



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донской государственный технический университет»  
(ДГТУ)

344003, 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](mailto: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  
« 26 \_\_\_\_\_ 2021 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация Литвинова Степана Викторовича «Моделирование реологических процессов в полимерных и композиционных материалах при термосиловом воздействии» выполнена на кафедре «Сопротивление материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Литвинов Степан Викторович работал в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» (2010–2016 гг.) в должности доцента кафедры «Сопротивление материалов»; в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет» (2016 г. – настоящее время) в должности заведующего кафедрой «Сопротивление материалов».

В 2005 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук защитил в совете, созданном при Московском государственном строительном университете.

Научный консультант — доктор технических наук (02.00.06), Языев Батыр Меретович работает профессором кафедры «Соппротивление материалов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет».

По итогам обсуждения диссертации Литвинова Степана Викторовича «Моделирование реологических процессов в полимерных и композиционных материалах при термодинамическом воздействии» принято следующее заключение:

**Актуальность проблемы.** Несмотря на широкое распространение полимерных материалов, они имеют ряд особенностей, накладывающих ряд серьёзных ограничений на возможную сферу их применения. В отличие от подавляющего большинства «классических» материалов, используемых во многих отраслях: строительство, машиностроение, авиастроение и т. д. — полимерные материалы обладают особенностями, которыми никоим образом нельзя пренебрегать.

Во-первых, это сильная зависимость физико-механических параметров (упругих и реологических) полимера от многочисленных факторов, основным из которых является температура. Физико-механические параметры ряда полимеров при изменении температуры в пределах нескольких десятков градусов меняют свои значения в несколько раз. Особенно это становится заметно, если температурные режимы находятся в относительной близости к температуре стеклования полимера. Таким образом, необходимо максимально точно определять физико-механические параметры полимера. Ситуация осложняется тем, что существующие и используемые до настоящего времени методики весьма сложны и громоздки.

Во-вторых, это выраженная реология полимеров. Это свойство может играть как положительную роль — процесс релаксации напряжений в полимерной конструкции за счёт высокоэластических деформаций, так и отрицательную — рост напряжений за счёт этих же деформаций, которые могут в разы превышать упругие деформации.

Решением поставленных задач возлагается на механику полимеров, представленную рядом научных подходов. Так, научная специальность «Высокомолекулярные соединения» исследует физические состояния и фазовые переходы в высокомолекулярных соединениях, а также реологию полимеров и композитов. При этом раздел механики деформируемого твёрдого тела оперирует необходимыми уравнениями механики тела, разрабатывает математические подходы решения поставленных задач и исследует вопросы механики композиционных и интеллектуальных материалов и конструкций, а также вопросы теории пластичности и ползучести. Таким образом, необходим комплексный подход для определения свойств полимерных материалов и их последующего расчета.

Зачастую бывает сложно определить функцию, описывающую физико-механические характеристики материала, особенно полимеров, поскольку необходимо учитывать

не только упругие, мгновенные, параметры, но и высокоэластические. Следовательно, перед исследователями стоит достаточно острый вопрос определения функциональной зависимости указанных параметров.

Таким образом, исследование новых и совершенствование существующих методов расчёта конструкций из полимерных материалов на прочность, деформативность, долговечность, с учётом множества факторов, влияющих на упругие и реологические параметры полимеров (температура, наличие различных добавок, наличие приводящего к деформации или сшиванию молекул полимера ионизирующего излучения и т. д.), является **актуальным**.

**Степень разработанности темы.** Решение подобных задач в настоящее время осуществляется, как правило, при помощи современных программных продуктов, основанных на методе конечных элементов (далее — МКЭ). Однако, заложенные в них законы связи напряжений и деформаций в основном ограничены только необратимыми процессами. Характерной особенностью полимерных изделий как раз является развитие обратимых во времени деформаций. Для их учёта автор использует в диссертационной работе нелинейное обобщённое уравнение Максвелла–Гуревича, отсутствующее в популярных МКЭ продуктах; все программные модули автором написаны самостоятельно в программном комплексе MatLab. В связи с вышесказанным для корректного описания свойств полимерных тел необходимо использовать аппарат механики полимеров.

Проведённый литературный обзор показал, что вопросы исследования жёстких сетчатых полимеров изложены в небольшом количестве работ. Подобная ситуация обстоит и с работами по вопросам исследования и развития методов расчёта конструкций и их элементов из гомогенных и армированных полимеров в различных диапазонах температур и напряжений. Практически полностью отсутствуют, как среди отечественных учёных, так и среди зарубежных, работы по исследованию механики армированных полимеров, учитывающие зависимость релаксационных свойств от температуры; приведение полных систем уравнений механики подобных армированных полимеров, а также алгоритм их использования для решения прочностных задач.

