

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.243.10 НА БАЗЕ  
ФГБОУ ВО «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»  
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28 июня 2018 г. № 78

О присуждении Цветкову Виталию Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Краевые задачи ползучести поверхностно упрочнённых цилиндров при различных видах квазистатического нагружения» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 20 апреля 2018 г. (протокол заседания № 74 ) диссертационным советом Д 212.243.10 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» Министерства образования и науки Российской Федерации, 410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, утвержден приказом Минобрнауки РФ №75/нк от 15 февраля 2013 г., приказ о внесении изменений №1342/нк от 25 октября 2016 г.

Соискатель Цветков Виталий Владимирович 1992 года рождения с отличием окончил в 2014 г. федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по специальности «Прикладная математика и информатика»; в период подготовки диссертации с 2014 г. по настоящее время обучается в аспирантуре очной формы обучения при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация выполнена на кафедре «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Радченко Владимир Павлович, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

**Официальные оппоненты:**

Овчинников Игорь Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортное строительство» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов,

Келлер Илья Эрнстович, доктор физико-математических наук, доцент, научный сотрудник Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) – филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь, дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара, в своем **положительном** заключении, подписанном заведующим кафедрой «Сопротивление материалов», доктором технических наук, профессором Павловым Валентином Фёдоровичем и профессором кафедры космического машиностроения, доктором физико-математических наук, доцентом Буханько Анастасией Андреевной, и утвержденном ректором, чл.-корр. РАН, доктором технических наук Шахматовым Е. В., указала, что диссертационная работа является завершённым научным исследованием, в котором теоретически решена задача оценки напряженно-деформированного состояния поверхностно упроченных цилиндрических деталей в условиях температурно-силового нагружения при ползучести, имеет важное научное и прикладное значение. Работа отвечает всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (в ред. 02.08.2016 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

В **положительном** отзыве ведущей организации отмечается, что нет строгого обоснования выбора вида аналитической зависимости для окружной компоненты остаточных напряжений; изменения компонент тензора остаточных напряжений при температурной нагрузке; не учтена кинетика пластических деформаций в процессе ползучести; отмечаются некоторые неточности терминологического характера, упущения в пояснении отдельных параметров.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 2 в научных изданиях, проиндексированных в международной базе данных Web of Science, 4 в рецензируемом журнале, рекомендованном ВАК Минобрнауки РФ для публикации основных научных результатов

диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Все работы по теме диссертации посвящены исследованию процессов ползучести и релаксации остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических изделиях при различных видах квазистатического нагружения. Все работы выполнены соискателем самостоятельно, роль соавторов состоит в постановке задачи и обсуждении результатов.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Радченко В. П., Саушкин М. Н., Цветков В. В. Влияние термоэкспозиции на релаксацию остаточных напряжений в упрочнённом цилиндрическом образце в условиях ползучести // ПМТФ. 2016. Т. 57, №3(337). С. 196–207. (переводная версия: Radchenko V. P., Saushkin M. N., Tsvetkov V. V. Effect of thermal exposure on the residual stress relaxation in a hardened cylindrical sample under creep conditions // J. Appl. Mech. Tech. Phys. 2016. Vol. 57, no. 3. Pp. 559–568.).
2. Цветков В. В. Решение краевой задачи о кручении сплошных и полых цилиндрических образцов из стали 45 и сплава АМГ-6М в условиях кратковременной установившейся ползучести // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.–мат. науки. 2017. Т. 21, №3. С. 507–523.
3. Радченко В. П., Цветков В. В. Напряжённо-деформированное состояние цилиндрического образца из сплава Д16Т в условиях осевого растяжения и кручения при ползучести // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.–мат. науки. 2013. №3(32). С. 77–86.
4. Радченко В. П., Цветков В. В. Кинетика напряжённо-деформированного состояния в поверхностно упрочнённом цилиндрическом образце при сложном напряжённом состоянии в условиях ползучести // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.–мат. науки. 2014. №1(34). С. 93–108.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов.**

В **положительном** отзыве официального оппонента, доктора технических наук, профессора Овчинникова И. Г., ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», отмечено отсутствие результатов исследования релаксации остаточных напряжений в цилиндрах после процедуры анизотропного упрочнения поверхности; не приведена методика идентификации параметров аппроксимации для окружной компоненты тензора остаточных напряжений; отмечена необходимость оценки устойчивости моделей по отношению к изменениям значений параметров, находимых в процессе идентификации, указаны некоторые неточности и опечатки в тексте.

В **положительном** отзыве официального оппонента, доктора физико-математических наук, доцента Келлера И. Э., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) –

филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, отмечено отсутствие строгого обоснования выбора вида аналитической зависимости для окружной компоненты остаточных напряжений; указано, что различие нелинейных тензорных свойств в зависимости от вида напряженного состояния может быть вызвано зависимостью от параметра трехосности и угла вида, отмечено, что исследование процесса релаксации напряжений также можно производить на тонкостенных образцах при комбинированных значениях осевой силы и крутящего момента, соответствующих фиксированной интенсивности напряжений.

