

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе

Москалик Анны Давидовны

**«Аналитический метод приближённого решения краевых задач
установившейся ползучести с возмущёнными границами»,**

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

1. Актуальность темы исследований работы Москалик А.Д. диктуется внутренними причинами логического развития соответствующего раздела механики деформируемого твёрдого тела, связанного с развитием и обобщением методов построения приближённых аналитических решений краевых задач реологического деформирования элементов конструкций с возмущёнными границами. Следует отметить, что несмотря на широкое внедрение численных методов дискретной математики для решения краевых задач ползучести и создания на их основе огромного числа коммерческих пакетов, развитие аналитических методов решения соответствующих краевых задач кроме чисто научного фундаментального интереса востребовано и практическими потребностями создания баз данных и различного рода пакетов и комплексов, базирующихся на аналитических решениях краевых задач и в определённой степени альтернативных программным комплексам на основе методов дискретной математики. В этом качестве рассмотренный в диссертационной работе А.Д. Москалик класс краевых задач установившейся ползучести в полярной системе координат для толстостенных труб с произвольно возмущённой внешней границей, связанный с оценкой влияния вида разностенности на напряжённо-деформированное состояние, и по постановкам, и по полученным результатам безусловно обладают актуальностью и являются важными для теории ползучести. С другой стороны, эксплуатация труб в промышленности с существующими нормативными допусками на разностенность в условиях высоких температур требует соответствующей математической и критериальной базы для оценки их напряжённо-деформированного состояния, прочности и долговечности по силовым и деформационным критериям отказов. Исходя из вышеизложенного, актуальность тематики рецензируемой работы сомнений не вызывает.

2. Основные результаты и научная новизна диссертационной работы Москалик А.Д. состоят в построении приближённых аналитических решений на основе метода малого параметра для ряда в определённом смысле новых краевых задач установившейся ползучести для толстостенных труб с

возмущёнными внешними границами. Существующие аналогичные подходы хорошо разработаны в упругой и упругопластической областях, в теории ползучести имеются единичные работы, в которых решение ограничено в основном первым приближением.

К элементам новизны второй главы следует отнести разработанный достаточно общий метод решения поставленной краевой задачи с произвольно возмущённой внешней границей для первого и последующих приближений при степенной аппроксимации закона установившейся ползучести, который справедлив для показателя установившейся ползучести $n \geq 2,42$. Этому условию удовлетворяют практически все металлические материалы в условиях высокотемпературной ползучести, поэтому ограничение на показатель нелинейности не является обременительным с точки зрения прикладных задач и теоретических исследований.

В третьей главе диссертантом впервые построено приближённое аналитическое решение краевой задачи установившейся ползучести для несоосной толстостенной трубы до третьего приближения включительно, при этом выполнен анализ решения в широких диапазонах изменения показателя нелинейности и малого параметра, в частности, как следует из таблиц 3.1-3.4 диссертации (стр. 78 – 79), в наименьшем сечении трубы (в области максимальной концентрации напряжений) третье приближение вносит уже незначительные уточнения к решению во втором приближении вплоть до величины смещения центров окружностей в 10% от внутреннего радиуса. Это означает, что полученное решение можно использовать в расчётной практике, поскольку существующие ГОСТы на разностенность в соответствующих технологических операциях при изготовлении труб не превышают 4% смещения центров от внутреннего радиуса. Следует отметить и решённую задачу сопоставления построенного приближённого аналитического решения с численным решением методом конечных элементов (МКЭ) в частных случаях, при этом в области минимальной толщины отклонение решений для окружных и радиальных напряжений в среднеквадратичной норме не превосходит 5% до величины малого параметра в 8% (табл. 3.9-3.12 диссертации).

Отметим, что результаты параметрического анализа как для малых, так и для больших значений показателя нелинейности установившейся ползучести (рис. 3.3-3.16 диссертации) свидетельствуют о хорошей (практической) сходимости ряда по малому параметру для напряжений $\sigma_{\theta\theta}$ и σ_{rr} , при этом возникающие вследствие несимметричности задачи касательные напряжения $\tau_{r\theta}$ на два-три порядка меньше нормальных (рис. 3.22 и 3.23) и их можно не учитывать в расчётной практике.

Результаты, аналогичные полученным в главе 3, представлены в главе 4 при построении приближённого аналитического решения до второго приближения при эллиптически возмущённой внешней границе. К элементам новизны здесь также можно отнести постановку задачи, полученные результаты по влиянию показателя нелинейности установившейся ползучести и величины малого параметра на напряженно-деформированное состояние в области концентрации напряжений (сечение с минимальной толщиной стенки), сравнительный анализ приближённого решения с численным решением на основе МКЭ, детальный апостериорный анализ практической сходимости решения. Полученные здесь результаты также позволяют сделать вывод о приемлемости построенного приближённого решения в теоретических расчётах и прикладных задачах для оценки напряженно-деформированного состояния, поскольку диссертантом установлено, что во-первых, при допустимых ГОСТами величинах разностенности отличие приближённого аналитического и численного решений для компонент тензора напряжений не превосходит 6-7% (в среднеквадратической норме) в зависимости от показателя нелинейности установившейся ползучести, а во-вторых, второй порядок приближения для напряжений вносит уточнение к первому не более 7%.

Поскольку при ползучести приходится считаться и с накопленной во времени деформацией, то заслуживает внимания быть отмеченной решённая задача применения построенного аналитического решения к оценке «долговечности» несоосной толстостенной трубы по параметрическому (деформационному) критерию отказа с подробно изложенной методикой.