В имеющихся трудах представлены, как правило, теоретические исследования с применением линеаризованных физических соотношений, которые не всегда позволяют полноценно описать работу полимера в заданных условиях эксплуатации. Для описания работы полимерных материалов, максимально соответствующей их реальной работе, необходимо использовать нелинейные физические соотношения, полученные феноменологически, т. е. было произведено некоторое обобщение линейных соотношений, в работах М. И. Розовского, А. А. Ильюшина с коллегами, А. К. Малмейстера и др.

Если говорить о вопросах практического использования полимеров, к примеру, в качестве материала для изготовления труб, то проблемы исследования их напряжённо-деформированного состояния (далее — НДС) изложены в работах А. Л. Якобсена, В. С.

Ромейко, А. Н. Шестопала, А. А. Персиона, J. Hessel и др. Проблемы исследования и расчёта конструкций и их элементов из полимерных материалов связаны с особенностями поведения материала при деформировании и, как говорилось ранее, существенной функцией их физико–механических параметров от температуры. Так, термопласты могут переживать упругие деформации до значений 0.1–0.2 при температурах в диапазоне от 0 до +95 °С.

Этим явлением занимались такие учёные, как Э. Л. Калинин, Е. И. Каменев, Г. Д. Мясников, М. Б. Саковцев, М. П. Платонов и др. При этом исследований влияния нелинейных свойств полимерных материалов на НДС конструкций в осесимметричной постановке практически не проводились.

На основании исследований элементов конструкций из полимерных материалов (J. M. Hill, С. А. Martins, А. М. Milan, С. Р. Pesce, R. Ramos, В. И. Андреев, А. А. Аскадский, Г. М. Бартенев, Д. Ф. Коган, М. Н. Попов, А. Л. Рабинович, Р. А. Турусов и др.) установили, что деформативные и прочностные свойства термопластов (поливинилхлорид, полиэтилен, полипропилен и др.) могут меняться в разы в пределах нормативных эксплуатационных температур (от 0 до +80 °С).

С учётом того, что физико–механические параметры полимеров сильно зависят от температуры, необходимо весьма точно определять распределение температурного поля в конструкциях и их элементах. В подавляющем большинстве существующих работ принимали упрощённый закон распределения температуры, к примеру, логарифмический, справедливый только в статических задачах, не учитывающих изменение температурного поля во времени.

**Цель работы** — комплексная оптимизация определения НДС гомогенных и гетерогенных систем сетчатых и линейных полимеров, а также иных материалов, как при статических нагрузках, так и при воздействии физических полей, разработке методов, алгоритмов и расчётных модулей для ЭВМ и решении на их основе задач, имеющих важное практическое применение.

#### **Задачи работы:**

1. Проведение анализа современного состояния и тенденций развития данной проблемы в Российской Федерации и зарубежом.
2. Выбор методических вопросов определения зависимостей, максимально точно аппроксимирующих реальные законы изменения механических характеристик тел и функций нагрузок.
3. Разработка методики определения функциональной зависимости физико–механических параметров полимера в зависимости от множества факторов: температуры, ионизирующего излучения, а также от наличия добавок.
4. Апробация достоверности решения плоских осесимметричных задач для полимера путём решения их несколькими методами (МКР и МКЭ) с последующим анализом и сопоставлением результатов.

5. Разработка 4-узлового конечного элемента (далее — КЭ), описывающего работу полимерных конструкций с учётом термовязкоупругости и апробация достоверности решения с использованием полученного 4-узлового КЭ. Сравнение с другими вариантами узлового моделирования КЭ.

6. Расчёт адгезионного соединения с течением времени (длительная прочность) с использованием нелинеаризованной и линеаризованной теорий и сопоставлением решений с другими авторами и их моделями.

**Научная новизна работы** заключается в следующих основных результатах, выносимых на защиту:

1. Предложена методика определения физико-механических параметров полимера, входящих в нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича, на основе кривых релаксации материала как функции от нескольких факторов.

2. Проведено численное моделирование напряжённого состояния модельного математического объекта по промежуточным значениям полученных физико-механических параметров, как функций нескольких переменных.

3. Проведён анализ влияния модифицированных упругих и реологических свойств полимера (введение добавок и воздействие ионизирующего излучения) на напряжённое состояние соответствующего элемента конструкции в осесимметричной постановке.

4. Разработана на основе МКЭ и получены матрица жёсткости и вектор сил для прямоугольного КЭ, учитывающие при помощи непосредственного интегрирования заданной функции формы как температурные составляющие, так и составляющие высокоэластических деформаций с соответствующим спектром времён релаксации.

5. Проведено исследование НДС полимерного тела с комплексным подходом по оптимизации математической модели (получение нового КЭ и вектора нагрузок, конечно-элементной сетки, переменного шага времени и т. д.).

6. Выполнен расчёт на длительную прочность при нормальном отрыве адгезионного соединения путём прямого моделирования двумерными КЭ вместо «классического» использования модели пограничного слоя.

