

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
**99.2.039.02 (Д999.122.02)**

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение объединенного диссертационного  
совета от 16.12.2022 г. № 20

О присуждении Жаббарову Рамилю Муритовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Идентификация коэффициентов разложения М. Уильямса: теоретический подход, вычислительное обоснование и экспериментальный аспект» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 27 сентября 2022 г. (протокол заседания № 14), объединенным диссертационным советом 99.2.039.02 (Д 999.122.02), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки Российской Федерации, 443100, Самара, Молодогвардейская 244, и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Минобрнауки Российской Федерации, 443086, Самара, Московское шоссе, 34, приказ Минобрнауки Российской Федерации №45/нк от 30.01.2017 г.

Соискатель Жаббаров Рамиль Муритович родился в 1993 г. В 2017 г. с отличием окончил ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование» и в этом же году поступил в аспирантуру на кафедру математического моделирования в механике, где обучался до 31.08.2021 г. В настоящее время работает в ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в должности ассистента кафедры математического моделирования в механике.

Диссертация выполнена на кафедре математического моделирования в механике ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Минобрнауки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Степанова Лариса Валентиновна, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра математического моделирования в механике, заведующий кафедрой.

**Официальные оппоненты:**

- Лычев Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБУН Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук, г. Москва, лаборатория «Механика технологических процессов», ведущий научный сотрудник.

- Матвиенко Юрий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук», г. Москва, отдел «Прочность, живучесть и безопасность машин», заведующий отделом.

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, утвержденным Сколубовичем Юрием Леонидовичем, д.т.н., профессором, ректором, подписанном Табанюховой Мариной Владимировной, к.т.н, доцентом, заведующим кафедрой строительной механики, указали, что модифицированная методика оценки скорости роста усталостной трещины, базирующаяся на функции плотности энергии упругой деформации, позволит инженерам наиболее точно оценить надежность эксплуатационных конструкций.

Заключение содержит следующие замечания: Из диссертации и автореферата не понятно, что представленные в первой главе графические интерпретации результатов получены автором работы. Следовало сделать на этом акцент. Во второй главе диссертации описываются физические модели, изготовленные для фотоупругого эксперимента, в том числе и образцы с трещинами, но нет пояснения, что трещины имитировались пропилами, которые имеют некоторый радиус закругления. Отсутствует оценка того, как влияет радиус закругления пропила на напряженное состояние вблизи его концов. В заключении п.3 в основных положениях работы написано «...нацеленное на цифровую обработку всей совокупности экспериментальных данных, получаемых методом фотоупругости...», в диссертации используется только часть экспериментальных данных метода фотоупругости – поле изохром, а изоклины не рассматриваются.

**Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ**, из них 1 в издании, рекомендованном ВАК, 3 в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science. Вклад соискателя: постановка целей и задач, участие на всех этапах исследования, личное проведение анализов и измерений, интерпретация результатов и формулировка всех основных положений и выводов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

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

1. Жаббаров Р.М. Теоретически реконструированное поле изохроматических полос у вершины трещины // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2019. – Т. 25. - №1. – С. 57-62.

2. Zhabbarov R.M., Stepanova L.V. Numerical determination of coefficients of multi-parameter asymptotic expansion of the crack-tip stress field using FEM // Procedia Structural Integrity. 2020. – V. 28. – P. 1768-1773.

3. Zhabbarov R.M., Stepanova L.V. Experimental evaluation of coefficients of multi-parameter asymptotic expansion of the crack-tip stress field using digital photoelasticity // Procedia Structural Integrity. – 2020 – V. 28. – P. 1774-1780.

4. Stepanova L.V., Zhabbarov R.M. An effective scheme for solving a class of nonlinear boundary value problems of stress concentration through quasilinearisation approach // Procedia Structural Integrity. – 2021. – V. 37(C). – P. 920-925.

