

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Самарский  
государственный технический  
университет»  
д.т.н., профессор



М. В. Пенашев  
« 20 » г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Аналитический метод приближённого решения краевых задач установившейся ползучести с возмущёнными границами» в виде рукописи по специальности 01.02.04. – «Механика деформируемого твёрдого тела» выполнена на кафедре «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

С 2010 по 2013 гг. Москалик Анна Давидовна работала в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» в должности инженера кафедры «Управление и системный анализ в теплоэнергетике». С 2013 года по настоящее время Москалик А.Д. работает в должности ассистента кафедры «Механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

В 1991 году Москалик А.Д. окончила специалитет Куйбышевского государственного университета по специальности «Механика» с присвоением квалификации «механик, математик-прикладник». В 2011 году Москалик А.Д. окончила магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный университет» по направлению «Механика».

В период подготовки диссертации соискатель Москалик Анна Давидовна с 2012 по 2016 гг. обучалась в очной аспирантуре на кафедре «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (дубликат) №1423 от 21.09.2016 г. выдано федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Самарский государственный технический университет». Справка об

обучении № Сп-169/133 от 08.11.2016 г. выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Научный руководитель – Радченко Владимир Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

### **1. Актуальность темы**

Считать тему диссертационной работы Москалик А.Д. актуальной в связи с тем, что она посвящена важной проблеме разработке аналитических методов приближённого решения краевых задач установившейся ползучести с возмущёнными границами.

Усовершенствование существующих и создание принципиально новых технологий изготовления элементов конструкций, в частности – тонкостенных и толстостенных труб, не может решить проблему допусков на геометрические параметры изделий. И в настоящее время существуют отраслевые стандарты, например, на разностенность труб, что приводит к возмущению внутренней границы по отношению к внешней. Такого рода флуктуации в условиях существующей нелинейности определяющих уравнений ползучести приводят к искажению полей напряжений и деформаций по сравнению с осесимметричной постановкой задачи.

Методы аналитического решения краевых задач с возмущёнными границами разработаны в основном на основе метода малого параметра лишь в области упругого и упругопластического деформирования. В теории ползучести соответствующие аналитические решения на основе метода малого параметра практически отсутствуют, хотя следует отметить, что в достаточной мере разработаны аналитические методы приближённого решения стохастических краевых задач ползучести для случая возмущённых реологических характеристик материала.

В условиях ползучести необходимо считаться не только с вопросами разрушения деталей при заданном уровне нагрузок – длительной прочностью, но и с максимально возможной деформацией (перемещением, величиной прогиба и т.д.), которые задаются на стадии проектирования, исходя из особенностей эксплуатации конструкции. Деформация ползучести, развивающаяся во времени, может, например, привести к уменьшению зазора сопрягаемых деталей, уменьшению толщины стенки изделия (в частности – трубы) и другим изменениям геометрических размеров. Отсюда естественным образом возникает задача оценки показателей надежности и по деформационным критериям отказа.

Вопросы проверки адекватности построенных приближенных аналитических решений и проблема их сходимости также остаются открытыми не только в упругопластической области, но и в условиях ползучести.

## **2. Связь диссертационной работы с планами научных исследований**

Полученные в работе теоретические положения и практические результаты использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в лекционных курсах по дисциплинам «Численные методы решения краевых задач», «Современные приближённые аналитические методы решения краевых задач», «Стохастические краевые задачи реологии и надёжность элементов конструкций», а также в лабораторных, курсовых и выпускных квалификационных работах.

Работа выполнялась в рамках программы развития научной деятельности ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» по теме: «Математическое моделирование кинетики напряжённо-деформированного состояния в реологических средах, элементах конструкций и механических системах» (ведущий научный коллектив СамГТУ НК-11).