7. Разработка на основе предложенных результатов алгоритма и его реализация в виде пакета прикладных программ для ЭВМ задачи определения НДС неоднородных тел с учётом действия механических нагрузок и физических полей.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, что

— Предложен комплексный подход по оптимизации математической модели определения НДС полимерных тел.

— Проведено исследование ползучести толстостенного цилиндрического полимерного тела с учётом влияния физических полей и наличия добавок на упругие и высокоэластические параметры материала и их спектров времён релаксации как функции нескольких переменных.

### **Практическое значение работы:**

1. На основании проведённых исследований в программном комплексе MatLab представлен комплект модулей для определения НДС полимерных тел в осесимметричной постановке.

2. Получены матрица жёсткости и вектор нагрузок двумерного КЭ численно–аналитическим методом, включающие в себя температурные компоненты и компоненты, отвечающие за высокоэластические деформации.

3. Представлена методика определения физико–механических параметров полимера по одним только кривым релаксации, что позволяет получить необходимые упругие и реологические данные максимально быстро.

4. На основании решения модельных задач показано, что значительные отличия в поведении релаксационных свойств материала незначительно сказываются на изменении НДС идентичных полимерных тел.

5. Решена практически важная задача определения НДС в полимерном цилиндре при его выходе из экструдера. Решена задача определения температурного поля с учетом охлаждения тела от контакта с окружающей средой, возникновением косвенной неоднородности материала и, как следствие, изменение НДС.

6. Решена практически важная задача определения длительной прочности адгезионного соединения при нормальном отрыве. Представлено существенное различие между результатами, полученными ранее другими авторами, и результатами, представленными в настоящей диссертационной работе.

7. Показано, что изменение температуры адгезионного соединения не существенно влияет на прочность этого соединения, а значительно сказывается на времени, когда достигаются максимальные напряжения и заканчивается процесс их релаксации.

**Методология и методы исследования.** Исследования проведены при помощи аналитических, численных и численно–аналитических методов. Непосредственная задача определения НДС полимерных тел производилось при помощи МКЭ с применением программного комплекса MatLab. Для оценки достоверности результатов также применялся метод конечных разностей (далее — МКР).

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Методика комплексной оптимизации математических моделей полимерных тел (оптимизация шага времени, оптимизация соотношения размеров сторон КЭ и т. д.).

2. Модифицированная матрица жёсткости и вектор нагрузок прямоугольного КЭ с учётом температурных и реологических составляющих, полученные численно–аналитическим методом.

3. Результаты решения тестовых задач для различных полимеров, где оценивается эффективность проведённых оптимизационных процессов.

4. Результаты оценки длительной прочности адгезионного соединения на нормальный отрыв, полученные при помощи МКЭ.

5. Методика оценки длительной прочности адгезионного соединения при различных температурных режимах.

6. Результаты оценки напряжённого состояния цилиндрических объектов с учётом изменения физико–механических параметров полимера.

7. Результаты сопоставления НДС адгезива, полученные при помощи нелинейных и линеаризованных выражений.

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

— проверкой выполнения всех граничных условий, дифференциальных и интегральных соотношений;

— сравнением полученных результатов с известными решениями других авторов;

— применением нескольких методов к решению одной задачи с последующим сопоставлением результатов.

Необходимо отметить, что предложенные методики расчёта полимерных тел справедливы и для иных материалов. В работе приводится задача определения НДС бетонного тела под действием физических полей с учётом изменения его физико–механических параметров.

**Апробация работы.** Основные моменты работы отражены в печатных и электронных публикациях, материалах конференций (Новые полимерные композиционные материалы: материалы III, IV, V, VIII, XIII–XVI международных научно-практических конференций, КБГУ, Нальчик, Строительство—2007, 2009, 2011–2015, РГСУ, Ростов–на–Дону, Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Международной научнопрактической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО ГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова), XIII Международной научной конференции по архитектуре и конструкциям (Сингапур, 2020 г.), а также в изданиях, входящих в базы SCOPUS или Web of Science.

**Внедрение результатов работы.** Имеются 5 свидетельств о регистрации программ ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Работа состоит из введения, шести глав, основных выводов, библиографического списка и трёх приложений. Изложена на 289 страницах машинописного текста и содержит 124 рисунка и 24 таблицы.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 80 печатных и электронных работах, из них в ведущих рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ — 39, в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science — 20, в других периодических изданиях — 14, в монографиях — 4, получено 5 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, приравняемые ВАК к публикациям в рецензируемых изданиях.

**Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:**

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

1. Языев, Б. М. Задача термовязкоупругости для многослойного неоднородного полимерного цилиндра (часть 1) / Б. М. Языев, С. В. Литвинов, С. Б. Языев // Пластические массы. — 2007. — № 9. — С. 36–38.
2. Языев, Б. М. Задача термовязкоупругости для многослойного неоднородного полимерного цилиндра (часть 2) / Б. М. Языев, С. В. Литвинов, С. Б. Языев // Пластические массы. — 2007. — № 12. — С. 44–46.
3. Литвинов, С. В. Ползучесть полимерного цилиндра, находящегося в стадии охлаждения / С. В. Литвинов, С. Б. Языев // Обозрение прикладной и промышленной математики. — 2009. — Т. 16. — Вып. 6. — С. 1089.
4. Литвинов, С. В. Плоская деформация неоднородных многослойных цилиндров с учетом нелинейной ползучести / С. В. Литвинов, С. Б. Языев, С. Б. Языева // Вестник МГСУ. — 2010. — № 1. — С. 128–132.
5. Литвинов, С. В. Расчет на устойчивость полимерных стержней с учетом деформаций ползучести и начальных несовершенств / С. В. Литвинов, Е. С. Клименко, И. И. Кулинич, С. Б. Языева // Инженер. вестник Дона. — 2011. — № 2. — URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/418>.
6. Литвинов, С. В. Расчет на устойчивость стержней из ЭДТ–10 при различных вариантах закрепления / С. В. Литвинов, Е. С. Клименко, И. И. Кулинич, С. Б. Языева, Е. А. Торлина // Инженер. вестник Дона. — 2011. — № 2. — URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/415>.
7. Литвинов, С. В. Устойчивость полимерных стержней при различных вариантах закрепления / С. В. Литвинов, Е. С. Елименко, И. И. Кулинич, С. Б. Языева // Вестник МГСУ. — 2011. — № 2. — Т. 2. — С. 153–157.
8. Литвинов, С. В. Устойчивость круговой цилиндрической оболочки при равномерном внешнем давлении / С. В. Литвинов, Б. М. Языев, А. Н. Бескопыльный // Инженер. вестник Дона. — 2011. — № 4. — URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/704>.
9. Литвинов, С. В. Расчет на устойчивость стержней из ЭДТ–10 при начальной погиби стержня в виде S-образной кривой / С. В. Литвинов, Б. М. Языев, А. Н. Бескопыльный, И. В. Ананьев // Инженер. вестник Дона. — 2012. — № 1. — URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/723>.
10. Литвинов, С. В. Расчёт цилиндрических тел при воздействии теплового и радиационного нагружений / С. В. Литвинов, Ю. Ф. Козельский, Б. М. Языев // Инженер. вестник Дона. — 2012. — № 3. — URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/954>.
11. Языев, С. Б. Реология соляного массива со сферической полостью / С. Б. Языев, Б. М. Языев, С. В. Литвинов // Инженер. вестник Дона. — 2012. — № 4, ч. 2. — URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1322>.



12. **Литвинов, С. В.** Осесимметричная термоупругая деформация цилиндра с учетом двумерной неоднородности материала при воздействии теплового и радиационного нагружений / **С. В. Литвинов**, Ю. Ф. Козельский, Б. М. Языев // Вестник МГСУ. — 2012. — № 11. — С. 82–87.

13. **Литвинов, С. В.** Продольный изгиб полимерных стержней при различных вариантах закрепления / **С. В. Литвинов**, Е. С. Клименко, И. И. Кулинич, С. Б. Языева // Пластические массы. — 2012. — № 9. — С. 43–45.

14. Козельская, М. Ю. Расчёт на устойчивость сжатых полимерных стержней с учётом температурных воздействий и высокоэластических деформаций / М. Ю. Козельская, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // Науч.-техн. Вестник Поволжья. — 2013. — № 4. — С. 190–194. — URL: [http://ntvp.ru/files/NTVP\\_4\\_2013.php](http://ntvp.ru/files/NTVP_4_2013.php).

15. Козельская, М. Ю. Применение метода Галёркина при расчете на устойчивость сжатых стержней с учетом ползучести / М. Ю. Козельская, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // Инженер. вестник Дона. — 2013. — № 2. — URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1714>.

16. Языев, Б. М. Плоская деформация элементов цилиндрических конструкций под действием физических полей / Б. М. Языев, **С. В. Литвинов**, Ю. Ф. Козельский // Инженер. вестник Дона. — 2013. — № 2. — URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1616>.

17. Литвинов, С. В. Продольный изгиб полимерных стержней с учетом деформаций ползучести и начальных несовершенств / **С. В. Литвинов**, Е. С. Клименко, И. И. Кулинич, С. Б. Языева // Пластические массы. — 2013. — № 7. — С. 26–28.

18. Языев, Б. М. Построение модели равнопрочного толстостенного цилиндра при силовых и температурных воздействиях / Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов**, А. А. Аваков // Научное обозрение. — 2014. — №9, ч. 3. — С. 863–866.

19. Юхнов, И. В. Напряженно–деформированное состояние короткого внецентренно сжатого железобетонного стержня при нелинейной ползучести / И. В. Юхнов, Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // Научное обозрение. — 2014. — № 8, ч. 3. — С. 929–934.