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

В отзыве официального оппонента **Лычева С.А.** указаны следующие основные замечания: При сопоставлении точных решений и асимптотических представлений М. Вильямса предлагается оценивать погрешности визуальным сопоставлением графиков (стр. 38 и далее). Более объективным была бы оценка погрешности посредством какой-либо нормы в пространстве функций, которое содержит эти распределения. Можно предложить, например, квадратичную норму, позволяющую дать энергетическую оценку погрешности. На стр. 80 указывается количественная оценка погрешности  $10^{-6}$ , но не написано, как она вычислялась. Возможная интерпретация этого значения как максимума разности точных и асимптотических распределений не спасает ситуацию, поскольку для физически обоснованной оценки предпочтительной является энергетическая норма, вычисление которой вновь приводит к вопросу о функциональном пространстве. Ничего не сказано о статистической обработке экспериментальных результатов. Можно было бы для серии однотипных испытаний определить расстояния от центра образца до реперных точек изохроматических полос и построить распределения этих значений. При идентификации системы изохроматических полос (построении скелетона) использовалось определение значений интенсивности пикселей цифровой фотографии. Здесь требуется оценка погрешности, вносимой таким изменением первичных данных эксперимента, особенно в областях сгущения полос. Судя по изображениям скелетонов, их элементы – изохроматические полосы – не являются непрерывными линиями. В качестве пожелания предлагаю воспользоваться алгоритмом распознавания, в котором области минимальной интенсивности определяются как непрерывные траектории. Кроме того, интересно было бы сравнить предлагаемый в диссертации алгоритм распознавания с работой известных вычислительных программ, например, *Open-Fringe* или *atmosfringe*.

В отзыве официального оппонента **Матвиенко Ю.Г.** сформулированы следующие замечания: Следует отметить, что надрез принципиально отличается от трещины наличием конечного радиуса скругления его вершины. Известно также, что напряженно-деформированное состояния (НДС) у вершины трещины отличается от НДС у вершины надреза. Учитывал ли автор это обстоятельство в своих исследованиях при определении коэффициентов асимптотического поля напряжений Уильямса? Влияет ли радиус скругления вершины надреза на коэффициенты асимптотического поля напряжений Уильямса? Из текста диссертации не ясно, оценивал ли автор погрешности определения коэффициентов аппроксимации асимптотического поля напряжений Уильямса для трещин нормального отрыва и в условиях комбинированного нагружения (нормальный отрыв + поперечный сдвиг) экспериментальным методом цифровой фотоупругости. Если да, то какие это погрешности и от каких факторов они зависят? В уравнении (4.5) функция плотности энергии упругой деформации имеет нижний индекс «min». Что он означает? В выводах к главе 4 диссертации автор утверждает, что «Предложенная усовершенствованная методика оценки ресурса трубы позволяет оценить влияние неособых слагаемых в ряде Уильямса на показатели эксплуатационных свойств трубопроводных систем». Из текста диссертации не совсем ясно, как автор оценивал ресурс трубы, что он понимает под ресурсом и эксплуата-

ционными свойствами трубопроводных систем. Следует обратить внимание автора на то, что трубопроводные системы существенно различаются по типоразмеру, внутреннему давлению, а также наличием сварных швов, наличием различного вида трещиноподобных дефектов (сквозные, поверхностные и подповерхностные), видом транспортируемой среды.

**На автореферат поступило 7 положительных отзывов от:** М.А. Гундиной, к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедры «Инженерная математика» «Белорусский национальный технический университет» (Республика Беларусь, г. Минск); М.А. Покровского, д.т.н., профессора, зам. зав. кафедрой «Прикладная механика» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (г. Москва); Т.А. Беляковой, к.ф.-м.н., доцента кафедры теории пластичности механико-математического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Москва); В.С. Писарева, к.т.н., в.н.с. НИЦ «Прочность» ГНЦ РФ Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (г. Жуковский); И.Э. Келлера, д.т.н., доцента, зав. лаб нелинейной механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН (г. Пермь); В.Э. Вильдемана, д.ф.-м.н., профессора, зав. кафедрой экспериментальной механики и конструкционного материаловедения, директора Центра экспериментальной механики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь); Ю.П. Стефанова, д.ф.-м.н., профессора РАН, в.н.с. лаб. глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (г. Новосибирск).

