

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Ростовский государственный
университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

д.т.н., профессор А.Н. Гуда



2025 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации – Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Ростовский
государственный университет путей сообщения»
на диссертацию Уафа Самира Башировича
«Фундаментальные исследования механики трещин нового
типа в проблемах машиностроения и наук о Земле»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.8. Механика деформируемого твердого тела**

1. Актуальность избранной темы.

Диссертационная работа Уафа Самира Башировича «Фундаментальные исследования механики трещин нового типа в проблемах машиностроения и наук о Земле» посвящена разработке и развитию фундаментальных методов исследования трещин нового типа, которые являются дополнением к трещинам Гриффитса и служат основным инструментом, определяющим прочность и разрушение в инженерной практике. В основе данного исследования лежит метод блочного элемента при решении смешанных задач теории упругости для неклассических областей, благодаря которому появилась возможность исследования, с точки зрения единства подхода, граничных задач практически в любых областях, поскольку любой объект или конструкцию можно рассматривать как некоторую реальную либо виртуальную блочную структуру. Отметим, что актуальность темы диссертационного исследования продиктована потребностями инженерной практики, поскольку прочность и надежность изделий машиностроения, космической и авиационной отраслей, строительства, элементной базы электроники и иных направлений технического прогресса требуют разработки новых методов мониторинга. К числу таких методов относятся способы отслеживания появления дефектов разных типов в изделиях, в основе которых лежат фундаментальные знания о теории их возникновения и дальнейшего поведения. Одним из видов таких

дефектов являются трещины различных типов. Наименее исследованными являются трещины нового типа, недавно описанные и еще мало изученные. В этой связи актуальность темы диссертационной работы Уафа Самира Башировича «Фундаментальные исследования механики трещин нового типа в проблемах машиностроения и наук о Земле» является новой и актуальной, не вызывающей сомнений. Также актуальность диссертационного исследования подтверждает и тот факт, что основные результаты диссертации получены в рамках ряда грантов РФФИ, РНФ.

2. Анализ содержания диссертации.

Диссертация Уафа Самира Башировича общим объемом 121 страницы, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 95 источников.

Во введении дан хорошо структурированный обзор современного состояния изучаемой проблемы, дан анализ проблем и достижений в области теории прочности и разрушения. Дан глубокий анализ трещин Гриффитса. Описана область применимости этой модели трещины, также указано, что ряд областей, например, сейсмология, при использовании такой модели приводит к некорректным результатам.

В *первой главе* дается углубленный анализ трещин Гриффитса, полостей с гладкой границей, которые безуспешно пытались связать в сейсмологии с проблемой прогноза землетрясений. Показано, что именно подключение методов современной механики, теории прочности и разрушения позволили приблизиться к решению прогноза одного типа землетрясений. Здесь рассмотрена задача сближения литосферных плит торцами. Численный метод оказался не в состоянии детально исследовать зону сближения литосферных плит (разлом, образуемый торцами плит), установить параметры, вносящие наибольший вклад в формирование напряженного состояния при контактном взаимодействии литосферных плит. И только метод блочного элемента позволил обнаружить новый процесс разрушения среды за счет возникновения сингулярных концентраций контактных напряжений. Установлено, что такая особенность напряженного состояния вследствие сближения плит, но еще не взаимодействия их торцов, приводит к разрушению как основания, так и углов плит. Отметим, что именно разлом сблизившихся литосферных плит является прообразом трещин нового типа, которые формируются по модели Гриффитса, но в предположении замены эллипса прямоугольником, сжимаемым с боков. Также здесь полно представлен и обзор по методу блочного элемента, как метода идентификации трещин нового типа. В последующих главах диссертации показано его применение к конкретным задачам.

Заметим, что литосферные плиты в данной работе были рассмотрены как в рамках пластин Кирхгофа, так и в рамках описания уравнениями Ламе. На примере пространственной антиплоской граничной задачи теории упругости для трех блоков исследован характер концентрации напряжений в областях сближения всех блоков на основании метода блочного элемента. При этом, считается, что блочная структура представляет собой две деформируемые литосферные плиты и деформируемое основание. Трещина нового типа возникает при сближении плит. Доказано, что и в этом случае возникающая трещина нового типа, при сближении литосферных плит имеет такую же концентрацию контактных напряжений, как и в

случае пластин Кирхгофа. Здесь и далее метод блочного элемента сводит исследуемые в диссертационной работе проблемы к изучению системы функциональных уравнений, позволяющих выявить концентрацию напряжений в блочной структуре. Отметим, что одним из важных результатов главы – получение разложения концентрации контактных напряжений по типам возникающих особенностей и отвечающих им подвижек поверхности. Это сингулярная, логарифмическая и ступенчатая функция. Подвижки поверхности Земли, вычисленные теоретически соответственно типам концентраций, дают формы ступенчатого скачка, излома поверхности до образования угла и гладкого волнообразного искривления поверхности. Все эти типы поверхностных проявлений, предсказанных в рамках предложенной теории, были обнаружены в эпицентрах произошедших землетрясений, что является ее практическим подтверждением.

