

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 06.10.2016 № 127

О присуждении Яковлевой Екатерине Михайловне, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Краевые задачи о смешанном нагружении тел с разрезами с учетом накопления рассеянных повреждений в связанной постановке» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 06.10.2016, протокол № 127 диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

Соискатель Яковлева Екатерина Михайловна 1989 года рождения, в 2011 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет» по направлению «Математика», специализация «Прикладная математика и информатика». В 2015 г. окончила аспирантуру очной формы обучения в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный университет» по научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Степанова Лариса Валентиновна, сотрудник кафедры «Математического моделирования в механике» ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты:

Радченко Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор (ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»).

Келлер Илья Эрнстович, доктор физико-математических наук (ФГБУН «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук»).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский научный центр Российской академии наук, г. Казань, в своем положительном заключении, составленным Шлянниковым Валерием Николаевичем, д.т.н., профессором, заведующим лабораторией вычислительной и экспериментальной механики деформирования и разрушения, указала, что диссертация посвящена решению нелинейных задач деформирования и разрушения при смешанных формах нагружения. В работе сформулирована цель анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) в локальной области вершины стационарной трещины. Средством достижения поставленной цели выступает предлагаемый метод определения собственных значений. Проблемы прогнозирования характеристик сопротивления деформированию и разрушению материалов и элементов конструкций являются одним из определяющих в машино-

строении и в этом контексте работа Е.М. Яковлевой актуальна. Диссертация полностью удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Яковлева Е.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 24 опубликованную работу по теме диссертации, из них 13 статей в рецензируемых научных изданиях (журналах, рекомендуемых ВАК).

Наиболее значительные работы:

1. Stepanova L.V., Yakovleva E.M. Asymptotic stress field in the vicinity of a mixed-mode crack under plane stress conditions for a power-law hardening material // *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 2015. - V. 10. - № 3. - P. 367-393.
2. Яковлева Е.М. К вопросу о нелинейных задачах на собственные значения, возникающих в механике разрушения // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. Механика*, 2015. - № 3(125). - С. 125-139.
3. Степанова Л.В., Яковлева Е.М. О смешанном нагружении элементов конструкции с дефектом // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физ.-мат. науки*, 2015. - Т. 19. - № 2. - С. 358-381.
4. Степанова Л.В., Адылина Е.М. Напряженно - деформированное состояние в окрестности вершины трещины в условиях смешанного нагружения // *Прикладная механика и техническая физика*, 2014. - Т. 55 (327). - № 5. - С. 181-194. (Stepanova L.V., Adylina E.M. Stress-strain state in the vicinity of a crack tip under mixed loading// *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. - 2014. - V. 55. - № 5. - P. 885-895.)
5. Степанова Л.В., Яковлева Е.М. Смешанное деформирование пластины с трещиной в условиях плоского напряженного состояния // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*, 2014. - № 3. - С. 129-162.
6. Адылина Е.М. Численный метод построения спектра собственных значений нелинейной задачи, следующей из одной проблемы смешанного деформирования пластины с трещиной // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия*, 2013. - № 6(107). - С. 85-99.
7. Степанова Л.В., Адылина Е.М. Асимптотические методы нелинейной механики разрушения: результаты, современное состояние и перспективы // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физ.-мат. науки*, 2013. - № 2(31). - С. 156-168.
8. Adulina E., Stepanova L. Nonlinear eigenvalue problems arising from nonlinear fracture mechanics analysis// *19th European Conference on Fracture: Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety, ECF 2012; Kazan; Russian Federation; 26 August 2012 through 31 August 2012.*

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от оппонентов и ведущей организации:

1. Положительный отзыв официального оппонента Радченко Владимира Павловича. В отзыве указывается на то, что диссертация выполнена на высоком методологическом уровне, отличается полнотой изложения и является завершенным научным исследованием; диссертантом выполнено теоретическое решение ряда задач, в результате которых получены новые данные о закономерностях механического нелинейного пове-

