

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научной работе и инновациям

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»,
кандидат физико-математических наук,

доцент

М. В. Демин



«*од*» _____ 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» на диссертационную работу Языева Сердара Батыровича «Развитие методов расчета на устойчивость вязкоупругих стержней и пластин в условиях нелинейного деформирования», 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 Языевым С.Б. 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 объем работы составляет 321 страница, содержит 199 рисунков, 33 таблицы. Список литературы состоит из 248 наименований.
- ✓ автореферат объемом 46 страниц;

Актуальность темы диссертационного исследования

По существу, основные задачи, рассматриваемые в работе С.Б. Языева, связаны с инженерным применением материала в конструкциях (изделиях). Рецензируемая диссертация, по замыслу ее автора, посвящена разработке метода решения типовых задач деформации вязкоупругих твердых тел при устойчивости, 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 твердого 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.Б. Языева.

Прогнозирование устойчивого 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. Для стержней и стержневых систем, работающих в условиях одноосного напряженного состояния, вопросы реологического расчета достаточно хорошо проработаны, хотя есть куда развиваться, что нельзя сказать о тонкостенных конструкциях в виде пластин. Особенно сложной задачей становится при учете нелинейной ползучести, геометрической нелинейности, температурных воздействий, анизотропии, переменной жесткости. Деформации ползучести могут неоднозначно сказываться на напряженно-деформированном состоянии конструкций, зачастую отрицательно, а в некоторых случаях и положительно.

Целью работы автора выступает совершенствование расчета на устойчивость пластин и стержней в условиях ползучести с учетом 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 на устойчивость деформируемых систем. 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 нелинейного деформирования стержней, балок и пластин 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 из дерева, бетона и 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 ЛИРА-САПР и ANSYS.

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

Научная новизна диссертационной работы

Соискателем выполнен обширный объем теоретических исследований по устойчивости стержней и пластин переменного сечения в упругой и вязкоупругой постановке. Построены модели их деформирования, учитывающие такие факторы, как анизотропия, температурные воздействия, изменение физико-механических характеристик материала по толщине и т.д. Кроме того, исследовано влияние геометрической нелинейности на процесс ползучести, решена задача устойчивости пластин при ползучести с использованием нелинейного уравнения Максвелла-Гуревича. Предложена методика определения параметров материала, входящих в указанное уравнение. Впервые введен новый критерий устойчивости при ползучести для определения критического времени.

Значимость результатов исследований для науки и практики

Значимость результатов исследований для науки:

- исследованы закономерности изменения критической силы и критического времени стержней и пластин в условиях нелинейной ползучести при совместном действии температурного поля и силовых нагрузок с учетом зависимости свойств материала от температуры;
- проведено исследование явления перераспределения внутренних усилий и напряжений в задачах устойчивости деревянных и железобетонных арок при ползучести;
- введены понятия длительной цилиндрической жесткости, длительной критической нагрузки и установлено, от каких характеристик материала они зависят.
- представлены предложения по дальнейшему совершенствованию используемых методов расчета на устойчивость элементов конструкций из полимера путем введения интегральных величин, определяющих часть деформаций ползучести, и их учета в разрешающих уравнениях для анализа полученных результатов.

Значимость результатов исследований для практики:

– разработан и предложен простой и эффективный алгоритм определения реологических параметров термопластичного материала с использованием методов нелинейной оптимизации при обработки кривых ползучести и релаксации для материалов

– введены длительные постоянные материала, позволяющие найти перемещения и напряжения в конце процесса ползучести с использованием известных методов решения упругих задач;

– результаты, полученные в диссертации, внедрены в 3 проектные организации (группа компаний АКССстрой (г. Аксай), ООО «СевкавНИПИагропром» (г. Ростов-на-Дону), ООО «Научно-исследовательский центр НИКА» (г. Казань))

Несомненной практической ценностью обладают введенные автором длительные постоянные материала, позволяющие получить решение в конце процесса ползучести теми же методами, что и упругое решение.

Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность проблемы и выбор направления исследования, сформулированы цели и задачи, основные положения, приведена краткая аннотация всех глав работы.

В главе 1 приведен литературный обзор по теории ползучести конструкционных реономных материалов, в частности, линейная и нелинейная вязкоупругость, полная система уравнений механики сплошной среды, необходимые для решения задач определения НДС и устойчивости. Так как в качестве уравнения состояния используется обобщённое уравнение Максвелла, то автор подробно приводит представление о константах данного уравнения. В разделе 1.2.3 и 1.2.4 приводится понятие о дискретном спектре времен релаксации при одноосном и двухосном напряженном состоянии. В завершении главы автором приводится обзор исследований устойчивости стержневых систем, в том числе, плоской формы изгиба.