## **3. Новизна и практическая значимость результатов проведённых исследований**

В работе получены следующие новые научные результаты:

- разработан аналитический метод приближённого решения задачи о толстостенной трубе, находящейся под внутренним давлением на стадии установившейся ползучести, с произвольно возмущённой внешней границей в условиях плоского деформированного состояния;

- построено приближённое аналитическое решение нелинейной краевой задачи установившейся ползучести для толстостенной несоосной трубы, находящейся под внутренним давлением, методом малого параметра до третьего порядка приближения включительно;

- построено приближённое аналитическое решение нелинейной краевой задачи установившейся ползучести для толстостенной трубы с эллиптически возмущённой внешней границей, находящейся под внутренним давлением, методом малого параметра до второго порядка приближения включительно;

- проведён сравнительный анализ приближённых аналитических решений задач для несоосной толстостенной трубы и трубы с эллиптически возмущённой границей с соответствующими численными решениями методом конечных элементов в частных случаях, выполнено исследование погрешности приближённых аналитических решений по отношению к численным решениям;

- разработаны вероятностные методы определения показателей надёжности толстостенной трубы со стохастически возмущёнными внешними границами по деформационному критерию отказа.

Практическая значимость работы заключается в разработке аналитических методов приближённого решения краевых задач установившейся ползучести с возмущёнными границами для толстостенной трубы на основе метода малого параметра, построении приближённых аналитических решений до второго и третьего порядков приближений, апостериорному исследованию их сходимости и погрешности, что является, с одной стороны, важным вкладом в дальнейшее развитие соответствующего

теоретического раздела механики деформируемого твердого тела. С другой стороны, разработанная методика определения показателей надёжности толстостенных труб со стохастически возмущёнными внешними границами на основе аналитических методов решения стохастических краевых задач позволяет научно-обоснованно подходить к проблеме назначения ресурса этих элементов конструкций в условиях установившейся ползучести материала по деформационному критерию отказа.

#### **4. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Считать, что лично автором – Москалик А.Д. – получены следующие наиболее существенные результаты:

– предложен аналитический метод приближённого решения нелинейной краевой задачи установившейся ползучести для толстостенной трубы с произвольно возмущёнными внешними границами на основе метода малого параметра с учетом членов до третьего порядка включительно в условиях плоского деформированного состояния;

– получены приближённые аналитические решения краевых задач установившейся ползучести для несоосной толстостенной трубы и для толстостенной трубы с эллиптически возмущённой внешней границей;

– исследованы результаты влияния возмущения границ на напряженно-деформированное состояние толстостенной трубы в широком диапазоне изменения величины параметра возмущения в условиях установившейся ползучести;

– предложена методика оценки показателей надёжности толстостенных труб со стохастически возмущённой границей на основе полученных приближённых аналитических методов решения краевых задач установившейся ползучести по деформационному критерию отказа;

– получены качественные и количественные результаты при решении краевых задач для трубы с возмущёнными границами и оценке надёжности в условиях установившейся ползучести.

#### **5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Работы [1,2,5,6,8–10] выполнены самостоятельно, в основных работах [3,4] диссертанту принадлежит совместная постановка задачи и разработка методов решения, ему лично принадлежит анализ результатов. В работе [7], опубликованной в соавторстве, автору в равной степени принадлежат как постановка задачи, так и результаты выполненных исследований.

#### **Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК**

1. Москалик, А. Д. Применение метода возмущений к задаче о несоосной трубе в условиях установившейся ползучести / А.Д. Москалик // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ. - мат. науки. – 2013. – № 4(33). – С. 76–85. (doi: 10.14498/vsgtu1290)

2. Москалик, А. Д. Приближённое аналитическое решение задачи для трубы с эллиптическим внешним контуром в условиях установившейся ползучести / А. Д. Москалик // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ. - мат. науки. – 2014. – № 4(37). – С. 65–84. (doi: 10.14498/vsgtu1365)
3. Москалик, А. Д. Оценка конечно-элементного и приближённого решений установившейся ползучести для толстостенной трубы с эллиптически возмущенной внешней границей / В. П. Радченко, А. Д. Москалик // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2016. – № 2(28). – С. 111–122.
4. Москалик, А. Д. Сравнительный анализ приближённого аналитического и конечно-элементного решений для несоосной трубы / В. П. Радченко, А. Д. Москалик, И. Е. Адеянов // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2014. – № 3(36). – С. 79–93. (doi: 10.14498/vsgtu1340)

