

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Жаббарова Рамиля Муритовича  
«ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ М. УИЛЬЯМСА:  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АСПЕКТ», представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. - Механика  
деформируемого твердого тела

**Актуальность темы диссертации.** Создание объектов машиностроения с повышенными характеристиками прочности, ресурса, трещиностойкости и живучести на современном этапе развития науки предполагает дальнейшее совершенствование и развитие моделей и критериев разрушения на основе механики деформируемого твердого тела. Особое место среди направлений механики деформируемого твердого тела занимает механика разрушения, поскольку позволяет ответить на непростой вопрос о конструкционной прочности при наличии дефектов типа трещин, появляющихся как на стадии производства конструкций и машин, так и в процессе их эксплуатации. Несмотря на достигнутые результаты в разработке моделей, методов и критериев механики разрушения, в последние годы все более привлекательной становится двухпараметрическая механика разрушения, позволяющая значительно корректнее определять вязкость разрушения материалов, траекторию и закономерности развития трещины. В рамках двухпараметрической механики разрушения наряду с коэффициентом интенсивности напряжений используют несингулярные Т-напряжения асимптотического поля напряжений М. Уильямса у вершины трещины. Вместе с тем, в настоящее время отсутствует теоретически и экспериментально обоснованное понимание о необходимом количестве слагаемых, подлежащих удержанию в ряде Уильямса, для достоверного определения коэффициента интенсивности напряжений и Т-напряжений.

Именно поэтому, представленная работа актуальна и является значительным вкладом в совершенствование подходов двухпараметрической механики разрушения посредством идентификации коэффициентов разложения М. Уильямса с использованием теоретического, расчетного и

экспериментального методов.

### **Достоверность и научная новизна представленной работы.**

Диссертационная работа изложена на 231 странице и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Структура диссертации логично и четко отражает последовательность решения поставленных соискателем задач, а именно: анализ и использование аналитических методов определения напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины; экспериментальное определение масштабных коэффициентов ряда Уильямса; конечно-элементное моделирование асимптотических полей напряжений Уильямса; аппроксимация результатов конечно-элементного моделирования ряда тел с трещинами; уточнение закономерностей развития усталостной трещины.

На основе существующих комплексных потенциалов для серии плоских конфигураций образцов с трещиноподобными дефектами автором получены коэффициенты асимптотического ряда Уильямса и исследовано воздействие увеличения размеров рассматриваемой зоны вокруг трещины на количество удерживаемых регулярных слагаемых ряда Уильямса. Сделан важный вывод, а, именно, чем больше расстояние до вершины трещины, тем больше слагаемых необходимо удерживать. Кроме того, необходимое количество слагаемых в ряде Уильямса зависит также от геометрии образца с трещиной и совокупности приложенных нагрузок. Отмечено, что сохранение необходимых регулярных слагаемых ведет к значительному увеличению точности решения.

Среди значимых достижений автора следует отметить разработку и применение оригинальной программы цифровой обработки данных, получаемых методом фотоупругости, что позволяет с высокой точностью найти точки изохроматических полос с наименьшей освещенностью, принадлежащие изохроматическим полосам различного порядка. Посредством разработанного экспериментального метода цифровой фотоупругости определены коэффициенты аппроксимации асимптотического поля напряжений Уильямса для трещин нормального отрыва и в условиях комбинированного нагружения (нормальный отрыв + поперечный сдвиг) в модельных образцах с трещинами.

Нельзя не отметить новые и значимые результаты широкомасштабного конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния у вершины трещины, направленные на разработку, апробирование и использование переопределенного метода для вычисления коэффициентов асимптотического поля напряжений Уильямса у вершины трещины. В частности, продемонстрировано, что переопределенный метод позволяет с высокой точностью отыскать коэффициенты ряда Уильямса с учетом высших приближений. Получены аппроксимирующие формулы для вычисления амплитудных (масштабных) коэффициентов разложения М. Уильямса, содержащего слагаемые более высоких порядков.