20. Чепурненко, А. С. Расчет внецентренно сжатого железобетонного стержня на ползучесть при различных законах деформирования / А. С. Чепурненко, И. В. Юхнов, Б. М. Языев, **С. В. Литвинов** // Научное обозрение. — 2014. — №8, ч. 3. — С. 935–940.

21. Языев, Б. М. Напряженно–деформированное состояние предварительно напряженного железобетонного цилиндра с учетом ползучести бетона / Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов**, М. Ю. Козельская // Научное обозрение. — 2014. — № 11, ч. 3. — С. 759–763.

22. Языев, Б. М. Потери предварительного напряжения в железобетонном цилиндре за счет ползучести бетона / Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов**, М. Ю. Козельская // Научное обозрение. — 2014. — № 11, ч. 2. — С. 445–449.

23. **Литвинов, С. В.** Продольный изгиб гибкой железобетонной стойки при нелинейной ползучести / **С. В. Литвинов**, И. В. Юхнов, Б. М. Языев, А. С. Чепурненко // *Соврем. проблемы науки и образования*. — 2014. — № 5. — URL: <http://www.science-education.ru/119-14705>.

24. Языев, Б. М. Расчёт трёхслойной пластинки методом конечных элементов с учётом ползучести среднего слоя / Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов**, С. Б. Языев // *Вестник Дагестан. гос. техн. ун-та*. — 2014. — № 2 (33). — С. 47–55.

25. Никора, Н. И. Определение длительных критических нагрузок для сжатых полимерных стержней при нелинейной ползучести / Н. И. Никора, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // *Инженер. вестник Дона*. — 2015. — № 1, ч. 2. — URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2796>.

26. Аваков, А. А. Расчёт железобетонной арки с учётом ползучести бетона / А. А. Аваков, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // *Инженер. вестник Дона*. — 2015. — № 1, ч. 2. — URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2795>.

27. Аваков, А. А. Напряженно-деформированное состояние железобетонной арки с учётом ползучести бетона / А. А. Аваков, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // *Фундамент. исслед.* — 2015. — № 3. — С. 9–14. — URL: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2015/3/37075.pdf>.

28. Андреев, В. И. Расчет трехслойной полой оболочки с учетом ползучести среднего слоя / В. И. Андреев, Б. М. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // *Вестник МГСУ*. — 2015. — № 7. — С. 17–24.

29. Дудник, А. Е. Плоское деформированное состояние полимерного цилиндра в условиях термовязкоупругости / А. Е. Дудник, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов**, А. С. Денего // *Инженер. вестник Дона*. — 2015. — № 2, ч. 2. — URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3063>.

30. Дудник, А. Е. Нестационарная задача теплопроводности для электрического кабеля с ПВХ изоляцией / А. Е. Дудник, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // *Науч.-техн. вестн. Поволжья*. — 2015. — № 6. — С. 49–51.

31. Литвинов, С. В. Напряженно-деформированное состояние многослойных полимерных труб с учетом ползучести материала / **С. В. Литвинов**, Г. М. Данилова–Волковская, А. Е. Дудник, А. С. Чепурненко // *Соврем. наука и инновации*. — 2015. — № 3 (11). — С. 71–78.

32. **Litvinov, S. V.** Longitudinal bending of polymer rods with account taken of creep strains and initial imperfections / **S. V. Litvinov**, E. S. Klimenko, I. I. Kulinich, S. B. Yazyeva // *International Polymer Science and Technology*. — 2015. — Т. 42. — № 2. — С. 23–25.

33. Курачев, Р. М. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпуса высокого давления с учетом воздействия физических полей / Р. М. Курачев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // *Соврем. наукоемкие технологии*. — 2016. — № 2–3. — С. 430–434. — URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35647>.

34. Чепурненко, А. С., Оптимизация толстостенной сферической оболочки при термосиловых воздействиях / А. С. Чепурненко, Б. М. Языев, **С. В. Литвинов**, А. Н. Бескопильный // Качество. Инновации. Образование. — 2016. — № 8–10 (135–137). — С. 129–132.

35. **Литвинов, С. В.** Моделирование термоползучести неоднородного толстостенного цилиндра в осесимметричной постановке / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш, А. Е. Дудник // Инженер. вестник Дона. — 2016. — № 2. — URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3560>.

36. Дудник, А. Е. Определение реологических параметров поливинилхлорида с учетом изменения температуры / А. Е. Дудник, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // Пластические массы. — 2016. — № 1-2. — С. 30–33.

37. **Litvinov, S. V.** Flat Axisymmetrical Problem of Thermal Creepage for Thick-Walled Cylinder Made Of Recyclable PVC / **S. V. Litvinov**, L. I. Trush, S. B. Yazyev // Procedia Engineering. — 2016. — № 150. — С. 1686–1693. — URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816314734>.

38. **Litvinov, S. V.** Some features in the definition of the temperature field in axisymmetric problems / **S. V. Litvinov**, L. I. Trush, A. A. Avakov // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). — 2017. — С. 1–5.