Развитие изложенных в первой главе подходов и результатов дано во *второй главе*, как решение проблемы машиностроения, связанной с изучением напряженного состояния подшипниковой пары с целью поиска сингулярности контактных напряжений. Так, первый пункт второй главы посвящен исследованию процесса возникновения трещины нового типа в подшипниковой паре. Рассматривается граничная задача для полупространства, на котором имеется покрытие с дефектом (трещина, перпендикулярная границе покрытия). Такая постановка обусловлена тем фактом, что обойма, покрытая износостойким материалом, является областью наиболее подверженной образованию дефектов в виде трещин. Малость относительного характерного размера трещины позволило автору рассмотреть задачу теории упругости для двухслойного полупространства с дефектом в виде трещины нового типа, перпендикулярной границе покрытия. Рассмотрена задача, где покрытие моделируется двумя полубесконечными пластинами Кирхгофа в форме полуплоскостей с различными механическими свойствами, границы которых параллельны и находятся на некотором расстоянии друг от друга, лежащими на деформируемом основании. К поверхности пластин приложена статическая нагрузка, при этом одна из пластин контактирует с основанием без трения, а другая – с пренебрежимо малым вертикальным воздействием по сравнению с касательными контактными напряжениями. В этом случае метод блочного элемента имеет матричное представление, а его построение потребовало применения метода факторизации матрицы-функции, предложенного академиком Бабешко В.А.

В результате построенного решения определена концентрация контактных напряжений и коэффициенты при особенностях, что позволяет, при заданных механических свойствах среды, делать заключение о режиме эксплуатации исследуемого объекта. Здесь же показано, что полученный результат можно расширить и применить к исследованию субдукционного процесса.

Во втором параграфе главы, предложенные в данной работе подходы расширяются и рассматривается модель подшипника в рамках первоначальной постановки с усложненными граничными условиями при учете наличия между подшипником и обоймой жидкого смазочного слоя. С целью исследования локальных свойств подшипника в окрестности дефекта основание обоймы

рассматривается в форме деформируемого слоя с дефектным покрытием, содержащим сверху тонкий слой идеальной несжимаемой жидкости. Слой идеальной жидкости и пластины испытывает внешнюю гармоническую нагрузку, покрытие жестко соединено с основанием, однако касательными силами в контакте с основанием можно пренебречь, поскольку смазка моделируется идеальной жидкостью. В этом случае в рамках метода блочного элемента представленная структура описывается четырьмя блоками – деформируемый слой, две полубесконечные пластины Кирхгофа, между торцами которых может отсутствовать или присутствовать некоторое расстояние, и слой жидкости. В результате исследований доказано, что появление дефекта в виде трещины нового типа у основания покрытия с обоймой можно визуально наблюдать по таким параметрам, как образование на поверхности покрытия ступенчатой подвижки, излома поверхности или появление волнистой деформации.

В *третьей главе* рассмотрена задача о применении теории трещин нового типа в проблеме оценки динамики предоползневой массы при возникновении опасности оползня в связи с образованием дефекта во внешнем покрытии при наличии водонасыщенного подповерхностного слоя. Рассматривается трехмерная граничная задача Неймана для уравнения Гельмгольца, для которой методом блочного элемента строятся решения для произвольных граничных условий. В этом случае рассматривается трехблочная структура, моделирующая слой водонасыщенной массы, вертикальную и горизонтальную упругие границы. В горизонтальной граничной пластине образуется трещина нового типа, причем разных размеров – конечная и полубесконечная. Решение строится в интегральном виде в клиновидной области. В результате анализа полученных решений доказано, что чем ближе берега трещины, тем интенсивнее она будет развиваться, достигая большего расстояния между берегами. Во втором параграфе изучен вопрос поведения блочной структуры в случае большой удаленности берегов трещины. Показано, что в этом случае при вибрации будут возникать дискретные резонансные частоты, предсказанные в работах И.И. Воровича. В этом же параграфе излагается способ решения методом блочного элемента граничных задач для материалов сложных реологий.

Таким образом, в диссертации выполнены глубокие фундаментальные исследования трещин нового типа. На основании предложенных в диссертационной работе подходов можно на ранних этапах оценить напряженное состояние элементов конструкций, идентифицировать скрытое образование в объектах трещин нового типа. Это хорошо иллюстрируют рассмотренные разнообразные граничные задачи при сочетании различных, по материальным свойствам, блочных структур изучаемых реальных объектов в областях машиностроения, сейсмологии, геофизики. Предложенные методы могут быть применены и в других областях.

Важно подчеркнуть, что в работе дано строгое решение задач с трещинами нового типа не имеющее аналогов, поскольку другие подходы, в том числе, численные, для рассматриваемых проблем являются не эффективными.

