

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор

Ю.Л. Сколубович

2022 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Жаббарова Рамиля Муритовича «Идентификация коэффициентов 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

Диссертационная работа Р.М. Жаббарова посвящена теоретическому, численному и экспериментальному определению коэффициентов ряда М. Уильямса механических полей, ассоциированных с вершиной трещины и углового надреза в линейно упругом изотропном материале. Проблемы построения многопараметрического представления полей напряжений, деформаций и перемещений вблизи кончика трещины относятся к фундаментальным вопросам современной теории хрупкого разрушения и, несмотря на полученные основополагающие теоретические, экспериментальные и численные результаты, требуют внимательного рассмотрения. Вопросам идентификации коэффициентов в слагаемых более высокого порядка ряда М. Уильямса и посвящена данная работа.

### **Актуальность темы диссертационной работы.**

В механике хрупкого разрушения решение М. Уильямса для полей напряжений и перемещений за последние несколько десятилетий стало одним из наиболее часто используемым представлением механических полей, которым широко пользуются учёные различных научных школ как в нашей стране, так и за рубежом. Долгое время для определения напряженно-деформированного состояния вблизи вершины трещины и острого углового выреза использовали двухпараметрическое разложение Уильямса, включающее доминирующее сингулярное слагаемое и Т-напряжение, однако, работы последних десятилетий подчеркивают необходимость сохранения слагаемых высшего порядка в решении М. Уильямса. Использование многопараметрического разложения, например, при проведении исследований с помощью интерференционно-оптических

методов механики (метода цифровой фотоупругости, голографической интерферометрии и метода корреляции цифровых изображений), позволяет проводить анализ данных из большей области, охватывающей вершину трещины, и, следовательно, увеличить совокупность данных из экспериментов, а также получить более точные результаты. Однако, в настоящий момент отсутствует ясное понимание о необходимом количестве слагаемых, требуемых для сохранения в асимптотическом ряде М. Уильямса для корректного описания поля напряжений вокруг вершины трещины. Отсутствует также экспериментальное обоснование теоретических гипотез, касающихся количества сохраняемых слагаемых в ряде Уильямса. Поэтому исследование, представленное Жаббаровым Р.М., является актуальным, а теоретический, экспериментальный и численный методы, используемые в работе для идентификации коэффициентов ряда Уильямса, представляют собой вклад в развитие идей и подходов, заложенных двухпараметрической механикой разрушения.

#### **Научная новизна и достоверность результатов исследования.**

На основе классических решений плоской задачи теории упругости, базирующихся на теории функции комплексного переменного, для большого ряда образцов с трещинами автором получены коэффициенты многопараметрического ряда М. Уильямса и проанализирован вклад регулярных слагаемых М. Уильямса в описание поля напряжений в окрестности вершины трещины. Выявлена важная закономерность: чем больше расстояние от вершины трещины, тем большее количество слагаемых необходимо сохранять в асимптотическом ряде Уильямса. Сохранение неособых (регулярных) слагаемых ряда М. Уильямса приводит к существенному увеличению точности решения и расширению области справедливости решения М. Уильямса.

В рамках диссертационного исследования автором разработана программа обработки цифровых изображений, а именно идентификации точек с наименьшей освещенностью, принадлежащих изохроматическим полосам различного порядка. С помощью программы, реализующей автоматическую обработку изображений интерференционных полос, и применения переопределенного метода на базе основного закона фотоупругости идентифицированы масштабные (амплитудные) коэффициенты многопараметрического ряда Уильямса, в котором удержаны пятнадцать слагаемых, для серии изготовленных плоских образцов различной конфигурации.

Результаты асимптотического анализа, проведенного в первой главе, показали, что удержание неособых слагаемых в асимптотическом представлении Уильямса позволяет не только расширить область вокруг вершины трещины, в которой справедливо разложение Уильямса, для получения информации при реализации экспериментальных методов, но и более аккуратно и обоснованно подойти к выбору численных результатов из расчетов, проведенных методом

конечных элементов, и узлов вокруг вершины трещины в конечно-элементной модели. Автором проведен широкомасштабный конечно-элементный анализ, в рамках которого были вычислены коэффициенты асимптотического ряда Уильямса слагаемых высшего порядка для серии конфигураций с дефектами с помощью переопределенного метода.

На основе серии конечно-элементных расчетов Жаббаровым Р.М. получены новые аппроксимационные формулы, позволяющие вычислить масштабные коэффициенты (тарировочные функции) до пятнадцатого порядка включительно для ряда типовых конфигураций с трещинами, что позволяет оценить значения коэффициентов, не прибегая вновь к конечно-элементному анализу.