Следует обратить внимание на важные достижения автора, связанные с усовершенствованием методики оценки усталостного роста трещины, основанной на функции плотности энергии упругой деформации у вершины трещины с учетом многопараметрического ряда Уильямса.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов в диссертационной работе базируется на методах механики сплошных сред, методах теории функций комплексного переменного, на применении широко апробированных алгоритмов и процедур конечно-элементного моделирования с использованием современных программных средств, а также на решении тестовых задач, согласовании результатов численных расчётов с экспериментальными результатами.

**Значимость результатов для науки и практики.** Результаты исследовательской работы имеют широкий потенциал для применения в отечественной науке и практике.

Теоретическое и экспериментальное обоснование необходимого количества слагаемых в асимптотическом поле напряжений Уильямса у вершины трещины позволяет более корректно и достоверно определять коэффициенты интенсивности напряжений и Т-напряжения, что позволяет экспериментально устанавливать действительные значения вязкости разрушения материалов и перейти к разработкам методик обоснования

конструкционной прочности, живучести и коэффициентов запаса по трещиностойкости в рамках двухпараметрической механики разрушения.

Важное научное и практическое значение приобретают полученные автором аппроксимирующие формулы для вычисления амплитудных (масштабных) коэффициентов разложения М. Уильямса, содержащего слагаемые более высоких порядков. При этом отпадает необходимость использовать конечно-элементное моделирование для типовых геометрий тел, трещин и схем нагружения.

Несмотря на то, что разработанный автором экспериментальный метод цифровой фотоупругости для определения коэффициентов аппроксимации асимптотического поля напряжений Уильямса реализован на образцах с трещиной, он может быть адаптирован на основе корреляционно-оптических методов и для реальных конструкций, поврежденных трещиноподобными дефектами.

Безусловно, усовершенствованный автором метод прогнозирования усталостного роста трещины, основанной на плотности энергии упругой деформации у вершины трещины с учетом многопараметрического ряда Уильямса, будет востребован как научными работниками, так и инженерами для оценки живучести конструкций с трещинами.

**Оценка диссертации.** Диссертация написана достаточно подробно и иллюстрирована графиками, конечно-элементными моделями и фотографиями. По содержанию диссертации можно поставить некоторые вопросы и сделать следующие замечания:

1. Автор по тексту диссертационной работы, в выводах и заключении неоднократно упоминает, что конечно-элементное моделирование, теоретические и экспериментальные исследования выполнены для образцов с трещинами и/или надрезами. Однако следует отметить, что надрез принципиально отличается от трещины наличием конечного радиуса скругления его вершины. Известно также, что напряженно-деформированное состояние (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?

2. 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?
3. В уравнении (4.5) для средне амплитудного участка зависимости скорости роста усталостной трещины в функции плотности энергии упругой деформации и на рис. 4.19 функция плотности энергии упругой деформации имеет нижний индекс «min». В тексте отсутствует пояснение к этому индексу. Что он означает?
4. В выводах к главе 4 диссертации автор утверждает, что «Предложенная усовершенствованная методика оценки ресурса трубы позволяет учесть 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 эксплуатационными 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.

Сделанные замечания не отражаются, однако, на положительном решении по диссертации.

**Заключение.** Основное содержание диссертации отражено в периодической печати и доложено на конференциях и семинарах. Автореферат диссертации в целом правильно и полно отражает ее содержание.

Диссертация удовлетворяет требованиям и критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842 (в ред. от 01.10.2018 с изм. 26.05.2020), является завершенной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, изложена идентификация коэффициентов разложения М. Уильямса с использованием теоретического, расчетного и экспериментального методов.

Жаббаров Рамиль Муритович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. - Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,  
Заведующий отделом прочности,  
живучести и безопасности машин  
федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук,  
докт. техн. наук по специальности  
01.02.06 «Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры», профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ

Юрий Григорьевич Матвиенко  
18.10.2022г.

101000 Москва, Малый Харитоньевский  
ФГБУН «Институт машиностроения  
Им. А.А. Благонравова РАН»  
Тел.: (499) 135 12 04  
E-mail: [ygmattvienko@gmail.com](mailto:ygmattvienko@gmail.com)

Подпись Ю.Г. Матвиенко заверяю.

*Зав. сект. орг. работы*



*И. С. Савваева*