В главе 2 приводится численно-аналитический расчет продольного изгиба призматических упругих стержней с учетом собственного веса переменной жесткости при действии осевой нагрузки. Решение представлено в виде степенного ряда. Соискатель представляет доказательство сходимости ряда и последовательность численно аналитической реализации метода для модельных задач с различными схемами закрепления. В разделе 2.3 приведен вывод разрешающих уравнений устойчивости стержней любого сечения с учетом деформаций ползучести. Рассматриваются модельные задачи с различными граничными условиями численно-аналитическим методами (МКР, МКЭ, методы Ритца-Тимошенко и Бубнова Галеркина). Разделе 2.5 исследуется влияние

температуры на количественные характеристики жестких сетчатых полимеров эпоксидного типа (ЭДТ-10) используемых в качестве связующих для стеклопластиков и линейной структуры полимеров (ППМА) с учетом спектра времен релаксации.

Глава 3 посвящена вопросам устойчивости плоской формы изгиба упругих и вязкоупругих балок. Для идеальных балок постоянной и переменной жесткости приводится итерационный алгоритм определения критической нагрузки на основе метода конечных разностей. Исследуется влияние приложения нагрузки с вертикальным смещением относительно центра тяжести поперечного сечения на ее критическую величину.

Для балок с начальными несовершенствами приводится вывод разрешающего уравнения, учитывающего приложение нагрузки с эксцентриситетом, начальную погибь балки в плоскости наименьшей жесткости, а также начальный угол закручивания.

Для вязкоупругого стержня произвольного сечения получено дифференциальное уравнение относительно функции напряжений. Предложена методика решения, основанная на применении метода конечных разностей и метода конечных элементов.

Проводится исследование напряженно-деформированного состояния бруса прямоугольного поперечного сечения при кручении с использованием линейного (материал – дерево) и нелинейного (материал – ПВХ) закона ползучести. Также исследуется процесс релаксации в брус, относительный угол закручивания которого во времени остается постоянным.

В конце раздела рассматриваются вопросы бокового выпучивания балок из физически нелинейного материала. Получено дифференциальное уравнение, позволяющее рассчитывать балки из вязкоупругопластического материала с учетом переменной жесткости и начальных несовершенств.

Изложены вопросы определения длительных критических нагрузок для балок из вязкоупругого материала. На примере деревянной и полимерной балки исследуется влияние начальных несовершенств на величину критического времени при нагрузках, превышающих длительную критическую.

Предлагается новый критерий устойчивости при ползучести, основанный на характере изменения во времени нормальных напряжений.

Глава 4 посвящена вопросам устойчивости стержней и арок с учетом вязкоупругопластических свойств материала. Приводится уравнение состояния для вязкоупругопластической модели наследственного старения и вывод разрезающих уравнений. Рассматриваются модельные задачи, в частности, зависимости стрелы

прогиба от величины нагрузки при кратковременном нагружении при различных значениях f_0 . В разделе 4.2. автор приводит решение методом конечных элементов в задаче расчета на устойчивость деревянных арок с учетом геометрической нелинейности. Верификация представлена с сравнением решения той же задачи в комплексе ANSYS в упругой постановке. Раздел 4.3 соискатель решает задачи устойчивости железобетонных арок с различными формами задания функции ползучести. Предложен теоретический расчет в исследовании устойчивости шарнирно опертой по концам арок с учетом деформаций ползучести при действии равномерно распределенной нагрузки. Итерационный алгоритм расчёта, основанный на методе Ньютона–Рафсона соискателем адаптирован к исследуемым объектам

В главе 5 соискателем приводится численное моделирование задач изгиба и устойчивости гибких вязкоупругих пластин. Разработана методика расчета круглых осесимметрично нагруженных пластинок с учетом ползучести и геометрической нелинейности, подходящая для произвольных уравнений связи деформаций ползучести и напряжений.

Далее соискателем приводится сравнение результатов, получаемых по геометрически линейной теории и с учетом геометрической нелинейности.

В этой же главе соискатель предлагает расчет с использованием двойных рядов на случай конструкции пластины из вязкоупругого материала.

В заключении приводится расчет пластин с концентратором и выводы по главе.