дения материала в области вершины трещины, приведены постановки и решения новых краевых задач механики разрушения, получен спектр новых собственных чисел, с использованием которых получены более общие результаты по сравнению с существующими на сегодняшний день. Оппонент отмечает, что в диссертации соискатель построил лишь одно из возможных решений нелинейной краевой задачи определения напряженно – деформированного состояния у вершины трещины. Однако в главе 5 показана сходимость решения по методу возмущений к численному решению именно начальной задачи Коши, которая поставлена в соответствие исходной двухточечной краевой задаче. непонятно, почему на графиках для интенсивности напряжений $\sigma_e = \sigma_e(\theta)$ на рис. 1 автореферата наблюдаются многочисленные разрывы первой производной от этой функции, хотя для компонент тензора напряжений единственный разрыв производной имеет лишь компонента $\bar{\sigma}_{rr}$, а остальные компоненты вообще не имеют разрыва первой производной. Текстуально заключения в диссертации и в автореферате не совпадают по форме подачи основных полученных результатов. Не понятно, чем объясняется немонотонность рассчитанных собственных значений λ как функции от параметра смешанности нагружения в таблицах 1-5 и некоторых последующих. Соискатель часто использует фразу «нахождение всего спектра собственных значений», но фактически найдено лишь одно собственное значение при каждом значении параметра смешанности, а в последних двух главах – 2-3 значения. Имеется некоторое логическое противоречие между построениями глав 2, 3 и 4. Имеются замечания по представленным графикам, которые выполнены с определённой небрежностью, что затрудняет их анализ. Имеются немногочисленные опечатки в тексте диссертации.

2. Положительный отзыв официального оппонента Келлера Ильи Эрнстовича. В отзыве указано, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, выводы обоснованы. Работа базируется на достаточном объёме полученных теоретических результатов и вносит вклад в соответствующий раздел механики деформируемого твёрдого тела. Оппонент отмечает, что некоторые сомнения вызывает авторская переформулировка задачи. Не ясно, существует ли вообще решение исходной задачи при произвольном значении параметра смешанности $M^p \in [0,1]$. Результаты, представленные на рис. 4-9 намекают на то, что собственному числу Хатчинсона-Райса-Розенгрена соответствует континуальное множество собственных форм с произвольным $M^p \in [0,1]$. Сравнение результатов автора, полученных прямым численным счетом (глава 2) и методом возмущений (глава 5), убедительно не показывают соответствия. К сожалению не сказано, остается ли в силе факт сближения полученного решения с асимптотикой Хатчинсона-Райса-Розенгрена в пределе неповрежденного материала. В главе 2, к сожалению, из упомянутого ряда для функции напряжений рассматривался лишь первый его член, и вопросы сходимости при смешанных модах нагружения, обусловленной новой асимптотикой, не обсуждались. В формуле $n_k = (-1)^k / (\lambda_0 - 1)^k$ на с.92 присутствует арифметическая ошибка. Замечено, что найденная новая асимптотика соответствуют сингулярному полю перемещений, тогда как старая (Хатчинсон-Райс-Розенгрэн) регулярна вблизи кончика трещины.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, основные научные результаты, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность результатов. Ведущая организация в отзыве приводит несколько замечаний. Во введении к диссертации отсутствуют пункты «степень разработанности проблемы» и «теоретическая значимость работы», предусмотренные действующим с 26 марта 2015 года приказом ВАК. Пункт «Практическая значимость диссертации» действительно должен называться «Теоретическая и практическая значимость работы», т.к. теоретическая значимость в этом пункте отражена. В автореферате отсутствует раздел «Положения, выносимые на защиту». Пункт 2 положений, выносимых на защиту в тексте диссертации должен быть переформулирован. Можно выставлять на защиту только результаты для асимптотики, отличной от классического решения упруго-пластической задачи. Формулировка граничных условий при решении задач смешанных форм деформирования прозвучала дважды в главе 2 и затем в главе 4. Представленные для плоской деформации на рис.4-9 и для плоского напряженного состояния на рис.27-30 соответственно, угловые распределения компонент напряжений для упруго-пластической задачи с классическим показателем сингулярности полностью совпадают с известными решениями С.Ф.Ших и В.Н.Шлянникова. В поведении радиальной компоненты напряжений появилась особая точка $\theta = \theta^0$ из-за навязанных условий непрерывности распределений. Выбор функции повреждения при ползучести не обоснован по отношению к известным силовым и деформационным моделям накопления повреждений. Глава 5 не завершена, поскольку анализ поведения функции напряжений Эри и ее производных с учетом малых возмущений не доведен до реальных полей напряжений и деформаций, иллюстрирующих значимость рассматриваемых математических постановок. Должны быть комментарии, в каких случаях автомодельных решений коэффициенты упрочнения и ползучести выводятся за пределы списка переменных. Литературные ссылки в диссертации в ряде случаев имеют чисто формальный характер. На стр. 58 автор пишет, что на рис.19-26 приведены конфигурации областей поврежденного материала при нормальном отрыве. На самом деле эти рисунки относятся к смешанным формам деформирования и разрушения. В тексте отсутствует расшифровка обозначения 5 линий, присутствующих на каждом из этих рисунков. Рефреном повторяющаяся формулировка «элемент конструкции с трещиной» не очень уместна в качестве объекта исследования, т.к. по сути в работе рассматривается модельная задача для тела бесконечных размеров. Определение «рассеянные» в названии диссертации является излишним, поскольку параметр плотности распределения повреждений нигде не фигурирует.