39. **Litvinov, S. V.** Optimization of thick-walled spherical shells at thermal and power influences / **S. V. Litvinov**, A. N. Beskopylny, L. I. Trush, S. B. Yazyev // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Т. 106 (2017). — С. 04013. — URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/20/matecconf\\_spbw2017\\_04013/matecconf\\_spbw2017\\_04013.html](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2017/20/matecconf_spbw2017_04013/matecconf_spbw2017_04013.html).

40. Dudnik, A. E. Determining the rheological parameters of polyvinyl chloride, with change in temperature taken into account / A. E. Dudnik, A. S. Chepurnenko, **S. V. Litvinov** // International Polymer Science and Technology. — 2017. — Т. 44 (1). — С. 30–33. — URL: <http://www.polymerjournals.com/journals.asp?Search=YES&JournalID=102975&JournalType=ipsat>.

41. Yazyev, S. Energy method in solving the problems of stability for a viscoelastic polymer rods / S. Yazyev, M. Kozelskaya, G. Strelnikov, **S. Litvinov** // MATEC Web of Conferences. ICMTMTE 2017. — Т. 129 (2017). — С. 05010. — URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf\\_icmtmte2017\\_05010.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/43/matecconf_icmtmte2017_05010.pdf).

42. Trush, L. Optimization of the Solution of a Plane Stress Problem of a Polymeric Cylindrical Object in Thermoviscoelastic Statement / L. Trush, **S. Litvinov**, N. Zakieva, S. Bayramukov // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. — Advances in Intelligent Systems and Computing. — Т. 692. — С. 885–893. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70987-1\\_95](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70987-1_95).

43. **Litvinov, S.** Forecasting the Strength of an Adhesive Bond Over a Long Period of Time / **S. Litvinov**, A. Zhuravlev, S. Bajramukov, S. Yazyev // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017. — Advances in Intelligent Systems and Computing. — Т. 692. — С. 902–907. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70987-1\\_97](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70987-1_97).

44. **Litvinov, S. V.** Determination of physic and mechanical parameters of highdensity polyethylene based on relaxation curves due to the presence of hydroxyapatite and ionizing radiation / **S. V. Litvinov**, S. B. Yazyev, D. A. Vysokovskiy // MATEC Web of Conferences. — EDP Sciences, 2018. — Т. 196. — С. 01013. — URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/55/mateconf\\_rsp2018\\_01013/mateconf\\_rsp2018\\_01013.html](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/55/mateconf_rsp2018_01013/mateconf_rsp2018_01013.html).

45. **Litvinov, S. V.** Buckling of glass reinforced plastic rods of variable rigidity / **S. V. Litvinov**, S. B. Yazyev, I. I. Rudchenko, G. S. Molotkov // Materials Science Forum. — 2018. — Т. 931. — С. 133–138. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.931.133>.

46. **Litvinov, S. V.** Determination of the Stress-Strain State of a Rotating Polymer Body / **S. V. Litvinov**, L. I. Trush, S. B. Yazyev // Materials Science Forum. — 2018. — Т. 935. — С. 121–126. — URL: <https://www.scientific.net/MSF.935.121>.

47. **Litvinov, S. V.** Effecting of Modified HDPE Composition on the Stress–Strain State of Constructions / **S. V. Litvinov**, B. M. Yazyev, M. S. Turko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2018. — Т. 463. — № 4. — С. 042063. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042063/meta>.

48. **Litvinov, S.** Approbation of the Mathematical Model of Adhesive Strength with Viscoelasticity / **S. Litvinov**, X. Song, S. Yazyev, A. Avakov // Key Engineering Materials. — 2019. — Т. 816. — С. 96–101. — URL: <https://www.scientific.net/KEM.816.96>.

49. **Литвинов, С. В.** Теоретическое исследование модифицированных упругих и высокоэластических параметров полиэтилена высокой плотности на основе экспериментальных кривых релаксации / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш, А. А. Савченко, С. Б. Языев // Изв. вузов. Химия и хим. технология. — 2019. — Т. 62. — № 5. — С. 78–83. — URL: <http://journals.isuct.ru/ctj/article/view/1261/783>.

50. **Литвинов, С. В.** Исследование напряженно-деформированного состояния цилиндрического тела из модифицированного ПЭВП / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш, С. Б. Языев, И. М. Зотов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. — 2019. — Т. 62. — № 7. — С. 118–122. — URL: <http://journals.isuct.ru/ctj/article/view/1488>.

51. Yazyev, S. Rheological Aspects of Multilayered Thick–Wall Polymeric Pipes under the Influence of Internal Pressure / S. Yazyev, **S. Litvinov**, A. Dudnik, I. Doronkina // Key Engineering Materials. — 2020. — Т. 869. — С. 209–217. — URL: <https://www.scientific.net/KEM.869.209.pdf>.

