



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НИУ МГСУ)

Ярославское ш., 26, Москва, 129337  
тел.: +7 (495) 781-80-07, факс: +7 (499) 183-44-38  
kanz@mgsu.ru, www.mgsu.ru / mgsu.pf  
ОКПО 02066523, ОГРН 1027700575044  
ИНН/КПП 7716103391 / 771601001

Проректор ФГБОУ ВО  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет» кандидат  
технических наук, доцент



А.П. Пустовгар

« 26 » Октября 2018 г.

26.10.2018 № 303-120-225/4

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) на диссертационную работу Савченко Андрея Андреевича «Моделирование реологических процессов и прогнозирование прочностных характеристик пластин из полимерных и композитных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.06 — Высокомолекулярные соединения

Для представления отзыва в диссертационный совет Д 212.076.09 ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» соискателем были представлены следующие материалы:

- текст диссертационной работы в объеме 145 страниц компьютерной верстки, состоящий из введения, 4 глав, включающих в себя 65 рисунков и 4 таблицы, общих выводов, заключения, списка литературы, включающего 69 наименований, и 2 приложений;
- автореферат объемом 24 страницы;
- оттиски публикаций соискателя в количестве 12 и авторского свидетельства на программу для ЭВМ.

Рассмотрев на заседании кафедры «Сопротивление материалов» представленные материалы диссертации и автореферата, кафедра заключила следующее:

Диссертация Савченко А.А. на тему: «Моделирование реологических процессов и прогнозирование прочностных характеристик пластин из полимерных и композитных материалов», выполнена в Федеральном

28061

государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственной технической академии». Что же касается содержательной части диссертации то изучение и анализ этих материалов показали следующее:

### **Актуальность и научная новизна диссертации.**

В последние годы с появлением новых композиционных материалов, а также более широким распространением композитных пластин и оболочек, требуется более уточненная постановка соответствующих задач их расчета с учетом реологических свойств материала. Полимерные материалы приобретают все большую популярность и используются в конструктивных элементах наравне с «классическими» материалами, такими как железобетон, сталь и т.д. При проектировании конструкций, подвергающихся в процессе эксплуатации механическим и температурным воздействиям, необходимо уметь корректно прогнозировать изменение их прочностных характеристик во времени.

Характерной особенностью полимерных материалов является наличие у них обратимых деформаций, не совпадающих по фазе с напряжением – высокоэластических деформаций. Значительное влияние на них оказывают время действия нагрузок, температура, скорость деформирования и т.д.

Таким образом, задача совершенствования расчета полимерных и композитных пластин с учетом реологии является актуальной.

### **Содержание диссертации.**

*Первая глава* диссертации представляет обзор работ, посвященных расчету полимерных и композитных пластин с учетом ползучести. Автором изучен и проанализирован опыт ведущих научных школ, занимающихся вопросами теории пластин и оболочек, а также теории ползучести полимеров.

В главе 1 также приводится обзор областей применения полимерных и композитных пластин, сравнительный анализ теорий ползучести, описывающих реологическое поведение полимерных и композитных материалов. Наиболее точно характеризует реологическое поведение полимеров нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича.

*Во второй главе* приводится вывод разрешающих уравнений для определения напряженно-деформированного состояния изотропных полимерных пластин при изгибе и плоском напряженном состоянии. Для прямоугольной пластинки получено интегро-дифференциальное уравнение

четвертого порядка относительно прогиба. Решение этого уравнения выполняется при помощи двойных тригонометрических рядов, а деформации ползучести определяются шаговым методом при помощи линейной аппроксимации по времени.

Шаговый метод сам по себе не нов, и использовался многими исследователями для решения задач ползучести одномерных объектов: стержней и стержневых систем. А метод решения в двойных тригонометрических рядах широко известен в задачах расчета упругих пластин и оболочек. Однако для вязкоупругих полимерных пластин данный метод применен впервые.

Автором также выполнено развитие метода конечных элементов на случай нелинейной ползучести полимерных пластин. При этом деформации ползучести вносят вклад только в правую часть системы линейных алгебраических уравнений МКЭ. Такой подход является очень удобным, т.к. матрица жесткости остается постоянной во времени, и обращать ее нужно всего один раз, что положительно отражается на скорости вычислений. Треугольные элементы позволяют моделировать конструкции произвольной формы. Сравнение результатов, полученных при помощи МКЭ и двойных тригонометрических рядов подтверждает достоверность разработанной автором методики.

Помимо вопросов изгиба полимерных пластин автор рассматривает задачу растяжения пластины из пластифицированного полиметилметакрилата с отверстием. Данная задача представляет большой практический интерес, поскольку полиметилметакрилат широко используется в светопрозрачных конструкциях, при монтаже которых необходимы отверстия для крепежа.

*Третья глава* посвящена ползучести композитных пластинок. Автором получено универсальное разрешающее уравнение для задачи изгиба ортотропных стеклопластиковых пластин, а также проведено исследование напряженно-деформированного состояния на примере пластины на основе расплавленного эпоксидного связующего. Используется закон ползучести в интегральной форме.

