



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донской государственный технический университет»
(ДГТУ)**

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Приемная ректора т.8(863) 273-85-25
Общий отдел т.8(863) 273-85-11
Факс т.8(863) 232-79-53
E-mail: reception@donstu.ru

ОКПО 02069102
ОГРН 1026103727847
ИНН/КПП 6165033136/616501001

№ _____
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по учебной работе и
подготовке кадров высшей
квалификации, д.т.н., проф.

_____ / А.Н. Бескопильный
_____ 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Донской государственный технический университет»**

Диссертационная работа Савченко Андрея Андреевича «Моделирование реологических процессов и прогнозирование прочностных характеристик пластин из полимерных и композитных материалов» выполнена на кафедре «Соппротивление материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет».

В период подготовки диссертации с 2015 по 2018 годы Савченко Андрей Андреевич проходил заочное обучение в аспирантуре Донского государственного технического университета при кафедре «Соппротивление материалов».

В настоящее время, досрочно завершив свою диссертационную работу, диссертант Савченко А.А. представил её в диссертационный совет Д 212.076.09 при ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова».

В связи с корректировкой темы и изменением вектора работы, в 2017 году А. А. Савченко был прикреплен соискателем кафедры «Органическая химия и высокомолекулярные соединения» ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова» для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 02.00.06 — Высокомолекулярные соединения.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменах выдано в 2018 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова» (кандидатский экзамен по специальности 02.00.06 — Высокомолекулярные соединения) и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Донской государственный технический университет» (кандидатский минимум по иностранному языку и философии).

Научный руководитель — Языев Батыр Меретович, доктор технических наук (02.00.06), профессор, профессор кафедры «Сопротивление материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет».

По результатам рассмотрения диссертации «Моделирование реологических процессов и прогнозирование прочностных характеристик пластин из полимерных и композитных материалов» принято следующее заключение:

Актуальность темы диссертации. В настоящее время полимерные тонкостенные конструкции находят все более широкое применение в таких отраслях, как строительство, автомобилестроение, кораблестроение, авиастроение и др. Полимерные композиционные материалы сочетают в себе высокую несущую

способность, легкость и экономичность. Эти свойства в полной мере реализуются в конструкциях в виде пластин и оболочек.

Для всех полимерных материалов характерно развитие деформаций во времени при постоянных нагрузках (явление ползучести, обусловленное высокоэластическими деформациями). Ползучесть полимеров оказывает двойственное влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) и длительную прочность изделий и конструкций из полимерных композиционных материалов. К негативным эффектам ползучести относится значительный рост перемещений полимерных конструкций и их элементов во времени. Реология может положительно влиять на НДС полимерных элементов, так как при постоянных деформациях происходит релаксация напряжений. В композиционных материалах возможно перераспределение напряжений между полимерной матрицей и армирующими элементами.

Прогнозирование поведения конструкций из полимерных материалов и их элементов во времени, в том числе явления ползучести, **является актуальной задачей**, которой посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых.

Степень изученности проблемы. Общая теория ползучести и ее приложения расчету тонкостенных конструкций рассматривались Ю.Н. Работновым, Л.М. Качановым, И.Г. Терегуловым, А.Р. Ржаницыным и др. Вопросам реологического расчета полимерных пластин и оболочек посвящены работы А. Л. Рабиновича, И. И. Гольденבלата, А.А. Аскадского, В. И. Климанова, С. А. Тимашева, В. И. Андреева, Б. М. Языева, А. С. Чепурненко, и др. В большинстве работ при решении задач используются строго определенные законы ползучести, как правило упрощенные и не позволяющие учитывать нелинейную составляющую деформаций ползучести и специфику конкретных полимеров.

Цель диссертационной работы: разработка и совершенствование методики расчета на ползучесть пластин из полимерных и композитных материалов, а также трехслойных пластин с полимерным наполнителем в нелинейной постановке.

Объект исследования: пластины из изотропных полимеров (полиметилметакрилат, поливинилхлорид, эпоксидные связующие ЭДТ-10), стеклопластиковые пластины (на примере стеклопластика ВПС-48/120), трехслойные сэндвич-панели с пенополиуретановым наполнителем (материал *Эластоспрей 1622/39k*, BASF).