**На автореферат диссертации поступило 11 отзывов. Все отзывы положительные.**

**Отзывы поступили от:**

1. Д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой теории упругости Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета Ватульяна А. О. Отзыв содержит следующее замечание: «Недостаточно подробно изложена методика идентификации параметров предложенной модели ползучести анизотропно разупрочняющихся материалов».
2. К.ф.-м.н., доцента, заведующей кафедрой «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» Григорьевой А. Л. и д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» Хромова А. И. Отзыв замечаний не содержит.
3. Д.т.н., доцента, профессора кафедры «Прикладная математика, информатика и информационные системы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» Ермоленко Г. Ю. Отзыв содержит следующее замечание: «В автореферате в п. 2.3, п. 2.5 приведены результаты экспериментальной проверки методики решения краевых задач для ползучести и длительной прочности в условиях сложного напряжённого состояния. Однако численных значений отклонения расчётных данных от опытных в автореферате не приведено, как и нормы, в которой эта оценка осуществлялась».
4. К.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории статической прочности ИГиЛ СО РАН Ларичкина А. Ю. Отзыв содержит следующее замечание: «В тексте автореферата не пояснен термин «анизотропно разупрочняющийся материал» (пункт 2.5, стр. 9) что под этим термином подразумевает автор?»
5. Д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией ползучести и длительной прочности Института механики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» Локощенко А. М. Отзыв замечаний не содержит.

6. Д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры теоретической механики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина Митюшова Е. А. Отзыв замечаний не содержит.
7. Д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН Немировского Ю. В. Отзыв содержит следующее замечание: «В автореферате не комментируется «скрытая» гипотеза о том, что пластические деформации не влияют на последующую ползучесть, а это не является очевидным».
8. Д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) – филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН Рогового А. А. Отзыв содержит следующее замечание: «Обычно, при решении в рамках малых деформаций задач с начальными напряжениями  $T_{\kappa_0}$ , последние суммируются с напряжениями  $T_{\kappa}$ , которые возникают в текущей конфигурации  $\kappa$  и определяются малыми деформациями  $e$  относительно начального напряженного, но недеформированного состояния  $\kappa_0$ ,  $T_{\kappa} = T_{\kappa}(e)$ , и полное напряжение представляется в виде  $T = T_{\kappa_0} + T_{\kappa}(e)$ . Такое суммирование осуществляется и в настоящей диссертации. ... Начальное, текущее и полное напряжения отнесены в общем случае к разным площадкам:  $T_{\kappa_0}$  к площадке с величиной и направлением (нормалью), соответствующим конфигурации  $\kappa_0$ , а  $T_{\kappa}$  и  $T$  к площадке с величиной и направлением (нормалью), соответствующим конфигурации  $\kappa$ . Поэтому их нельзя в общем случае (аддитивно) суммировать ... »
9. Д.ф.-м.н., профессора, ведущего научного сотрудника Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН Янковского А. П. Отзыв содержит следующие замечания:
  1. использован неудачный термин «анизотропия свойств ползучести» (стр. 9). В действительности согласно (1) речь идет об учете объемной и сдвиговой нелинейной вязкости на стадии установившейся ползучести *изотропных* материалов;
  2. из текста не ясно, что в формулах (7), (8) понимается под феноменологическим параметром анизотропии упрочнения  $\alpha$ . То же, что и в (4)?
  3. из текста на стр. 11-13 не ясно, почему при нагревании или охлаждении образца напряжения в нем меняются именно в  $E_1 / E_0$  или  $E_0 / E_1$  раз (условия закрепления образца не описаны);

4. в п. 4.2 (стр. 15) при исследовании поведения *полого* цилиндрического образца использованы экспериментальные данные, полученные для *сплошного* образца. Отсутствует обоснование законности такого переноса данных.

10. Д.т.н., профессора, член-корр. РАН по теоретической и прикладной механике, член-корр. РААСН, зав. кафедрой ССМиК ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет" Трещева А.А. и к.т.н., доцента кафедры ССМиК ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет" Теличко В.Г. Отзыв содержит замечания:

1. при описании глав 2 и 3 диссертационного исследования, автор полностью опускает постановку решаемых в данных главах задач, что существенно мешает целостному восприятию излагаемого в автореферате материала;

2. автор указывает в качестве одной из целей своей работы разработку алгоритмов и программного обеспечения для реализации предложенных методов решения краевых задач, при этом текст автореферата содержит только несколько весьма общих названий алгоритмов и наименование программного комплекса, разработанного автором, в результате чего из текста автореферата невозможно оценить насколько автор достиг поставленной цели;

3. на рисунке 1 в тексте автореферата приведены расчетные и экспериментальные данные для кривых одноосной ползучести, а также результаты расчета осевой компоненты тензора напряжений. К сожалению, количественные оценки автор дает только осевой компоненты, тогда как, по кривым одноосной ползучести, показанным на рис. 1-а, визуально можно заметить куда более существенные различия между расчетом и экспериментом.