Нельзя не отметить перспективную методику оценки скорости усталостного роста трещины, являющейся, по сути, модификацией традиционного подхода Париса-Эрдогана, но позволяющую учесть влияние слагаемых высших порядков. Предложенная автором методика на основе функции плотности энергии упругой деформации использует высшие приближения ряда Уильямса, что значительно повышает точность результатов.

Достоверность выводов и предложений соискателя не вызывает сомнений. Автором использованы классические математические методы механики сплошных сред (механики хрупкого разрушения), методы теории функции комплексного переменного, метод конечных элементов. Степень достоверности результатов подтверждается сравнением значений амплитудных множителей ряда М. Уильямса, найденных теоретически, экспериментально и численно.

### **Практическая ценность результатов исследования.**

Практическая значимость диссертационной работы состоит в разработке эффективных методов решения одной из основных проблем современной механики хрупкого разрушения – задаче количественной и качественной оценки и прогнозирования поведения эксплуатационных конструкций и компонентов с дефектами – трещинами и острыми вырезами.

Разработанная автором диссертационной работы цифровая программа обработки интерференционных картин предоставляет возможность автоматического получения массива точек с наименьшей освещенностью для каждой изохроматической полосы, что значительно ускоряет сбор экспериментальных данных из интерференционной картины, полученной методом фотоупругости или другими интерференционно-оптическими методами.

Практической значимостью, несомненно, обладают полученные автором аппроксимационные формулы (тарировочные функции), позволяющие вычислить масштабные (амплитудные) коэффициенты высших слагаемых ряда Уильямса для целого ряда типовых конфигураций тел с дефектами, не прибегая к конечно-элементному моделированию.

Модифицированная методика оценки скорости роста усталостной трещины, базирующаяся на функции плотности энергии упругой деформации, позволит инженерам наиболее точно оценить надежность эксплуатационных конструкций.

#### **Вопросы и замечания.**

По содержанию диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. Из диссертации и автореферата непонятно, что представленные в первой главе графические интерпретации результатов получены автором работы. Следовало сделать на этом акцент.

2. 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 напряжённое состояние вблизи его концов.

3. – В заключение в п.3. в основных результатах 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.

Однако указанные замечания не снижают значимость диссертационной работы.

#### **Соответствие работы требованиям ВАК.**

На основании вышеизложенного, считаем, что диссертационная работа «Идентификация коэффициентов разложения М. Уильямса: теоретический подход, вычислительное обоснование и экспериментальный аспект» является логически завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеющей теоретическое и прикладное значение. Результаты, продемонстрированные в диссертационной работе, отвечают критериям научной новизны и имеют значение для развития моделей и критериев разрушения в механике деформируемого твердого тела.

Диссертация Жаббарова Р.М. соответствует направлениям исследований, указанным в пунктах паспорта специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела ВАК Министерства науки и высшего образования РФ: п. 3. «Задачи теории упругости, пластичности и ползучести»; п. 10. «Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твердых тел»; п. 13 «Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях».

Автореферат диссертации и научные публикации автора соответствуют ее содержанию, выбранной проблематике и отражают основные положения работы.

Диссертационная работа Жаббарова Рамиля Муритовича является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения расчета напряженно-деформированного состояния вокруг вершины трещины и могут быть использованы для оценки напряженно-деформированного состояния в ответственных элементах конструкций машиностроения и нефтегазовой отрасли.

Поэтому диссертационная работа Жаббарова Рамиля Муритовича, выполненная на тему «Идентификация коэффициентов разложения М. Уильямса: теоретический подход, вычислительное обоснование и экспериментальный аспект», соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Жаббаров Рамиль Муритович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв ведущей организации на диссертацию Жаббарова Рамиля Муритовича, выполненной на тему «Идентификация коэффициентов разложения М. Уильямса: теоретический подход, вычислительное обоснование и экспериментальный аспект», обсужден и утвержден на научном семинаре кафедры Строительной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)». На семинаре присутствовало 7 научно-педагогических работников. Результаты голосования за утверждение данного отзыва: «да» - 7, «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 1, от «7» ноября 2022 года.

Заведующий кафедрой Строительной механики, кандидат технических наук, доцент



Подпись *Яковов Н.И.*  
**ЗАВЕРЯЮ**  
бюджетного отдела НГАСУ (Сибстрин)  
Яковов Н.И.

Табанюхова  
Марина Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», 630008, Новосибирская область, город Новосибирск, улица Ленинградская, дом 113.

Тел.: (383) 266-81-51, E-mail: [a.danilenko@sibstrin.ru](mailto:a.danilenko@sibstrin.ru)