стороны которого совпадают по направлению с радиальной и продольной осями. Вектор нагрузок полученного элемента включает компоненты деформаций ползучести и температурных деформаций. Во второй части главы приводится решение практически важной задачи получения изделия из полимера путем экструзии, где за счёт теплообмена с окружающей средой при охлаждении возникает неравномерное температурное поле с возникновением остаточных напряжений.

Полученный ранее конечный элемент автором используется для моделирования длительной прочности адгезионного соединения *в шестой главе*. При этом деформации ползучести определяются двумя спектрами времен релаксации, характерными именно для полимерных тел. Проведено сравнение результатов с подобными решениями других авторов, установлено расхождение между ними при оценке длительной прочности и объяснены его

причины. Также приведены результаты расчета адгезионного соединения с учетом изменения температуры. Решение данной задачи имеет практическое значение для вопросов оценки прочности клеевых соединений.

Общая оценка выполненной работы.

Поставленные автором вопросы рассмотрены достаточно подробно. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций соответствует уровню докторской диссертации, что подтверждается использованием различных подходов к решениям поставленных задач, сопоставлением полученных результатов в экспериментальными данными или с аналогичными опубликованными трудами других авторов в данной отрасли. Диссертационная работа соответствует пунктам 4-6 и 11 паспорта специальности 2.1.9. Строительная механика.

Автореферат полностью отражает содержание работы, её этапы и объёмы.

Качество оформления диссертации.

Диссертация выполнена на современном уровне с использованием компьютерных технологий, что обеспечило высокое качество оформления. Работа хорошо иллюстрирована. К некоторым моментам в оформлении и использованной лексики можно слегка придраться, но это — рабочие моменты.

Замечания по диссертационной работе.

1. В литературном обзоре достаточно много источников из начала и середины XX века. Понятно, что это первоисточники, но таким «возрастным» источникам рекомендуется уделять меньше внимания.
2. Несмотря на то, что программные комплексы ANSYS, ABAQUS и др., не поддерживаются более в России, хотелось бы увидеть больше сравнения с результатами, полученными с использованием вышеуказанных программ.
3. В диссертационной работе не раскрывается физический смысл величины m -«модуля скорости» в уравнении Максвелла-Гуревича?

О достаточности и полноте публикаций по теме диссертации.

Автором опубликовано 60 печатных и электронных работ по теме диссертации, 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. Результаты работы обсуждались на конференциях и семинарах различного уровня. Считаю, что по достаточности и полноте публикаций требования ВАК РФ к докторским диссертациям выполнены в полном объеме.

Заключение

Диссертационная работа Литвинова Степана Викторовича на тему: «Нелинейное термовязкоупругое деформирование толстостенных цилиндрических непрерывно неоднородных тел» является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой на актуальную тему, содержит научную новизну и практическую ценность; в ней автором усовершенствованы методы расчёта элементов строительных конструкций с учётом множества фактором, наиболее полно соответствующих реальной работе изделия, 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, утверждённого 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, Клочков Юрий Васильевич, настоящим даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета.

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.23.17 — Строительная механика), профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика»



Клочков
Юрий
Васильевич



Подпись т.т. Клочков Ю.В.

ЗАВЕРЯЮ: начальник отдела по работе с персоналом С.В. Гусев

30.08.2024

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский • государственный аграрный университет»; ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ; 400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26; тел./факс: +7(8442)41-17-84, +7(8442)41-10-85; e-mail: volgau@volgau.com; официальный сайт организации: <https://volgau.com>