#### **Публикации в прочих изданиях**

5. Москалик, А. Д. Анализ напряженно-деформированного состояния толстостенного несоосного цилиндра, находящегося под внутренним давлением, в условиях установившейся ползучести методом малого параметра / А. Д. Москалик // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды девятой Всероссийской научной конференции с международным участием (Самара, 21-23 мая 2013 г.): в 2 ч. Ч.1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Самара: СамГТУ, 2013. – С. 139–143.
6. Москалик, А. Д. Анализ решений задачи установившейся ползучести для несоосной трубы на основе первого и второго приближений метода малого параметра / А. Д. Москалик // Материалы VIII Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела (Чебоксары, 16-21 июня 2014 г.): в 2 ч. Ч.2 / под ред. Н.Ф. Морозова, Б.Г. Миронова, А.В. Манжирова. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2014. – С. 65–67.
7. Москалик, А. Д. Решение краевой задачи с возмущенными границами для трубы в условиях установившейся ползучести / И. Е. Адеянов, А. Д. Москалик // Четвертая международная конференция «Математическая физика и ее приложения», г. Самара, 25 августа – 1 сентября 2014 г. – Самара: СамГТУ, 2014. – С. 43.
8. Москалик, А. Д. Решение внешней краевой задачи установившейся ползучести для толстостенной трубы / А. Д. Москалик // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды десятой Всероссийской научной конференции с международным участием (Самара, 25-27 мая 2016 г.): в 2 ч. Ч.1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Самара: СамГТУ, 2016. – С. 148–152.
9. Москалик А. Д. Конечно-элементный и приближенный аналитический анализ для одной задачи установившейся ползучести с возмущенной границей / А. Д. Москалик // Механика деформируемого твердого тела: сборник трудов IX Всероссийской конференции, Воронеж, 12-15 сентября 2016 г. – Воронеж: Изд-во «Научно-исследовательские публикации», 2016. – С. 127–129.
10. Москалик, А. Д. Анализ численного и приближённого аналитического решений теории установившейся ползучести для трубы с эллиптическим внешним контуром / А. Д. Москалик // «Математическое моделирование в естественных науках». Материалы XXV Всероссийской школы-конференции молодых ученых и студентов, Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2016. – С. 233 – 236.

Считать, что все материалы, представленные в диссертационной работе, опубликованы в необходимом объёме.

## **6. Степень достоверности результатов проведённых исследований**

Достоверность полученных результатов исследований подтверждается: адекватностью имеющихся модельных представлений физической картине исследуемых процессов в условиях ползучести материала; корректностью использования законов механики деформируемого твёрдого тела, положений теорий обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, теорий случайных функций и надёжности, апробированных численных методов и информационных технологий при решении задач методом конечных элементов; исследованием сходимости построенных аналитических решений и сопоставлением результатов расчёта разработанных решений методом малого параметра с численным решением методом конечных элементов.

## **7. Апробация работы**

Результаты научных исследований опубликованы в 10 печатных работах и были представлены на Девятой Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи» (г. Самара, 2013 г.); на Восьмой Всероссийской конференции по механике деформируемого твёрдого тела (г. Чебоксары, 2014 г.); на Четвертой международной конференции «Математическая физика и ее приложения» (г. Самара, 2014 г.); на Десятой Всероссийской научной конференции с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи» (г. Самара, 2016 г.); на Девятой Всероссийской конференции по механике деформируемого твёрдого тела (г. Воронеж, 11-16 сентября 2016 г.); на XXV Всероссийской школе-конференции молодых ученых и студентов «Математическое моделирование в естественных науках» (г. Пермь, 2016 г.); на XXIX Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (г. Самара, 2016 г.), а также на научных семинарах «Механика и прикладная математика» Самарского государственного технического университета (руководитель – профессор Радченко В.П. 2012-2016 гг.)

## **8. Ценность научных работ соискателя**

В работе А.Д. Москалик впервые поставлены новые краевые задачи теории установившейся ползучести для цилиндрических тел с возмущёнными границами и получены приближённые аналитические решения для несоосной трубы и трубы с эллиптической внешней границей соответственно до третьего и второго порядков малого параметра. Ценность полученных аналитических решений не требует дополнительных комментариев, поскольку, в отличие от численных методов, они более всеобъемлющие и «богатые» в смысле детального параметрического анализа напряженно-деформированного состояния средствами математического анализа.