На автореферат поступило 7 положительных отзывов, из них 2 отзыва – без замечаний от: Нифагина В. А., к.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой информационных технологий, ФГБОУ ВО Белорусского государственного университета, г. Минск; Лычева С. А., д.ф.-м.н., доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела, ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН, г. Москва. Также 5 отзывов с замечаниями от: Пестрикова В. М., д.т.н., профессора, заведующего кафедрой радиотехники и информационных технологий, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург; Астафьева В. И., д.ф.-м.н., профессора кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, ФГБОУ ВО Самарского государст-

венного технического университета, г. Самара; Лавита И. М. д.ф.-м.н., профессора кафедры математического моделирования, ФГБОУ ВО Тульского государственного университета, г. Тула; Матвиенко Ю.Г., д.т.н., профессора, заведующего отделом прочности, живучести и безопасности машин, ФГБУН Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва; Легана М.А., ведущего научного сотрудника лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела, ФГБУН Института проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН, г. Москва. В качестве замечаний отмечено следующее: решение задачи определения напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины для упругопластического материала со степенной функцией интенсивности напряжений от интенсивности деформаций (гл.2) было бы естественно сопоставить (для частного случая трещины нормального разрыва) с решением Хатчинсона. Неясно, как можно экспериментально проверить выводы диссертации. Отсутствие методик практической реализации новых предложенных моделей с учетом процессов накопления рассеянных повреждений в связанной постановке не позволяет адекватно трактовать полученные результаты. В автореферате на рис.6 (стр.17) приведены результаты сравнения результатов численного решения и решения по методу малого параметра, однако не сказано, для какого значения показателя нелинейности получены приведенные угловые распределения. Необходимо пояснить – в чем различие между понятиями полной и неполной автомодельности. Отсутствует сравнение различных подходов к решению проблем смешанного нагружения, известных на сегодняшний день. В автореферате следовало бы большее внимание уделить тому, что не устраивает соискателя настоящей работы в известных и цитируемых результатах, и чем вызвана постановка научной работы соискателя. В названии работы сформулированы задачи для тела с разрезом. Вместе с тем, в самой работе рассмотрены задачи о теле с трещиной. А это – разные задачи. Очень мелкие обозначения на рисунках затрудняют чтение автореферата.