11. Д.ф.-м.н., доцента, в.н.с. ЛФНС ИФПМ СО РАН Кривошеиной Марины Николаевны. В отзыве имеется замечание:

в тексте автореферата не приведено обоснование (или допущение) о возможности разделения тензора деформации ползучести на сумму тензоров: тензор деформации ползучести при изменении объема и тензор деформации ползучести при изменении формы для материалов, характеризующихся анизотропией свойств ползучести при растяжении и сдвиге.

В отзывах с замечаниями отмечено, что указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость результатов и не влияют на общую положительную оценку работы, а диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Цветкову В. В. ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

На все замечания соискателем даны содержательные ответы.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается их компетентностью в области механики деформируемого твердого тела и в области исследований по теме диссертации, наличием публикаций по тематике, близкой к теме диссертации, за последние 5 лет.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** методы решения краевых задач для оценки кинетики напряжённо-деформированного состояния в процессе ползучести упрочнённых и неупрочнённых цилиндрических изделий при различных видах квазистатического нагружения (термоэкспозиция, осевое растяжение, кручение, внутреннее давление и их комбинации);

**предложен** вариант обобщения модели ползучести и длительной прочности энергетического типа на случай анизотропно разупрочняющегося материала в условиях чистого растяжения и чистого сдвига и методика идентификации её параметров;

**доказана** и экспериментально подтверждена перспективность разработанного в диссертации подхода к решению краевых задач ползучести и релаксации упрочнённых цилиндрических образцов в теоретических и прикладных исследованиях.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** теоретически и численно подтверждено определяющее влияние ползучести и вида напряжённого состояния на релаксацию остаточных напряжений в цилиндрических упрочнённых образцах;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** разработанные теоретические подходы к исследованию кинетики полей остаточных напряжений на основе методов решения краевых задач с начальным напряжённо-деформированным состоянием, модифицированные теории ползучести и длительной прочности, алгоритмы и численные методы исследования релаксации остаточных напряжений;

**изложены** обобщения известных подходов к оценке релаксации остаточных напряжений в условиях одноосного нагружения упрочнённых цилиндров на сложное напряжённое состояние при различных видах нагружения;

**раскрыты** закономерности процессов релаксации остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрах в зависимости от начального напряжённо-деформированного состояния, температурного поля и разных видов внешнего квазистатического нагружения;

**изучены** факторы, влияющие на релаксацию остаточных напряжений в упрочнённых деталях в условиях ползучести, температурных выдержек и различных режимов внешнего нагружения;

**проведена модернизация** существующей теории ползучести энергетического типа на случай анизотропно разупрочняющихся материалов при растяжении и чистом сдвиге и методов решения краевых задач ползучести для случая поверхностного пластического упрочнения цилиндров.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** методики и алгоритмы расчёта кинетики напряженно-деформированного состояния упрочнённых и неупрочнённых цилиндрических образцов при различных видах квазистатического нагружения, которые внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», а также в расчётную практику профильных отделов ПАО «Кузнецов» (г. Самара);

**определены** перспективы использования данных теоретического и экспериментального исследований по релаксации остаточных напряжений при разных видах внешнего нагружения для расширения номенклатуры материалов и (не)упрочнённых цилиндрических деталей из них, использующихся в условиях высокотемпературной ползучести;

**создана** и апробирована методика решения краевых задач ползучести и релаксации остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрах в широком диапазоне параметров температурно-силового нагружения;

**представлены** алгоритмы и программное обеспечение для оценки кинетики напряжённо-деформированного состояния и длительной прочности (не)упрочнённых цилиндров в условиях ползучести, которые могут быть использованы в инженерной практике в двигателестроении, энергетическом машиностроении, трубопроводном транспорте.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** основана на известных базовых положениях и постулатах механики деформируемого твердого тела и дальнейшем развитии методов решения краевых задач с начальным напряжённо-деформированным состоянием, расчетные данные согласуются с имеющимися экспериментальными данными и данными из других источников;

**идея базируется** на анализе и обобщении существующих методов решения краевых задач ползучести и длительной прочности, использовани численных алгоритмов и информационных технологий, анализе научных статей отечественных и зарубежных учёных;



**использовано** сравнение данных расчёта автора с экспериментальными данными и данными расчётов из других источников, современные вычислительные средства для численного решения краевых задач ползучести и длительной прочности и обработки полученной информации;

**установлено** качественное и количественное соответствие данных расчёта автора с экспериментальными данными и данными из других источников;

**использованы** современные методики обработки информации для оценки погрешности данных расчёта относительно экспериментальных данных.

**Личный вклад соискателя состоит в** решении научных задач на всех этапах проведения диссертационного исследования: разработке методов решения краевых задач механики упрочнённых конструкций с начальным напряжённым состоянием в условиях ползучести; разработке и экспериментальной проверке модели ползучести и длительной прочности для анизотропных материалов; разработке нового программного обеспечения; непосредственном участии в получении аналитических и численных решений, их анализе, оценке погрешности решений; подготовке основных публикаций по теме диссертации.

На заседании 28 июня 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Цветкову В. В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за 14, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель  
диссертационного совета

Коссович Леонид Юрьевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Сафонов Роман Анатольевич

29 июня 2018 г.