ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Лапина Руслана Леонидовича на тему: «Расчет упругих и прочностных характеристик материалов с трещинами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформированного твердого тела

Актуальность темы диссертации. Определение упругих и прочностных характеристик материалов с трещинами важно для широкого спектра наук и промышленности начиная от материаловедения и машиностроения, заканчивая геофизикой, нефти и газа добычей. На данный момент, несмотря на большое количество работ, связанных с этой тематикой, многие вопросы об упругих и прочностных свойствах материалов с трещинами остаются открытыми. Автором диссертации рассматривается несколько задач, связанных со свойствами материалов с трещинами, в постановках ранее не освященными в литературе. Проведенные исследования выполнялись в рамках выполнения ФЦП №№ 075-15-2019-1406 (Уникальный идентификатор соглашения: RFMEFI57517X0146) и гранта Российского научного фонда № 17-79-30056, что подтверждает актуальность проведенных исследований. Также в рамках выполнения работы было получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2019664444.

Диссертация Р.Л. Лапина посвящена определению эффективных упругих и прочностных характеристик материалов с трещинами. Работа состоит из введения и двух глав. В каждой главе рассмотрено по две задачи.

09/2-157 от 11.03.2020

Во ведении изложена методика исследования, проведены обзор методов исследования и результатов по рассматриваемой теме, а также публикации автора по теме диссертации.

Первая глава посвящена определению эффективных упругих характеристик материалов с трещинами. Получены **новые результаты:** для задачи о материале со случайно расположенными трещинами при различных ориентациях рассчитаны эффективные упругие свойства для различных плотностей и ориентаций трещин. Показано, что при плотностях трещин, не превышающих 0.8, отклонение эффективного тензора податливости от ортотропного не превышает 5%. Также продемонстрировано, что направление осей ортотропии можно определять в приближении невзаимодействия трещин. При исследовании влияния перемычек между берегами трещины на эффективные упругие свойства получены зависимости отношения компонент тензора податливости от формы перемычек и расстояния между ними. Показано, что при изменении формы перемычки от плоской к колоннообразной форме отношение компонент тензора податливости меняется в несколько раз. Получены граничные значения параметра формы перемычки и расстояния между перемычками, начиная с которых эффект формы и расстояния между перемычками могут считаться независимыми.

Во второй главе рассматривались задачи, связанные с эффективными прочностными свойствами материалов с трещинами. **Новые результаты:** для задачи о квазистатическом деформировании и разрушении образца, содержащего одиночную трещину при различных видах нагружения, получены зависимости энергии упругого деформирования от ориентации трещины при инициации разрушения материала для различных типов нагружения. Предложена оценка упругой энергии при инициации разрушения трещиноватого материала в приближении невзаимодействия трещин. С использованием такой оценки показано, что добавление сдвиговой

нагрузки может уменьшать энергию, необходимую для инициации разрушения в 4 раза. Для задачи о квазистатическом росте трещины в трехслойной среде получены зависимости отношения длины трещины к её высоте от объема трещины (в случае различных отношений величин модулей Юнга слоев, прочностей слоев, а также при различных сжимающих напряжениях). Выявлен диапазон значений параметров слоев, при которых отношение длины трещины к её высоте в процессе роста трещины остается постоянным (стр. 96, 98, 99).

Практическая значимость. Результаты, полученные в рамках данного диссертационного исследования, используются промышленными компаниями при решении различных задач. В частности, результаты главы 1, связанные с определением упругих модулей, используются компанией ООО «Газпромнефть НТЦ» при интерпретации экспериментальных данных по определению упругих свойств трещиноватых материалов. Результаты главы 2, о влиянии типа нагружения на инициацию процесса разрушения применяются в НПК "Механобр-Техника" при проектировании оборудования для дезинтеграции горных пород, содержащих полезные ископаемые. Результаты исследований отображены в отчетных документах по договорам:

- Договор о софинансировании и дальнейшем использовании результатов прикладных научных исследований № СТО-092/17Р от 19.10.2017 г., тема: "Разработка прикладных программных средств для планирования и контроля операции гидравлического разрыва пласта с целью повышения эффективности нефтегазодобычи"
- Договор №СТО-087/15Р от «21» декабря 2015 г., тема: "Разработка математических моделей, программных средств и демонстрационных стендов для описания процесса гидроразрыва пласта"
- Договор № СТО-021/17Р от 24.05.2017 г., тема: "Разработка математических моделей, программных средств по решению задачи Aspect Ratio в квазистационарной постановке: учет влияния неоднородности

напряжений, упругих модулей, трещиностойкости по вертикали (3 слоя) на геометрию трещины ГРП и исследование влияния вариации коэффициента Пуассона на траекторию трещин МГРП с помощью метода динамики частиц"

- Договор №1/17-75-30056 от 04.04.2018 г., тема: "Исследование влияния характера нагружения на энергозатраты при разрушении горных пород"
- РФФИ № 16-29-15121, Разработка математических моделей и программных средств для моделирования керна методами молекулярной динамики с использованием супер-ЭВМ, 2016-2018гг.

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами сопоставления с данными расчетов, полученных с использованием других апробированных физических моделей. Продемонстрирована численная сходимость используемых методов (стр. 35, стр. 68). Сравнение результатов, полученных в ходе расчетов по разработанной методике, показывает их малое отличие от аналитических решений (стр. 35, стр. 52, стр. 93) и от результатов, полученных при применении других численных методов (стр. 44-45, стр. 87).

Несмотря на полученные новые результаты и несомненные достоинства работы, по тексту диссертации имеются следующие **замечания и пожелания:**

1) Для использованной плотности трещин, равенство (1), не очевидны свойства трещиноватого материала при значениях $\rho = 1$ и $\rho \gg 1$.
2) Не рассмотрено влияние кончика трещины и зоны пластических деформаций на полученные результаты. Это было бы перспективным дальнейшим направлением исследований.
3) При исследовании влияния перемычек между берегами трещины на компоненты тензора податливости требуется более подробный переход к рассмотрению одной перемычки.

4) При решении задачи об инициации разрушения материала с трещиной следует провести анализ влияния размеров трещины на полученные результаты.
5) Несмотря на то, что работа написана достаточно ясным и хорошим литературным языком в тексте содержится ряд опечаток и стилистических ошибок. Так, например, на стр.36 имеется следующий текст «В качестве характеристикой трещиноватости …», «Ориентация трещины зависит рассматриваемой постановки. » .

Сделанные замечания не снижают значения работы для теории и практики.

Диссертация Лапина Руслана Леонидовича на тему: «Расчет упругих и прочностных характеристик материалов с трещинами» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Лапин Руслан Леонидович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор технических наук, профессор,

Профессор Высшей школы механики и процессов управления

Мельников Б.Е.

Дата

Подпись Мельникова Б.Е.
УДОСТОВЕРЯЮ
Ведущий специалист
по кадрам. Чернова А.А.
«20» 03 2020 г.