В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на достаточно высоком научном уровне, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых не вызывает сомнения, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются одними из ведущих специалистов в области вычислительной механики деформируемого твердого тела, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных работ по изучению деформирования и разрушения твердых тел и конструкций, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация КазНЦ РАН является одним из ведущих институтов не только РАН, но и страны, и хорошо известен своими достижениями в области механики деформируемого твердого тела, в институте активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования в областях общей механики, робототехники и мехатроники; теории упругости; механики деформирования и разрушения твердых тел и конструкций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан численный метод, позволяющий определить собственные значения нелинейной краевой задачи с сингулярностями;

найден спектр собственных значений нелинейной краевой задачи определения напряженно – деформированного состояния в окрестности вершины трещины при смешанном нагружении для плоского напряженного и плоского деформированного состояния;

определены поля напряжений, скоростей деформаций и параметра сплошности вблизи вершины неподвижной трещины в условиях высокотемпературной ползучести при смешанном нагружении с учетом процессов ползучести и накопления повреждений;

выполнен асимптотический анализ полей напряжений, скоростей деформаций ползучести и параметра сплошности в окрестности вершины трещины;

получены конфигурации области поврежденного материала в окрестности вершины трещины в условиях смешанного деформирования для различных значений показателя ползучести и параметра смешанности нагружения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано:

– разработанный численный метод позволяет найти спектр собственных значений нелинейной краевой задачи, что дает возможность оценивать характер напряжений, деформаций и перемещений в окрестности вершины (от чистого поперечного сдвига до чистого нормального отрыва);

– найденные новые собственные значения определяют асимптотику дальнего поля напряжений в связанной задаче о трещине в среде с поврежденностью и позволяют найти угловые распределения (коэффициенты разложения в ряд компонент тензора напряжений и параметра сплошности) для компонент тензоров напряжений и деформаций вблизи кончика трещины, построить конфигурации областей полностью поврежденного материала;

– метод малого параметра дает эффективный способ вычисления собственных значений нелинейной задачи определения напряженно – деформированного состояния у вершины трещины в среде с поврежденностью в условиях смешанного нагружения для комбинаций двух мод нагружения: нормальный отрыв и поперечный сдвиг.

– асимптотика собственных значений в случае смешанного нагружения существенно зависит от параметра смешанности нагружения.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

разработан новый метод и алгоритм численного определения напряженно - деформированного состояния в окрестности вершины трещины в условиях смешанного нагружения для полного диапазона смешанных форм деформирования;

разработаны программы, реализующие численные алгоритмы нахождения полей напряжений, скоростей деформаций ползучести и сплошности;

найдена новая асимптотика поля напряжений у вершины трещины вне зоны разрушенного материала в условиях смешанного деформирования;

построены конфигурации области разрушенного материала в вершине трещины для полного диапазона смешанных форм деформирования.

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

полученный класс асимптотических решений дает возможность построить уточненное описание распределения полей напряжений и деформаций в вершине трещины с учетом конфигурации зоны поврежденного материала и может быть использован на практике для анализа напряженно - деформированного состояния реальных элементов конструкций, для создания современных экспертных систем, для разработки новых критериев прочности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена с использованием общепризнанных известных положений механики разрушения и теории определяющих соотношений, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, асимптотического анализа, методов теории возмущений;

использованы апробированные численные методы решения нелинейных начальных задач с параметром и сведения краевых задач к начальным, а также специальные методы теории возмущений;

установлено качественное и количественное согласие численного решения с решениями, построенными методом малого параметра.

Личный вклад соискателя состоит в разработке и реализации нового численного метода определения спектра собственных значений нелинейной краевой задачи исследования напряженно - деформированного состояния в окрестности вершины трещины; в построении распределений компонент тензоров напряжений и деформаций вблизи кончика трещины для новой найденной асимптотики и построении конфигурации областей диспергированного материала с использованием новой асимптотики дальнего поля напряжений у вершины трещины в условиях смешанного нагружения.

Выбор направлений исследований, постановка задачи, анализ результатов и подготовка публикаций осуществлялись совместно с научным руководителем.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

На заседании 06 октября 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Яковлевой Е.М. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 2.

Председатель
диссертационного совета



/ Матвеевко Валерий Павлович

Ученый секретарь
диссертационного совета



/ Зуев Андрей Леонидович

06.10.2016 г.

М.П.