*Четвертая глава* посвящена ползучести трехслойных пластин с полимерным наполнителем. Такие конструкции находят широкое применение благодаря высокой жесткости и малому весу. Средний слой трехслойных конструкций выполняется, как правило, из пенополиуретана, для которого помимо упругих свойств характерна существенная вязкоупругость. Автором

предложена методика и проведен эксперимент по определению реологических параметров пенополиуретана при сдвиге. В результате установлено, что по сравнению со степенным законом Финдли и линейным уравнением Максвелла-Томпсона нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича дает лучшее совпадение с экспериментальными данными.

Автором получена система дифференциальных уравнений изгиба трехслойной пластинки. Также произведен вывод уравнений МКЭ для прямоугольного трехслойного конечного элемента. Решен ряд задач для трехслойных балок и пластинок с пенополиуретановым наполнителем с использованием линейного и нелинейного уравнения связи. Выявлены различия в напряженно-деформированном состоянии линейно и нелинейно вязкоупругого материала.

В заключении приведены основные результаты и выводы по работе.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.**

Достоверность результатов подтверждается строгой математической постановкой задачи, проверкой выполнения всех интегральных и дифференциальных соотношений, граничных условий, применением автором нескольких методов к решению одной задачи, сравнением с известными решениями других авторов. Теоретические результаты получены вполне корректно, и сделанные на основании этого выводы не вызывают возражений.

Новым в работе соискателя является то, что он не ограничивается каким-то конкретным уравнением связи между деформациями ползучести и напряжениями. Полученные им уравнения на основе метода конечных элементов универсальны и позволяют рассчитывать конструкции с любой геометрией.

Необходимо отметить, что многие авторы при решении задач ползучести ограничиваются геометрически линейной теорией, применимой при малых перемещениях. Диссертант Савченко А.А. приводит сравнение результатов, получаемых по линейной теории, а также с учетом физической нелинейности. Это сравнение показывает, что пренебрежение хотя бы одним видом нелинейности, как нелинейной составляющей деформации ползучести, приводит к сильно искаженным результатам.

Учет всех видов нелинейности позволяет максимально приблизиться к реальной работе конструкции.

### **Научная новизна диссертации.**

Соискателем проведен обширный объем теоретических исследований ползучести однослойных и трехслойных пластин из полимерных и композитных материалов с использованием различных уравнений связи между деформациями ползучести и напряжениями. Впервые выполнено исследование концентрации напряжений в пластинах из полиметилметакрилата с отверстием. Определены упругие и реологические параметры жесткого пенополиуретана при сдвиговой ползучести.

### **Значимость полученных автором результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Автором разработаны методики и пакет прикладных программ для расчета однослойных и трехслойных пластин из полимерных и композитных материалов с учетом произвольных законов ползучести. Результаты работы внедрены в группу компаний «АКСстрой».

Разработанные автором программы могут использоваться в расчетах элементов конструкций на полимерной основе в проектных организациях. В свою очередь теоретические положения и полученные автором результаты исследования реологических свойств полимеров и композитов будут представлять интерес для исследователей, работающих в направлении разработки и использования полимерных и композитных материалов.

### **Общая оценка выполненной работы (в соответствии с требованиями ВАК).**

Все поставленные автором вопросы рассмотрены достаточно подробно, изложены четко и аргументировано. Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения в пунктах 7, 8, 9.

### **Качество оформления диссертации**

Диссертация выполнена на современном уровне с использованием компьютерных технологий, что обеспечило высокое качество оформления. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации. Работа хорошо иллюстрирована и оформлена.

### **По диссертации имеются следующие замечания:**

1. Не совсем понятен выбор закона ползучести в главе 3. Если уравнение Максвелла-Гуревича лучше описывает экспериментальные данные, то почему использовалось другое уравнение?

2. Автор не поясняет, чем обусловлен выбор уровней нагрузки 10, 20 и 30% от предела прочности полимерного материала при испытании на сдвиговую ползучесть.

3. Для перемещений по толщине полимерного заполнителя принимается линейное распределение, однако можно было заложить более сложную модель среднего слоя.

4. Во всех тестовых задачах автор рассматривает только случай действия равномерно распределенной нагрузки. Следовало рассмотреть и иные варианты нагружения, например, действие сосредоточенных сил.

5. Для полимерных пластин возможны большие прогибы, соизмеримые с их толщиной, что требует учета геометрической нелинейности, однако автор рассматривает геометрически линейную теорию.

Высказанные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе. Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему и отличающееся новизной полученных результатов.

Выводы по диссертации позволяют оценить научный уровень как современный и достаточно высокий.

### **О достаточности и полноте публикаций по теме диссертации.**

Основные положения диссертации Савченко А.А. изложены в 12 работах, в том числе 5 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ, а также 3 работы в изданиях, индексируемых в Scopus/Web of Science. Результаты доложены на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Работа обсуждалась на конференциях и семинарах различного уровня.

### **Выводы.**

По своему содержанию и научно-теоретическому уровню диссертация соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней,

утвержденному Постановлением Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 № 842 (в актуальной редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Савченко Андрей Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.06 — Высокомолекулярные соединения.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию Савченко А.А. были рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Сопроотивление материалов» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», протокол № 2 от 5 октября 2018 г.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сопроотивление материалов» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН,



Андреев Владимир Игоревич

129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26  
Телефон/факс: +7 (495) 781-80-07,  
Телефон кафедры: +7 (499) 183-85-59, +7 (499) 183-43-29,  
Адрес электронной почты: [sopromat@mgsu.ru](mailto:sopromat@mgsu.ru)