52. Yanukyan, E. G. Calculation of the three-layer cylindrical shells taking into account the creep of the middle layer / E. G. Yanukyan, E. O. Lotoshnikova, A. S. Chepurnenko,

B. M. Yazyev, **S. V. Litvinov** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2020. — Т. 913. — № 2. — С. 022010. — URL: <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/2/022010>.

53. **Litvinov, S.** Determination of Rheological Parameters of Polymer Materials Using Nonlinear Optimization Methods / **S. Litvinov, S. Yazyev, A. Chepurnenko, B. Yazyev** // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. — Т. 130. — Springer, Singapore. — С. 587–594. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-33-6208-6\\_58](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-33-6208-6_58).

54. Языев, С. Б. Определение реологических параметров полимерных материалов с использованием методов нелинейной оптимизации / С. Б. Языев, А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов** // Строительные материалы и изделия. — 2020. — Т. 3. — № 5. — С. 15–23. — URL: <http://bstu-journals.ru/archives/10782>.

55. Чепурненко, А. С. Уточнение решения задачи о длительной прочности адгезионного соединения при нормальном отрыве / А. С. Чепурненко, **С. В. Литвинов**, С. Б. Языев, Л. С. Сабитов // Строительная механика и расчет сооружений. — 2020. — № 3. — С. 26–31.

56. Chepurnenko, A. S. Combined use of contact layer and finite-element methods to predict the long-term strength of adhesive joints in normal separation / A. S. Chepurnenko, **S. V. Litvinov, S. B. Yazyev** // Mechanics of composite materials. — 2021. — Т. 57. — № 3. — С. 501–516.

57. Chepurnenko, A. Optimization of Thick-Walled Viscoelastic Hollow Polymer Cylinders by Artificial Heterogeneity Creation: Theoretical Aspects / A. Chepurnenko, **S. Litvinov, B. Meskhi, A. Beskopylny** // Polymers. — 2021. — Т. 13. — С. 2408. — URL: <https://doi.org/10.3390/polym13152408>.

#### Статьи в других изданиях:

1. Языев, Б. М. Плоскодеформированное и плосконапряженное состояние непрерывно неоднородного цилиндра под воздействием температурного поля / Б. М. Языев, **С. В. Литвинов** // Сборник трудов / Рост. гос. строит. ун-т. — Ростов н/Д, 2006. — С. 25–27.

2. Языев, Б. М. Задача термоупругости для многослойного неоднородного цилиндра / Б. М. Языев, **С. В. Литвинов** // Строительство–2007: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. — Ростов н/Д, 2007. — С. 86–87.

3. **Литвинов, С. В.** Задача термовязкоупругости для многослойного неоднородного полимерного цилиндра / **С. В. Литвинов** // материалы III междунар. науч.-практ. конф. — Нальчик: КБГУ, 2007. — С. 27–32.

4. Языев, Б. М. Задача термоупругости для многослойного неоднородного полимерного цилиндра / Б. М. Языев, **С. В. Литвинов** // материалы IV междунар. науч.-практ. конф. — Нальчик: КБГУ, 2008. — С. 337–342.

5. Языев, С. Б. Моделирование вязкоупругого поведения жестких полимеров при циклическом изменении температуры / С. Б. Языев, С. Б. Языева, **С. В. Литвинов** // Строительство–2009: материалы юбилейной Междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. — Ростов н/Д., 2009. — С. 167.

6. Языев, Б. М. Расчёт на устойчивость стержней из ЭДТ–10 при воздействии температуры и начальной погиби стержня в виде S–образной кривой / Б. М. Языев, И. И. Кулинич, **С. В. Литвинов**, А. М. Кармоков, Б. С. Карамузов, М. М. Ошхунов // Новые полимерные композитные материалы: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70–летию выдающегося учёного России в области высокомолекуляр. соединений, заслуж. деятеля науки Рос. Федерации и Кабардино–Балкар. республики Микитаева А. К. — Нальчик: КБГУ, 2012. — С. 236–239.

7. **Литвинов, С. В.** Модели равнопрочного толстостенного цилиндра при термодинамических воздействиях / **С. В. Литвинов**, А. С. Чепурненко, А. А. Аваков, С. Б. Языев // Строительство–2014: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. — С. 204–205.

8. **Литвинов, С. В.** Равнопрочные и равнонапряжённые конструкции: преимущества и недостатки / **С. В. Литвинов**, А. С. Чепурненко, Л. И. Труш // Строительство–2014: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. — С. 189–190.

9. **Литвинов, С. В.** Особенности расчёта бетонных цилиндрических тел под температурным нагружением / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш // Строительство–2015: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. — Ростов н/Д., 2015. — С. 115–117.

10. **Литвинов, С. В.** Прогнозирование прочности адгезионного соединения в течение длительного периода времени / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш, Е. Н. Пищереико, А. А. Аваков // материалы XIII междунар. науч.-практ. конф. — Нальчик: КБГУ, 2017. — С. 162–167.

