

ОТЗЫВ

официального оппонента Тер-Эммануильян Татьяны Николаевны, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Теоретическая механика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» 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

Актуальность темы диссертации

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. Для стержней и стержневых систем, работающих в условиях одноосного напряженного состояния и устойчивости, вопросы реологического расчета достаточно хорошо проработаны, что нельзя сказать о тонкостенных конструкциях в виде пластин. Особенно сложной задача становится при учете нелинейной ползучести, геометрической нелинейности, температурных воздействий, переменной жесткости и начальных несовершенств.

Целью работы автора выступает совершенствование расчета на устойчивость стержней и пластин 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.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка, включающего 248 источника и приложений.

Общий объем работы 321 страниц, основной текст изложен на 278 страницах, включая 199 рисунков и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность проблемы и выбор направления исследования, сформулированы цели и задачи, основные положения, Подтверждены личный вклад автора, практическая значимость и реализация результатов работы. Представлены сведения об апробации работы.

В первой главе приведен литературный обзор по теории ползучести конструкционных реономных материалов (линейная и нелинейная теории), уравнения механики сплошной среды, необходимые для решения задач устойчивости и определения НДС.

Подробно расписано уравнение состояния и его параметры, в частности обобщённого нелинейного уравнения Максвелла. Автором подробно приведен анализ и описание механического поведения одноосного и плоского напряженного состояния сшитых полимеров, используемых в работе и о необходимости учёта наличия дискретного спектра времен релаксации.

В заключительном разделе представлено современное состояние исследований в области устойчивости стержней и методов расчета с учетом реологии материала.

Во второй главе получены уравнения устойчивости стержней и полос постоянного и переменного поперечного сечения при сложном продольном и поперечном нагружении. Разработаны методики решения полученных уравнений с применением вычислительной техники в результате чего определена область устойчивости стержней и полос при одновременном действии двух силовых факторов.

При исследовании устойчивости консольных стержней переменного поперечного сечения найден новый подход к использованию энергетического метода, который позволил определить точные значения критической нагрузки при особом изменении поперечного сечения стержня и с учетом его собственного веса.

Для сжатых полимерных стержней, подчиняющихся нелинейному уравнению Максвелла-Гуревича, разработана методика определения длительных критических нагрузок. Исследовано влияние дискретности спектра времен релаксации полимера. Показано существенное различие между кривыми роста прогиба при расчете с учетом одного и двух членов спектра.

В заключении главы приведены разрешающие уравнения и проведено исследование устойчивости стержней при ползучести с учетом температурных воздействий.

Изучено влияние изменения температуры стержня на величину длительной критической силы и критического времени. На время потери устойчивости оказывает сильное влияние релаксационная вязкость, которая от температуры зависит экспоненциально.

В третьей главе представлен вывод разрешающего уравнения для расчета на устойчивость плоской формы изгиба балок прямоугольного сечения с учетом ползучести и начальных несовершенств. Приведенное уравнение применимо и для балок переменной жесткости, а также для конструкций из вязкоупругопластического материала.

Кроме того, оно позволяет использовать произвольный закон ползучести, в том числе и нелинейный. Исследован процесс потери устойчивости при ползучести для полимерной балки с использованием нелинейного уравнения Максвелла-Гуревича, а также для деревянной балки с использованием линейного закона Максвелла-Томпсона.

В конце главы приведен раздел где получены уравнения выпучивания упругих вращающихся стержней при действии осевых сжимающих сил с учетом собственного веса постоянного и переменного поперечного сечения.

Четвертая глава посвящена вопросам устойчивости стержней и арок с учетом вязкоупругопластических свойств материала.

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, адаптирован к исследуемым объектам.

Соискателем установлено существенное влияние начальных несовершенств на величину мгновенной критической нагрузки и критического времени. Предложенная методика допускает использовать произвольные зависимости между напряжениями и мгновенными деформациями, что позволяет применять ее не только для дерева. Достоверность результатов подтверждена анализом величины критической нагрузки на основе касательно-модульной теории.

По результатам расчета дано сравнение результатов, полученных без учёта геометрической нелинейности, а также без учёта нелинейной составляющей ползучести. Доказано, что пренебрежение хотя бы одним видом нелинейности приводит к существенному расхождению между результатами.

Пятая глава посвящена устойчивости и численному моделированию задач изгиба гибких вязкоупругих пластин.

Диссертантом разработана методика расчета прямоугольных и круглых осесимметрично нагруженных пластинок с учетом ползучести и геометрической нелинейности, подходящая для произвольных уравнений связи деформаций ползучести и напряжений. Выполнено сравнение результатов, получаемых по геометрически линейной теории и с учетом геометрической нелинейности. Получены основные уравнения для задачи изгиба прямоугольной гибкой пластинки с учетом вязкоупругости.