В замечаниях указано: В автореферате употребляются синонимы «кончик трещины» и «вершина трещины». При изложении материала в автореферате лучше употреблять один термин; При выборе количества членов разложения Вильямса автор закладывает погрешность по сравнению с точным решением  $10^{-6}$  ( $10^{-4}$  %). Погрешность экспериментально полученного закона Гука составляет порядка 3%, поэтому закладывать такую низкую погрешность не имеет никакого смысла. Достаточно ограничиться погрешностью 3%; Выражение функции плотности упругой энергии деформации  $S$  записывается для плоского напряженного состояния. В связи с этим использование  $S$  в такой форме не позволит учесть влияние толщины детали на живучесть. Из текста автореферата не понятно, как выбирать расстояние  $r$  от вершины трещины, входящее в выражение  $S$ , размах которого подставляется в формулу Пэриса; Из автореферата не вполне ясно, на основе каких норм (метрик) оценивалась степень соответствия асимптотических разложений для напряжений и теоретических зависимостей. В тексте автореферата есть обозначения, которые не поясняются – например  $b$  или  $h$  на стр. 10-11. В четвертой главе нигде не указаны величины полученных КИН и  $T$ -напряжений. Отсутствует анализ точности аппроксимационных формул для вычисления параметров механики разрушения в зависимости от количества используемых коэффициентов разложения  $M$  Уильямса; В автореферате нет данных, подтверждающих работоспособность предложенной методики оценки скорости роста усталостной трещины. В выражении (8) плотности упругой энергии при несингулярных компонентах остается расстояние от точки наблюдения до вершины трещины, поэтому не ясно, как это выражение понимать. Не ясно, может ли учет несингулярных членов разложе-

ния пролить свет в вопросе направления распространения трещины при комбинированном нагружении.

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы Жаббарова Р.М. требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор – Жаббаров Р.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их высокой компетентностью в области механики хрупкого разрушения и анализа прочности и живучести ресурса машин и конструкций, экспериментальной обработки данных, полученных на основе интерференционно-оптических методов, что подтверждается публикациями в научных изданиях в сфере исследования соискателя.

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

- **разработана** компьютерная программа автоматической обработки интерференционных картин, позволяющая определить координаты точек изохроматических полос с наименьшей освещенностью;

- **предложен** ряд тарифовочных функций вычисления коэффициентов регулярных слагаемых ряда М. Уильямса для серии образцов с трещинами и надрезами, включая модель компактного образца;

- **доказано** принципиальное влияние неособых слагаемых ряда М. Уильямса на описание полей напряжений в окрестности вершины трещины;

- **введена** усовершенствованная методика оценки скорости роста усталостной трещины, обеспечивающая более точный анализ скорости роста в условиях циклической нагрузки и, следовательно, эксплуатационного ресурса труб.

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

- **доказано**, что для точного описания поля напряжений в окрестности вершины трещины требуется удержание регулярных слагаемых более высокого порядка ряда М. Уильямса. Количество слагаемых зависит от выбранного расстояния от вершины трещины, геометрии образца и системы приложенных нагрузок;

- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих литературных данных и собственных аналитических, экспериментальных и численных исследований влияния слагаемых высшего порядка ряда М. Уильямса на описание поля напряжений вокруг вершины трещины;

- **установлена и изложена** усовершенствованная методика оценки скорости роста усталостной трещины;

- **раскрыто и изучено** влияние слагаемых высшего порядка асимптотического ряда М. Уильямса на описание напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины;

- **проведена модернизация** оценки скорости роста усталостной трещины;

- **определено**, что использование слагаемых высшего порядка ряда М. Уильямса существенно повышает точность получаемых результатов и позволяет расширить область в окрестности вершины трещины, где справедливо представление М. Уильямса.