В *заключении* приведены выводы, отражающие результаты проведенных исследований. Положения научной новизны полностью раскрыты, цели и задачи исследования поставлены корректно, находятся в логическом единстве. Выводы и

рекомендации, как результаты исследования, являются новыми, обладают внутренней связностью, согласуются с результатами исследований других отечественных и зарубежных учёных.

3. Научная новизна результатов диссертации состоит в развитии и применении нового математического аппарата исследования граничных задач механики, физики, сейсмологии – метода блочного элемента, позволившего обнаружить новый механизм разрушения сплошной среды, отличающийся от механизма разрушения трещин Гриффитса. Этот метод позволил обнаружить новый тип трещин и изучить их свойства.

4. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обеспечивается строгим математическим аппаратом механики сплошных сред, а именно: методом блочного элемента, теории контактных задач, факторизационных методов; результаты теоретических исследований нашли подтверждение практическими примерами, подтверждающими справедливость теории и результатами исследований других авторов.

5. Практическая ценность результатов диссертации.

Трещины нового типа хорошо известны в строительстве. Существует термин «играющий» фундамент – наличие трещин в его конструкции, трещин нового типа. Важно отметить, что в сейсмологии трещины нового типа являются катализатором стартовых землетрясений. При этом, такие же процессы разрушения имеют место в материалах с треснувшими покрытиями, когда физико-механические свойства материалов и внешние воздействия формируют в контактных напряжениях сингулярные особенности. В этой связи, практическая ценность результатов диссертации состоит в возможности значительно более широкого развития и применения методов мониторинга и контроля образования трещин нового типа, и использования знаний об их влиянии на уязвимость изделий, в которых они появляются. Теория трещин нового типа позволяет по ряду признаков прогнозировать процесс возникновения дефектов типа трещин нового типа в изделиях со сложными режимами эксплуатации.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки состоит в возможности более широкого использования метода блочного элемента, позволяющего осуществлять обнаружение трещин нового типа в других направлениях исследования прочности и разрушения и иных задач.

7. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации.

К числу рекомендаций следует отнести возможность использования метода блочного элемента в граничных задачах, рассматриваемых в областях с бесконечно удаленными границами. Также, с учетом строгости постановок граничных задач и точного метода решения – метода блочного элемента предлагаемые подходы можно использовать для выявления свойств решений граничных задач, содержащих решения, с неограниченными множествами, не доступными для анализа численными методами. Отметим также, что при идентификации дефектов необходимо применить методы обнаружения именно трещин нового типа, поскольку в данной работе выявлены различия в описании условий разрушения

трещинами Гриффитса и трещинами нового типа. Так, известно, что для трещин Гриффитса разрушение определяется величиной коэффициента интенсивности напряжений при вершине трещины, тогда как в случае трещин нового типа, как установлено в данном диссертационном исследовании, разрушение происходит по причине роста концентраций напряжений, вплоть до сингулярных.

8. Публикации автора.

Результаты диссертационной работы изложены в 46 научных публикациях, из них 22 - в ведущих рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертаций; 9 статей в изданиях, индексируемых в библиографических и реферативных базах данных RSCI, Web of Science и Scopus. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

Автореферат составлен в соответствие с установленными требованиями и полностью отражает содержание диссертации.

9. Замечания по работе.

1. В конце второй и третьей глав диссертации диссертантом приведены важные замечания, однако было бы полезней привести основные выводы по главам столь обширного материала, отсутствие которых затрудняет чтение данной диссертационной работы.

2. Постановка задачи на странице 49 для двухслойной среды с трещиной нового типа рассматривает покрытие, как две пластины Кирхгофа, левая из которых контактирует с деформируемым основанием без трения, а правая – с пренебрежимо малым вертикальным воздействием по сравнению с касательными контактными напряжениями. Чем обусловлены такие граничные условия? Можно ли в рамках такой постановки рассмотреть контакт пластины с деформируемым основанием при наличии трения?

3. Было бы интересно рассмотреть влияние толщины покрытия на сингулярные составляющие контактных напряжений для задач, представленных в главе 2.

4. Можно ли распространить предложенные методы исследования для слоистых сред с анизотропными слоями?

Однако сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

10. Заключение

Диссертация Уафа Самира Башировича «Фундаментальные исследования механики трещин нового типа в проблемах машиностроения и наук о Земле» является самостоятельной, законченной, научно-квалификационной работой на актуальную тему, в которой на основании выполненных теоретических исследований изложены принципиально новые научно обоснованные решения в области механики деформируемого твердого тела, геомеханики, сейсмологии, инженерной практики.

Содержание диссертации, научная новизна и сформулированные выводы дают основание полагать, что цель исследования достигнута, а поставленные в работе задачи успешно решены.

Тел.: 8(863) 272-63-49, e-mail: up_del@rgups.ru, сайт организации: www.rgups.ru