

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Языева Сердара Батыровича выполненной на тему: «Развитие методов расчета на устойчивость вязкоупругих стержней и пластин в условиях нелинейного деформирования», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Диссертация С.Б. Языева направлена на совершенствование численных и численно-аналитических методов расчета на устойчивость стержней и пластин с учетом таких факторов, реология материала, как переменная жесткость, анизотропия, наличие температурных деформаций и др. Расчет конструкций с учетом перечисленных факторов связан с существенными математическими трудностями. Кроме того, при описании ползучести многих материалов лучшее совпадение с экспериментальными данными обеспечивают нелинейные дифференциальные и интегральные уравнения. Все это делает практически невозможным аналитическое решение задач ползучести стержней, пластин и оболочек.

Исходя из вышесказанного, вопрос развития методов расчета и прогнозирования прочности и устойчивости конструктивных элементов из полимеров и композитов на их основе (полимербетонных, дощатоклееных балок и других) с учетом физической и геометрической нелинейности, реологических свойств материала, можно отнести к одному из актуальных и приоритетных направлений в строительной механике и механике полимеров.

### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

1. Предложен алгоритм определения реологических параметров термопластичного материала с использованием методов нелинейной оптимизации.
2. 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.
3. Разработан и реализован на ЭВМ алгоритм определения критической нагрузки при боковом выпучивании с учетом ползучести энергетическим методом с использованием форм Бубнова-Галеркина, Ритца-Тимошенко и методом конечных элементов (далее — МКЭ) для балок постоянного и переменного сечения.
4. Получены разрешающие уравнения и разработан итерационный алгоритм определения напряжённо-деформированного состояния, а также анализа устойчивости деревянных и железобетонных арок с учетом одновременно геометрической и физической нелинейности, что позволило расширить границы применимости полученных результатов.

5. При квазистатическом процессе расчета проведена модернизация и усовершенствован алгоритм определения деформаций ползучести с введением новой величины длительной критической силы для полимерных стержней и пластин. Разработан универсальный, подходящий для произвольных уравнений состояния, численный алгоритм расчета устойчивости полимерных стержней и пластин на основе МКЭ с учетом физической и геометрической нелинейности.

6. Создана математическая модель для эффективного расчета полимерных стержней и пластин конструкционного назначения на термосиловое воздействие с учетом функциональной зависимости физико-механических характеристик материала, геометрической и физической нелинейности, а также учет двух и более составляющих спектра времен релаксации материала.

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

8. 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.

#### **Теоретическая значимость**

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов расчета на НДС и устойчивость термопластичных призматических стержней и пластин с учетом нелинейной ползучести при термосиловом воздействии, а также с учетом косвенной неоднородности. Доказано, что полученные системы разрешающих уравнений для полимерных стержней и пластин, позволяют решать широкий круг задач данного раздела строительной механики и механики полимеров.

#### **Практическая значимость:**

– Разработан и представлен алгоритм и программное обеспечение для обработки кривых ползучести и релаксации на основе уравнения состояния полимера. На примере вторичного поливинилхлорида, пенополиуретана, эпоксидного связующего, полипропилена доказано высокое качество аппроксимации экспериментальных кривых

– Разработан и внедрен пакет прикладных программ в среде MATLAB для расчета на ползучесть пластин и стержней различной формы при использовании произвольного закона уравнения состояния (интегральной или дифференциальной формы);

– Рекомендован новый подход к использованию энергетического метода, заключающимся в том, что, уравнение упругой линии и форма стержня задается в виде

полинома, содержащего неопределенные коэффициенты и неопределенные показатели степени. Предложенный подход позволил определить точные значения критической нагрузки при особом изменении поперечного сечения стержня и с учетом его собственного веса. Предложены расчетные формулы для определения критической силы и напряжения;

– На основе анализа полученных решений в процессе ползучести, обоснована и введена новая величина длительной цилиндрической жесткости, и длительный коэффициент Пуассона. Данное утверждение дает возможность с использованием известных методов решения упругих задач определять перемещения и напряжения в конце процесса ползучести.

К достоинствам диссертации следует отнести, что в качестве уравнений, определяющих связь между деформациями ползучести и напряжениями автором, используется обобщенное нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича для полимерных элементов конструкций, линейная теория наследственности для конструкций из стеклопластика и вязкоупругая модель наследственного старения для железобетонных оболочек. Полученные автором новые разрешающие уравнения являются универсальными и позволяют использовать произвольные законы ползучести, записанные как в интегральной, так и в дифференциальной форме.

Соискателем проведено исследование устойчивости при ползучести изотропных и ортотропных элементов конструкций, железобетонных арок, а также пластин с концентратором. В результате выявлены закономерности и различия в реологическом поведении однородных и гетерогенных систем. Для решения задач выполнено развитие метода конечных разностей, метода конечных элементов, метода двойных тригонометрических рядов.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. На стр. 32 коэффициент начальной релаксационной вязкости записан как  $\eta_0 = 5.44 \cdot 10^7$  МПа·с. Вероятно, здесь имеет место опечатка. Также в автореферате довольно часто встречаются грамматические ошибки;

2. На рис. 2.2. и 2.3. представлены графики, названные «областью устойчивости». Не совсем понятно, что из себя представляет эта область устойчивости. В автореферате по этому поводу нет никаких пояснений.

#### **Внедрение результатов исследования**

В виде пакета прикладных программ основные результаты научного исследования внедрены в ООО «Научно-исследовательский центр «НИКА» (г. Казань), ООО «СевкавНИПИАгропром» (г. Ростов-на-Дону), практику проектирования группы компаний АКССстрой (г. Аксай), а также в образовательный процесс в Донском государственном

техническом университете при подготовке аспирантов по направлению 2.1.9. Строительная механика.

### Публикации

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 54-х 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.

В целом диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, изложена логическим языком, имеет научную и практическую ценность и представляет собой законченное исследование.

Диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842 (в настоящей редакции), предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор Языев Сердар Батырович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Настоящим даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных в документах, связанных с работой диссертационного совета.

профессор, доктор технических наук, академик Российской инженерной академии, дважды лауреат Премии правительства РФ в области науки и техники, Заслуженный строитель Российской Федерации, директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (Специальность 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения)		ВЕДЯКОВ Иван Иванович
АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» Адрес: 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д.6 Тел.: +7 (495) 602-00-70 Факс: +7 (499) 171-22-50 E-mail: <a href="mailto:inf@cstroy.ru">inf@cstroy.ru</a>		
Зам. ген директора по развитию АО «НИЦ «Строительство»  Подпись д.т.н., проф. Ведякова И.И. заверяю  10.03.2023		ОНИЩЕНКО Светлана Эдвардовна