В теоретическом плане определённую ценность представляют результаты исследования построенных приближённых решений на сходимость и погрешность, что

практически отсутствует в аналогичных работах в упругопластической области, тем самым введены ограничения на величину используемого малого параметра. Ещё один важный результат связан с сопоставлением приближённых аналитических решений и численных решений на основе МКЭ в частных случаях в наиболее нагруженных областях трубы.

Определённую научную ценность представляют и затронутые прикладные аспекты, связанные с анализом ГОСТовских требований по разнотолщинности при технологических операциях производства труб. В рамках этих ограничений на малый параметр построенные приближённые решения дают практически точные результаты, что позволяет использовать их в инженерных расчётах напряжённо-деформированного состояния труб.

С прикладной точки зрения заслуживают внимания и методики оценки показателей надёжности толстостенных труб со стохастически возмущённой границей на основе полученных приближённых аналитических методов решения краевых задач установившейся ползучести по деформационному критерию отказа, а также качественные и количественные результаты, полученные при решении краевых задач для трубы с возмущёнными границами и оценке надёжности в условиях установившейся ползучести. В силу адекватности построенных приближенных аналитических решений в заданных границах изменения величины малого параметра и показателя нелинейности установившейся ползучести они могут быть использованы и для оценки погрешности разработанных численных методов для решения аналогичных задач.

## **9. Соответствие диссертации специальности**

Считать, что работа А. Д. Москалик отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук по специальности 01.02.04 и отрасли «физико-математические науки».

## **10. Оценка выполненной соискателем работы**

Соискатель Москалик А. Д. в процессе работы над диссертацией показала умение свободно ориентироваться в научной тематике, близкой к теме диссертационной работы.

В диссертационной работе впервые получен ряд новых научных результатов о закономерностях напряженно-деформированного состояния толстостенных труб с внешней возмущённой границей под внутренним давлением в условиях установившейся ползучести при плоском напряжённом состоянии.

Диссертация «Аналитический метод приближённого решения краевых задач установившейся ползучести с возмущёнными границами» Москалик Анны Давидовны отвечает требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней» и рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

**Присутствовали** на заседании 29 человек: зав. каф. «Прикладная математика и информатика» (ПМиИ), д.ф.-м.н. (01.02.04), профессор Радченко В.П.; сотрудники каф. ПМиИ: д.ф.-м.н., профессор Заусаев А.Ф.; д.т.н., профессор Зотеев В.Е.; к.ф.-м.н., доцент Андреев А.А.; к.ф.-м.н., доцент Арланова Е.Ю.; к.т.н. (01.02.04), доцент Афанасьева О.С.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Башкинова Е.В.; к.т.н., доцент Гутман Г.Н.; к.т.н., доцент Егорова Г.Ф.; к.ф.-м.н., доцент Заусаев А.А.; к.ф.-м.н., доцент Котенко А.П.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Кубышкина С.Н.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Небогина Е.В.; к.ф.-м.н., доцент Огородников Е.Н.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Павлова Г.А.; к.т.н., доцент Пономарёв В.П.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Попов Н.Н.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Просвиркина Е.А.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент Саушкин М.Н.; старший преподаватель Курилова О.Е.; ассистент Унгарова Л.Г.; ассистент Горбунов С.В.; к.ф.-м.н. (01.02.04), ассистент Тарасова Е.А.; ассистент Максимова Е.А.

**Приглашённые:** д. т. н. (01.02.04), профессор, зав. кафедрой «Механика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (СамГТУ) Клебанов Я.М., д. т. н. (01.02.04), профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» Ермоленко Г.Ю.; к.ф.-м.н. (01.02.04), доцент кафедры «Механика» СамГТУ Кичаев П.Е., к.т.н. (01.02.04), доцент кафедры «Высшей математики и прикладной информатики» СамГТУ Райков Е.А., к.т.н. (01.02.04), доцент кафедры «Механика» СамГТУ Кичаев Е.К.

Результаты голосования:

«за» – 29 чел.;

«против» – 0 чел.;

«воздержалось» – 0 чел.

Протокол № 4 от 17 ноября 2016 г.

Председательствующий на заседании  
кафедры «Прикладная математика и  
информатика», к. ф.-м. н., доцент ПМиИ

Башкинова Елена Викторовна