Установлено, что потеря устойчивости полимерной пластинки может произойти при нагрузке значительно меньше, чем мгновенная критическая.

Автором получены выражения для матрицы жесткости и вектора дополнительных фиктивных нагрузок, обусловленных ползучестью. Разработанная методика реализована в виде программы в среде MATLAB.

В завершении главы приводится задача с концентратором, где отмечается, что во всех случаях рост прогиба носит затухающий характер, но с увеличением радиуса отверстия максимальный прогиб заметно возрастает.

Шестая глава посвящена экспериментальному исследованию по определению реологических параметров и моделированию устойчивости полимерных стержней. Предложена метод нелинейной оптимизации при изгибе для определения

реологических параметров полимера на основе нелинейного уравнения Максвелла-Гуревича. Здесь автором отмечается, что аппроксимирующая кривая с использованием нелинейного уравнения связи намного выше согласуется с экспериментальными кривыми, чем в случае применения степенного закона Финдли и линейного уравнения Максвелла-Томпсона.

Автором усовершенствована методика определения упругих констант методом импульсного воздействия вибрации. Приведена схема установки проведения эксперимента и представлено сравнение результатов, полученных независимым методом испытания на изгиб.

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 заключении сформулированы общие выводы по диссертации.

Оценка новизны и достоверности

В диссертационной работе разработана новая эффективная метод определения реологических параметров материала, входящих в нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича, в частности, метод нелинейной оптимизации при изгибе, позволяющая выполнять расчеты с учетом изменения свойств материала под действием температуры;

Предложен численно-аналитический метод для реализации решения и анализа задач устойчивости стержней и полос переменной жесткости по длине при поперечном и продольном нагружении с учетом собственного веса, а также с учетом реологии материала.

Диссертант предлагает новый критерий для определения критического времени, основанный на полученных графических зависимостях, в частности, локального минимума при изменении во времени нормальных напряжений

Достоверность результатов и выводов, сформулированных в диссертационной работе, обеспечивается строгими математическими постановками рассматриваемых задач и обоснованном применении математических методов; совпадением численных результатов ряда тестовых задач с опубликованными в литературе; подтверждением результатами математического моделирования и эксперимента.

Практическая значимость результатов работы

Ценность полученных в диссертации результатов определяется, прежде всего, запросами практики, послужившими исходной точкой при проведении исследований.

Разработана методика и программное обеспечение для обработки кривых ползучести и релаксации на основе уравнения Максвелла-Гуревича.

Предложены и обоснованы величины длительных модулей упругости и длительной цилиндрической жесткости, позволяющие определить перемещения и напряжения в конце процесса ползучести с использованием известных методов решения упругих задач. Разработан пакет прикладных программ в среде Matlab для расчета на ползучесть стержней и пластин различной формы при произвольном законе связи между деформациями ползучести и напряжениями.

Разработанные методики, алгоритмы, программное обеспечение и результаты решения научно-исследовательских задач, приведенные в диссертации, могут быть внедрены в расчетную практику ряда научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций и использоваться на этапах проектирования и научного сопровождения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работе С.Б. Языева соответствует общепринятой в рамках специальности 2.1.9. Строительная механика. Для решения поставленных задач использованы фундаментальные уравнения механики деформируемого твердого тела, апробированные методы математического моделирования.

Полученные численные решения поставленных задач удовлетворительно согласуются в частных случаях с ранее известными в научных публикациях решениями. Численные методы решения уравнений математических моделей основаны на эффективных алгоритмах, апробированных на известных тестовых решениях.

Сформулированные научные положения и рекомендации не противоречат результатам промышленных испытаний рассматриваемых технологий.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность подтверждаются результатами численного исследования сходимости на тестовых примерах, имеющих заранее известное решение, а также данными комплексного контроля, включающего:

- сравнением результатов с решениями в МКЭ комплексах;
- проверку выполнения условий равновесия внутренних усилий в поперечных сечениях отдельных конгломератов конечных элементов;
- верификацией разработанных в диссертации методов численного расчета различными способами, в том числе применением двух независимых методов к решению одной задачи с последующим сравнением результатов, анализом разрешающих уравнений в конце процесса ползучести.

Новизна научных положений диссертации состоит в том, что:

– предложена эффективная методика и алгоритм для определения реологических параметров термопластичного материала с использованием методов нелинейной оптимизации;

– выполнено развитие известных методов расчета упругих пластин и стержней на случай задач ползучести (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод расчета в двойных рядах и др.);

– построены модели деформирования стержней и пластин при ползучести, Предложенные модели применимы для произвольных законов ползучести и апробированы на стержнях и пластинах из полимеров, стеклопластиков, дерева и железобетона;

– предложен новый критерий для определения критического времени, основанный на полученных графических зависимостях, в частности, локального минимума при изменении во времени нормальных напряжений.