В силу того, что диссертационное исследование является квалификационной работой, отметим, что соискатель показал хорошее владение математическим аппаратом и теоретическими положениями механики деформируемого твёрдого тела при построении решений краевых задач, преодолев существенные трудности, связанные с физической нелинейностью определяющих соотношений и неосесимметричностью постановки задачи.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод о соответствии полученных Москалик А.Д. новых результатов и выводов паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

3. Теоретическая и практическая ценность работы. Оценивая результаты диссертации в целом, следует признать, что в ней впервые получены приближенные аналитические решения ряда новых краевых задач и выполнено детальное исследование их решений в зависимости от параметров модели и краевых условий, что еще раз подтверждает преимущества аналитических решений (в смысле анализа решений) перед численными методами дискретной математики. С другой стороны, с точки зрения внешней логической

завершённости работы (её связи со смежными науками и прикладными задачами) очевидно, что результаты, полученные в диссертации, имеют ясные и прозрачные пути использования в прикладной теории ползучести, а также в современной теории и практике при оценке надежности и прочности конструкций в условиях реологического деформирования.

Так, важное прикладное значение имеет исследование напряжённого состояния в зависимости от величины малого параметра и сопоставление полученных результатов с регламентируемыми отраслевыми ГОСТами допусками в технологии изготовления труб. Соискателем показано, что, например, для несоосной трубы погрешность между приближённым аналитическим решением со вторым и третьим порядками приближения для величины допустимого ГОСТом возмущения смещения центров соосности в 4% не превышает 0,5%, в то же время и отклонение приближённого решения от численного МКЭ также не превышает 0,5%. Это позволяет использовать полученное аналитическое решение непосредственно в прикладных расчётах и инженерной практике в реальных условиях эксплуатации труб.

Кроме этого, результаты работы могут быть использованы в учебном процессе при чтении спецкурсов по теории ползучести и численным методам.

4. Достоверность результатов диссертации сомнений не вызывает. Основные положения диссертации строго обоснованы и логически вытекают из поставленных диссертантом целей: построения приближённых аналитических решений указанных выше задач; анализа напряжённого состояния в условиях установившейся ползучести в зависимости от параметров модели и краевых условий; изучения частных случаев задач. Достоверность результатов обеспечивается корректностью постановок краевых задач и строгостью использования математических методов их решения, непротиворечивостью полученных теоретических математических результатов в рамках сформулированных ограничений «физическому» поведению толстостенных труб в условиях ползучести с точки зрения механики деформируемого твёрдого тела, а также сравнением полученных аналитических решений с численными решениями на основе МКЭ в частных случаях.

5. Апробация работы. Основные положения рецензируемой работы в достаточной мере опубликованы в научных журналах (в том числе, и в требуемом минимуме журналов из перечня ВАК) и трудах научных конференций. Диссертация докладывалась и обсуждалась на научных семинарах. Поэтому считаю, что диссертационная работа А.Д. Москалик в достаточной мере опубликована и апробирована.

6. Диссертация и автореферат написаны понятным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает

постановку, методы и результаты решения рассмотренных задач. Автореферат, в целом, отражает содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата в основном соответствует существующим требованиям.

7. Замечания по содержанию работы. Недостатков, ставящих под сомнение справедливость какого-либо результата, в диссертации не обнаружено. По существу и оформлению работы можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 45 перед уравнением (2.63) сообщается, что "разность продифференцированных уравнений равновесия тождественно равна второй производной $\Delta\sigma^{(k)}$ ". Однако, это уравнение представляет собой тождество, не зависящее от уравнения равновесия.
2. На некоторых страницах без комментариев наблюдается несоответствие погрешностей между приближенным аналитическим и численным решениями:
 - а) на стр. 79 в таблицах фигурируют немонотонные значения напряжений в I, II, III приближениях;
 - б) на стр. 82-83 по данным таблиц погрешность радиального напряжения для третьего приближения выше, чем для второго приближения;
 - в) на стр. 89-90 (рис. 3.11-3.12) третье приближение ближе к МКЭ, чем четвертое приближение.
3. На стр. 95-96 (рис. 3.22-3.23) приведены распределения касательных напряжений при разных значений угла θ ($3\pi/4$ на рис. 3.22 и $\pi/4$ на рис. 3.23). По-моему, естественнее было бы сравнивать эти распределения при одном и том же значении θ .

Существенных замечаний непосредственно по «полиграфическому» оформлению диссертации и автореферата не имеется.

Несмотря на замечания, который носят частный характер, следует признать, что Москалик А.Д. выполнена большая научная работа, обладающая элементами новизны, насыщенная сложным математическим аппаратом. Поскольку диссертант в целом справился с поставленными задачами, то отношение к данной квалификационной работе положительное.

10. Заключение по диссертации. Диссертационная работа Москалик А.Д. «Аналитический метод приближённого решения краевых задач установившейся ползучести с возмущёнными границами» является завершённым научным исследованием, выполненным на достаточном для кандидатских диссертаций научно-методическом уровне, соответствует паспорту специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела» и имеет важное научное и практическое значение. Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого

постановлением №842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., а её автор – Москалик Анна Давидовна – безусловно заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент:

заведующий лабораторией ползучести и длительной прочности Института механики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доктор физико-математических наук (01.02.04), профессор

 Локощенко
Александр Михайлович

119192, Москва, Мичуринский пр., д.1
Тел. 8 (495) 939-53-08, e-mail: loko@imec.msu.ru

Подпись доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией ползучести и длительной прочности НИИ механики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Локощенко Александра Михайловича заверяю.

Ученый секретарь
НИИ механики ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», кандидат физико-математических наук

 Рязанцева
Марина Юрьевна

Директор
НИИ механики ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», академик РАЕН

 Окунев
Юрий Михайлович



23 марта 2017 года