11. Труш, Л. И. Оптимизация решения плоской задачи полимерного цилиндрического тела в термовязкоупругой постановке / Л. И. Труш, **С. В. Литвинов**, Е. Н. Пищереико, А. Е. Дудник // материалы XIII междунар. науч.-практ. конф. — Нальчик: КБГУ, 2017. — С. 246–253.

12. **Литвинов, С. В.** Напряжённо-деформированное состояние тел вращения в вязкоупругой постановке / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш, А. А. Аваков // Строительство и архитектура — 2017: материалы науч.-практ. конф. — Ростов н/Д: ДГТУ, 2017. — С. 186–194.

13. **Литвинов, С. В.** Определение напряженно-деформированного состояния вращающегося полимерного тела / **С. В. Литвинов**, Л. И. Труш, А. А. Савченко, Б. М. Языев // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения [Текст]: материалы XIV междунар. науч.-практ. конф. — Нальчик: КБГУ, 2018. — С. 112–117.

14. Лесняк, Л. И. Моделирование остаточных напряжений в полимерном цилиндре, возникающих от вращения и остывания исходного материала / Л. И. Лесняк, Б. М. Языев, **С. В. Литвинов** // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: Материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. / КБГУ. — Нальчик, 2020. — С. 245–250.

#### Монографии:

1. **Литвинов, С. В.** Моделирование процессов деформирования многослойных цилиндрических тел при термомеханических нагрузках: монография / **С. В. Литвинов**, С. Б. Языев. — Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. — 96 с.

2. Языев, С. Б. Устойчивость полимерных стержней в условиях вязкоупругости: монография / С. Б. Языев, Л. Н. Панасюк, **С. В. Литвинов**, Г. М. Данилова–Волковская, Е. Х. Аминова. — Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. — 81 с.

3. Клименко, Е. С. Устойчивость сжатых неоднородных стержней с учётом физической нелинейности материала: монография / Е. С. Клименко, Е. Х. Аминова, **С. В. Литвинов**, С. Б. Языев, И. И. Кулинич. — Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2012. — 77 с.

4. Козельский, Ю. Ф. Влияние физических полей на деформационные свойства железобетонных защитных конструкций: монография / Ю. Ф. Козельский, **С. В. Литвинов**, А. С. Чепурненко, Б. М. Языев. — Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. — 123 с.

#### Авторские свидетельства на программу для ЭВМ:

1. Определение напряжённно-деформированного состояния бетонных тел цилиндрической формы под действием физических полей и механического давления: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015611914 / Языев Б. М., **Литвинов С. В.**, Пучков Е. В., Чепурненко А. С.; Рост. гос. строит. ун-т. — № 2014662825; заявл. 11.12.2014; зарег. 09.02.2015.

2. Оптимизация толстостенных цилиндрических и сферических оболочек, испытывающих температурное и силовое воздействие: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015611906 / Языев Б. М., **Литвинов С. В.**, Пучков Е. В., Чепурненко А. С.; Рост. гос. строит. ун-т. — № 2014662800; заявл. 10.12.2014; зарег. 09.02.2015.

3. Моделирование адгезионного соединения на нормальный отрыв двух цилиндрических дисков: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018616951 / **Литвинов С. В.**, Дудник А. Е., Аваков А. А., Труш Л. И.; Дон. гос. техн. ун-т. — № 2018614101; заявл. 24.04.2018; зарег. 09.06.2018.

4. Расчёт двухслойной армоцементных оболочек на силовые и температурные воздействия в условиях пожара: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020619374 / Журтов А. В., **Литвинов С. В.**, Хежев Т. А., Чепурненко А. С., Языев С. Б.; Кабардино-Балкарский гос. ун-т. — № 2020617814; заявл. 27.07.2020; зарег. 17.08.2020.

5. Расчёт остаточных напряжений при производстве изделий, имеющих форму вращения: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020660684 / Хаширова С. Ю., Лесняк Л. И. **Литвинов С. В.**, Языев С. Б., Молоканов Г. О., Чепурненко А. С.; Кабардино-Балкарский гос. ун-т. — № 2020617798; заявл. 27.07.2020; зарег. 09.09.2020.

Диссертация «Моделирование реологических процессов в полимерных и композиционных материалах при термосиловом воздействии» Литвинова Степана Викторовича рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

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

Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» — 15 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел., протокол от 26 августа 2021 года № 1.

Заведующий кафедрой «Техническая механика», доктор технических наук (05.23.17 — Строительная механика), профессор

Леонид Николаевич  
ПАНАСЮК

Профессор кафедры «Сопротивление материалов», доктор технических наук (02.00.06 — Высокомолекулярные соединения), профессор

Батыр Меретович  
ЯЗЫЕВ

Подписи рук Л. Н. Панасюка и Б. М. Языева удостоверяю, начальник управления кадров ДГТУ



Ольга Ивановна  
КОСТИНА