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

- **разработаны и внедрены** в ООО «СамараНИПИнефть», ООО «ПРОМИНЖИНИРИНГ» и ООО «ИЦ Олбо Групп» полученные в диссертации результаты влияния слагаемых более высокого порядка малости ряда М. Уильямса на оценку скорости роста усталостной трещины в линейном трубопроводе;

- **определено** влияние слагаемых более высокого порядка ряда М. Уильямса на количественную оценку и прогнозирование поведения компонентов и конструкций с трещинами;

- **сформулированы** рекомендации по оценке скорости роста усталостной трещины в линейном трубопроводе;

- **выявлено**, что предложенная усовершенствованная методика оценки скорости роста усталостной трещины позволяет более корректно прогнозировать рост трещины в линейном трубопроводе.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **экспериментальные результаты** получены на современном научно-исследовательском оборудовании с использованием аттестованных методов и методик, с применением современного программного обеспечения;

- **теоретическое положение о** влиянии слагаемых более высокого порядка малости в представлении М. Уильямса на описание напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины подтверждено аналитическими, экспериментальными и численными данными;

- **идея** базируется на сравнении с известными точными решениями, полученными с помощью теории функции комплексного переменного и решений плоской задачи математической теории упругости, для ряда конфигураций с дефектами, а также с экспериментальными и численными результатами;

- **установлено** качественное и количественное совпадение полученных экспериментальных, численных и теоретических результатов между собой и с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя состоит в:** постановке целей и задач, разработке методологии исследования, интерпретации результатов и формулировке всех основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) Следовало бы сократить количество слайдов презентации и количество слайдов, показывающих графические распределения напряжений у вершины трещины; 2) Чему равен радиус скругления вершины трещины в экспериментальных образцах и как он учитывался? 3) Какой из трех рассмотренных в работе подходов (теоретический, экспериментальный или вычислительный) является наиболее предпочтительным при исследовании напряженно-деформированного состояния у переднего края разреза? 4) Как получены собственные функции, показанные на слайде 2? 5) В чем заключается суть переопределенного метода? 6) Нужен ли натуральный эксперимент для апробации и верификации предложенного уравнения для оценки скорости распространения трещины?

Соискатель Жаббаров Р.М. ответил на высказанные в ходе заседания замечания и привел собственную аргументацию: 1) В диссертации приведен анализ влияния слагаемых

высокого порядка малости ряда Уильямса на примере целого ряда образцов с трещинами, приведенные графики ясно показывают влияние слагаемых высокого порядка малости при увеличении расстояния от вершины трещины для рассмотренной серии конфигураций тел с трещинами и надрезами. 2) Трещина в образцах изготавливалась путем пропила, для части образцов радиус скругления составлял 0.043см. В случае применения нити с алмазным напылением для изготовления пропила радиус скругления равен 0.012см. Поэтому трещина рассматривалась как математический разрез и в рамках диссертационного исследования радиус закругления вершины трещины не учитывался. Это составит направление будущих исследований. 3) При оценке полей, ассоциированных с вершиной трещиной, в настоящее время широко используется метод конечных элементов, позволяющий получить распределения механических величин в образцах конечных размеров с дефектами. Однако велика ценность аналитического описания полей с помощью ряда Уильямса, позволяющего при удержании слагаемых высокого порядка найти напряжения и перемещения в достаточно большой окрестности вершины трещины. 4) Собственные функции задачи (слайд 2) представляют собой решения задач на собственные значения, следующих из проблем определения напряженно-деформированного состояния у вершины трещины нормального отрыва и поперечного сдвига. 5) Сущность переопределенного метода заключается в решении переопределенной линейной системы алгебраических уравнений, в которой число уравнений задачи намного больше числа неизвестных, что является типичным при обработке результатов экспериментальной информации, получаемой с помощью интерференционно-оптических методов механики. 6) Да, безусловно, для верификации предложенного соотношения для скорости роста трещины нужен физический эксперимент.

На заседании 16 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Жаббарову Рамилю Муритовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела за решение задачи по установлению влияния слагаемых высшего порядка асимптотического ряда М. Уильямса на описание напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины, усовершенствования методики обработки результатов экспериментальных интерференционно-оптических исследований и методики оценки скорости роста усталостной трещин, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 17, против - 0.

Заместитель председателя диссертационного  
совета 99.2.039.02 (Д 999.122.02)

 Амосов Александр Петрович

Секретарь диссертационного  
совета 99.2.039.02 (Д 999.122.02)

 Луц Альфия Расимовна

16 декабря 2022 г.