– решена задача устойчивости и изгиба пластин и стержней при ползучести в геометрически нелинейной постановке;

Разработанный С.Б. Языевым пакет прикладных программ позволяет рассчитывать стержни и пластины различной формы при произвольном законе ползучести. На созданные автором программы получены 4 авторских свидетельства, 1 патент и выполнено внедрение в 3 проектные организации.

Личный вклад автора состоит:

1. Получении всех разрешающих уравнений для решения новых классов задач устойчивости стержней, балок и пластин с учетом реологии материала, разработке методов численного и аналитического решения и анализа поставленных задач.

2. Разработке методологии нахождения реологических параметров методом нелинейной оптимизации с использованием адаптированных генетических алгоритмов, включающих стратегии ускорения выхода в область допустимых решений и повышения сходимости итерационного процесса;

Характеристика публикаций и апробация работы

Материалы диссертации опубликованы в 4 монографиях. Соискателем получено 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и 1 патент.

Основное содержание диссертации опубликовано в 54 печатных работах, из них 23 работы в ведущих рецензируемых изданиях, определенных ВАК РФ, и 31 публикаций в изданиях, входящих в международные базы Scopus/ Web of Science.

Работы соискателя хорошо известны специалистам в области строительной механики. Результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на международных профильных научных конференциях, что отражено в списке публикаций.

Следует отметить, что по результатам диссертационной работы автору в составе авторского коллектива присуждена серебряная медаль РААСН в 2020 году (выписка из протокола президиума РААСН №5 от 20.03.2020).

Автореферат в целом отражает основное содержание диссертации и изложен грамотным языком, ясно, логически последовательно. В целом, работа характеризуется смысловой законченностью и целостностью.

Замечания по диссертации

1. Считаю, что соискателем несколько завышен объем первой главы «Состояние вопроса. Постановка задачи».

2. В главе 2, посвященной решению задач устойчивости стержней с учетом собственного веса на основе поиска решений в виде степенного ряда и численных экспериментов соискателем получены интересные результаты. Однако они выглядят как решения инженерных задач без теоретического осмысления.

3. Как можно объяснить на рисунке 6.6. последней главы не вполне удовлетворительное совпадение экспериментальных кривых релаксации и их аппроксимации на основе уравнений Максвелла-Гуревича для некоторых температур?

4. Автор выполняет решение ряда тестовых задач с использованием метода конечных элементов и метода конечных разностей. Сравнение результатов приводит к давно известному выводу об их практически полном совпадении. Разница лишь в трудоемкости алгоритмизации расчетов по МКР и МКЭ. На мой взгляд, приводить сравнение этих двух методов нецелесообразно.

5. Излишними также являются приведенные в диссертации конечно-разностные шаблоны. Новизну представляют полученные автором разрешающие уравнения, а методика их решения при помощи МКР не нова.

6. Нет пояснений, почему в главе 6 при испытании на сдвиговую ползучесть были выбраны уровни напряжений в 10, 20 и 30% от предела прочности, и не рассматривалась ползучесть при более высоких уровнях напряжений.

Указанные замечания не являются принципиальными и никак не влияют на общее положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Приведенные выше замечания не снижают общих достоинств работы в целом и никак не влияют на общее положительной оценки диссертационной работы. Полученные результаты соискателем соответствуют уровню докторской диссертации по рассматриваемой специальности.

Автореферат диссертации составлен с соблюдением установленных требований, дает полное и правильное представление о работе.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Языева Сердара Батыровича «Развитие методов расчета на устойчивость вязкоупругих стержней и

пластин в условиях нелинейного деформирования» представляет завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена крупная научная проблема совершенствования методов расчёта на устойчивость стержней и пластин при нелинейной ползучести в условиях термосиловых воздействий, имеющая важное хозяйственное значение и отвечает критериям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в актуальной редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, и в соответствии с п.п. 9-14 «Положения», является научно-квалификационной работой, а её автор, Сердар Батырович Языев безусловно, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Российский университет
транспорта», профессор кафедры
«Теоретическая механика»

Татьяна Николаевна
Тер-Эммануильян

Сведения об официальном оппоненте

ФИО:

Татьяна Николаевна Тер-Эммануильян

Учёная степень:

доктор технических наук

Учёное звание:

доцент

ФГАОУ ВО

Организация:

«Российский университет транспорта»

Должность:

профессор кафедры «Теоретическая механика»

Специальность:

2.1.9. (05.23.17) Строительная механика

127994, ГСП-4, г. Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Почтовый адрес:

Телефон, факс:

+7(495)681-13-40, +7(495)684-23-96

E-mail:

info@rut-miit.ru, tu@miit.ru

Подпись д-р. техн. наук, профессора

Тер-Эммануильян Т.Н. заверяю

08.02.2023

Начальник
ОУПНПКВК



И.В. Федякин