Глава 6 отводится для чисто экспериментального исследования. Во-первых, определяются реологические параметры из двух видов деформаций: сдвиг и изгиб. Предложена методика определения реологических параметров полимера при сдвиговой ползучести на основе нелинейного уравнения Максвелла-Гуревича в продолжении исследователей португальских ученых и методика линейной оптимизации при изгибе. Динамический модуль Юнга определяется методом импульсного воздействия вибрации. Приведена схема установки проведения эксперимента и представлено сравнение результатов, полученных независимым методом испытания на изгиб для статического модуля упругости.

Автором проведено экспериментальное исследование устойчивости стержней из полимера сетчатой структуры из эпоксидного связующего ЭДТ-10. Результаты эксперимента достаточно хорошо согласуются с теорией, что свидетельствует об объективности 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 объеме отражает полученные в ходе исследования результаты.

Достаточность и полнота публикаций по теме диссертации

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 54 печатных работах, из них 23 работы в ведущих рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ, 31 статья в изданиях, входящих в наукометрические базы данных Web of Science и Scopus, 4 монографии. Получены 4 авторских свидетельства на программы для ЭВМ, 1 патент.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Соискатель с достаточной полнотой оценивает влияние ползучести с учетом геометрической и физической нелинейности на устойчивость стержней и пластин. Из представленных в диссертационной работе результатов следует, что этим явлением ни в коем случае нельзя пренебрегать.

Работы С.Б. Языева 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 стержней и пластин на устойчивость в условиях нелинейной ползучести с учетом температурных воздействий, переменной жесткости и других факторов. 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. Во второй главе в одной из задач устойчивости автор утверждает, что «стержень теряет устойчивость через 130 ч». Но непонятно, по какому критерию определено критическое время.

2. В работе, в частности, в 4-той главе, не рассматриваются балки, раскрепленные горизонтальными связями жесткости, хотя многие конструкции работают именно по такой схеме.
3. Из текста автореферата и диссертации непонятно, каким образом в авторской модели учитывается анизотропия при рассмотрении деревянных балок. Для дерева используется довольно простой линейный закон ползучести, хотя полученные уравнения позволяют использовать и более сложные законы.
4. Для расчета балки на устойчивость плоской формы изгиба в программном комплексе ЛИРА автором использованы плоские оболочечные элементы, однако более корректно в данной задаче применить объемные КЭ.
5. Решая задачу устойчивости при ползучести, автор говорит о длительной критической нагрузке, но не затрагивает определение критического времени, хотя это очень интересный класс задач.
6. Автор не рассматривает трехслойные стержни, балки и пластины конструкции с сотовым наполнителем, несмотря на то что такие конструкции являются одними из наиболее перспективных, и методика, предлагаемая автором, позволяет это сделать. Почему?

Указанные замечания не снижают высокого уровня и значимости в решении проблемы развития численных методов расчета на продольно-поперечный изгиб балок с учетом физической нелинейности материала.

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

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертационная работа Языева Сердара Батыровича на тему «Развитие методов расчета на устойчивость вязкоупругих стержней и пластин в условиях нелинейного деформирования» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена крупная научная проблема прогнозирования поведения устойчивости строительных конструкций в виде стержней, арок и пластин во времени с учетом ползучести материала, 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 строительных композитов строительного назначения. Тематика работы, её содержание, а также содержание

публикаций автора соответствуют паспорту специальности 2.1.9. Строительная механика.

Диссертационная работа Языева Сердара Батыровича на тему «Развитие методов расчета на устойчивость вязкоупругих стержней и пластин в условиях нелинейного деформирования» по своей актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии п.9 «Положения о присуждении ученых 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 Языев Сердар Батырович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании Ученого совета ОНК «Института высоких технологий» ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», протокол № 4 от 10 февраля 2023 г.

Доктор физико-математических наук
(01.02.04 – Механика деформируемого
твердого тела), доцент,
профессор ОНК «Институт высоких
технологий» Федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Балтийский
федеральный университет имени Иммануила
Канта»

Дмитриева
Мария
Александровна

Председатель ученого совета, ОНК
«Институт высоких технологий»
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Балтийский федеральный
университет имени Иммануила Канта»,
профессор

Юров Артём
Валерианович

Сведения о ведущей организации

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/sveden/employees/teachers/>

E-mail: post@kantiana.ru

Балтийский федеральный университет имени И. Канта
Управление по работе с персоналом

Подпись *Дмитриева М.А.*
Юров А.В. заверяю

"22" 02 2023 г.