Задачи исследования:

- получение универсальных разрешающих уравнений для случая изгиба и плоского напряженного состояния изотропных полимерных пластин;
- теоретическое исследование ползучести полимерных пластин при изгибе и растяжении с учетом концентрации напряжений на примере конструкций из полиметилметакрилата и вторичного поливинилхлорида;
- вывод разрешающих уравнений и разработка универсальной методики расчета на ползучесть пластин из армированных полимеров с учетом анизотропии материала;
- исследование влияния анизотропии упругих и реологических свойств на напряженно-деформированное состояние стеклопластиковых пластин при растяжении и изгибе на примере стеклопластика ВПС-48/120;
- экспериментальное определение реологических констант пенополиуретана из испытаний на сдвиговую ползучесть;
- разработка универсальной методики расчета и теоретическое исследование ползучести трехслойных пластин с полимерным вязкоупругим наполнителем (на примере пенополиуретана).

Научная новизна работы:

- разработана универсальная методика конечно-элементного моделирования ползучести пластин произвольной формы при изгибе и в случае плоского напряженного состояния;
- исследовано явление концентрации напряжений при растяжении полимерной полосы с отверстием с учетом нелинейной ползучести на примере полиметилметакрилата;

— в результате экспериментального исследования определены упругие и реологические параметры пенополиуретана при сдвиговой ползучести;

— исследована нелинейная ползучесть трехслойных балок и пластин с пенополиуретановым наполнителем с использованием уравнения Максвелла-Гуревича, а также уравнения Максвелла-Томпсона.

Теоретическая значимость работы:

— в результате теоретического исследования ползучести полимерных изотропных пластин на примере полиметилметакрилата, поливинилхлорида и ЭДТ-10 установлено, что при изгибе напряжения в пластинах практически не меняются, а в случае плоской задачи в конце процесса ползучести происходит возврат к упругому распределению напряжений;

— для анизотропных пластин на примере стеклопластика марки ВПС-48/120 выявлено перераспределение внутренних усилий и напряжений при ползучести;

— установлено, что нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича по сравнению с другими широко используемыми в литературе законами ползучести более точно описывает кривые сдвиговой ползучести пенополиуретана;

— в результате теоретического исследования ползучести трехслойных пластин с пенополиуретановым наполнителем установлено, что напряжения и деформации в обшивках и наполнителе по нелинейной теории, в отличие от линейной, изменяются во времени.

Практическое значение работы: разработан универсальный пакет прикладных программ в среде Matlab для расчета однослойных и трехслойных пластин, позволяющий использовать произвольные законы ползучести.

Методы исследования. Исследование базируются на современных методах теории упругости, пластичности и ползучести. Используется численное моделирование на основе метода конечных разностей и метода конечных элементов. Вычисления проводились на базе современных ПЭВМ с

использованием математического пакета MatLab. Выполнялось сравнение результатов с решением в программном комплексе ЛИРА-САПР.

Внедрение результатов работы. Разработанный пакет прикладных программ в среде Matlab внедрен в группу компаний АКССстрой (г. Аксай).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. основные разрешающие уравнения и методики расчета полимерных и композитных пластин с учетом нелинейной ползучести;
2. результаты теоретического исследования ползучести полимерных пластин на основе полиметилметакрилата, вторичного поливинилхлорида при растяжении и изгибе;
3. методика и результаты обработки кривых ползучести пенополиуретана при сдвиге;
4. основные разрешающие уравнения и методики расчета с учетом ползучести трехслойных балок и пластин с полимерным наполнителем;
5. результаты теоретического исследования напряженно-деформированного состояния трехслойных балок и пластин с пенополиуретановым наполнителем при ползучести.

Достоверность результатов обеспечивается:

- проверкой выполнения всех граничных условий, дифференциальных и интегральных соотношений; сравнением полученных результатов с известными решениями других авторов;
- сравнением результатов с решениями в МКЭ комплексах; применением нескольких методов к решению одной задачи с последующим сопоставлением результатов.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались на международных научно-практических конференциях ICMTMTE 2017 (г. Севастополь), «Пром-Инжиниринг – 2016» (г. Челябинск), научно-практической конференции «Строительство и архитектура – 2017» (г. Ростов-на-Дону), XIV Международной научно-практической конференции «Новые

полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения» (г. Нальчик, 2018).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 12 печатных работах, из них в ведущих рецензируемых изданиях, определенных ВАК РФ — 5, в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах Scopus / Web of Science — 3. Получено авторское свидетельство на программу для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложений. Изложена на 145 страницах машинописного текста и содержит 65 рисунков и 4 таблицы.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, или входящих в международные реферативные базы Scopus/Web of Science:

1. **Савченко, А.А.** Концентрация напряжений в вязкоупругой полимерной пластинке с отверстием / **А.А. Савченко** // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – №4. – С. 44-47
2. Чепурненко, А.С. Моделирование реологических процессов в трехслойных плитах с пенополиуретановым наполнителем / А.С. Чепурненко, **А.А. Савченко** // Пластические массы. – 2018. – №5-6. – С. 24-27
3. Чепурненко, А.С. Конечно-элементное моделирование ползучести пластин произвольной формы / А.С. Чепурненко, А.В. Сайбель, **А.А. Савченко** // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №1. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3998>.
4. Чепурненко, А.С. Расчет круговой цилиндрической оболочки по моментной теории с учетом ползучести / А.С. Чепурненко, А.В. Сайбель, **А.А. Савченко** // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №3. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4197.

5. Чепурненко, А.С. Моделирование ползучести армированной плиты на основе вязкоупругой реологической модели / А.С. Чепурненко, А.В. Сайбель, В.С. Чепурненко, **А.А. Савченко** // Научное обозрение. – 2017. – №7. – С. 50-55
 6. Chepurnenko, A.S. Calculation for the Circular Plate on Creep Considering Geometric Nonlinearity / A.S. Chepurnenko, B.M. Yazyev, **A.A. Savchenko** // Procedia Engineering. – 2016. – Т. 150. – С. 1680–1685.
 7. Chepurnenko, A.S. Calculation of a three-layer plate by the finite element method taking into account the creep of the filler / A.S. Chepurnenko, **A.A. Savchenko**, S.B. Yazyeva // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Т. 129. – Режим доступа: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/43/mateconf_icmtmte2017_05008.pdf
 8. Danilova-Volkovskaya, G.M. Calculation of the bending of electromechanical aircraft element made of the carbon fiber / G.M. Danilova-Volkovskaya, A.S. Chepurnenko, A. Begak, **A.A. Savchenko** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Т. 90 – С. 1-6. – Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012046/pdf>
- Статьи в других изданиях:**
9. Чепурненко, А.С. Конечно-элементное моделирование ползучести трехслойной пластины / А.С. Чепурненко, В.С. Чепурненко, **А.А. Савченко** // Молодой исследователь Дона. – 2017. – №3. – Режим доступа: http://mid-journal.ru/upload/iblock/508/95_102.pdf
 10. Чепурненко, А.С. Расчет трехслойной балки с учетом ползучести среднего слоя / А.С. Чепурненко, В.С. Чепурненко, **А.А. Савченко** // Молодой исследователь Дона. – 2017. – №4. – Режим доступа: http://mid-journal.ru/upload/iblock/b6f/18-chepurnenko-102_106.pdf
 11. Чепурненко, А.С. Осесимметричный изгиб круглой трехслойной плиты при ползучести / А.С. Чепурненко, А.В. Сайбель, **А.А. Савченко** // В сборнике: «Строительство и архитектура – 2017 материалы научно-практической конференции». – Ростов-на-Дону, 2017. – С. 153-158.

12. Чепурненко, А.С. Расчет трехслойных панелей с пенополиуретановым наполнителем с учетом ползучести / А.С. Чепурненко, А.А. Савченко // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: Материалы XIV Международной научно-практической конференции. – Нальчик: Издательство «Принт Центр», 2018. – С. 234-240.

Авторские свидетельства на программу для ЭВМ:

13. А.с. 2016614064 Рос. Федерация: Расчет многослойных полимерных труб с учетом ползучести материала / Б.М. Языев, А.С. Чепурненко, А.Е. Дудник, А.А. Савченко // Заявка №2016611241 от 17.02.2016 г.

Диссертационная работа «**Моделирование реологических процессов и прогнозирование прочностных характеристик пластин из полимерных и композитных материалов**» Савченко Андрея Андреевича рекомендуется к публичной защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности: 02.00.06 — Высокомолекулярные соединения.

Заключение принято на совместном заседании кафедр «Сопротивление материалов» и «Техническая механика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет».

На заседании присутствовало 15 чел.

Результаты голосования: «за» — 15 чел., «против» — нет, «воздержалось» — нет (протокол от 27 августа 2018 г. №1).

Заведующий кафедрой
«Техническая механика»,
д.т.н., проф.

Леонид Николаевич
ПАНАСЮК

Заведующий кафедрой
«Сопротивление материалов»,
к.т.н., доц.

Степан Викторович
ЛИТВИНОВ