

В диссертационный совет Д 212.232.30  
на базе Санкт-Петербургского  
государственного университета

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Вакаевой Александры Борисовны  
«Исследование почти круговых дефектов в твердом теле на макро- и наномасштабном  
уровне»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертация Вакаевой Александры Борисовны посвящена развитию моделей механики деформируемого тела, в частности механики композитных материалов

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 104 страницы в формате машинописного текста с 30 рисунками и 4 таблицами. Список литературы содержит 73 наименования.

Исследование влияния геометрических и физических параметров на напряженное состояние твердых тел позволит оценить долговечность при разработке элементов конструкций в заданных условиях эксплуатации, а также составить прогноз поведения материала в интересующих условиях. Этим обусловлена актуальность работы.

Сформулированные в диссертации научные положения обоснованы. Достоверность основных положений диссертации определяется использованием строгих математических подходов, соответствием полученных решений экспериментальным данным и результатам других авторов.

Новизна работы, в первую очередь состоит в том, что для задачи об упругом теле с почти круговым дефектом разработан метод возмущений, позволяющий получить решение в любом приближении и оценить влияние отклонения формы дефекта от круговой на напряженно-деформированное состояние, а также проанализирован масштабный эффект.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта обусловлена тем, что построенные аналитические решения для упругих тел с дефектами позволяют формулировать и решать широкий класс задач, связанных с определением напряженного состояния тела при различных видах нагружения. Потребность в решении этих задач возникает при проектировании и эксплуатации приборов микро- и оптоэлектроники с улучшенными рабочими характеристиками. Изучив влияние рассмотренных параметров на концентрацию напряжений, можно оценить прочность и надежность изделий, содержащих наноразмерные элементы.

К сильным сторонам диссертации следует отнести

- развитие аналитических методов и их приложение к решению конкретных задач – достаточно нового класса задач, связанных с исследованием поверхностных явлений в твердых телах.
- анализ случаев, соответствующих не только положительным, но и отрицательным поверхностным модулям.

По диссертации имеются замечания:

1. В работе в качестве сравнений берутся результаты конечноэлементного счета по программе ANSYS, хотя погрешность результатов расчета по программам данного типа всегда присутствует, более того, она обычно недооценивается. Было бы уместнее в качестве эталона для сравнения выбирать случаи, пусть и простые, для которых доступны точные аналитические решения. Выбором решений, полученных методом конечных элементов, в качестве эталона для сравнения автор умаляет свои достижения – нет никакой гарантии, что различия вызваны неточностью предлагаемых методов, а не погрешностям, присущим МКЭ (что представляется, по меньшей мере, не менее вероятным).
2. На стр 32 говорится: “Рассматривались различные варианты размеров, и в ходе анализа было получено, что для достижения сеточной сходимости результатов метода конечных элементов к аналитическому решению, размер пластины должен быть в пять и более раз больше размера отверстия.” - но размер можно оценить исходя из убывания поля напряжений от отверстия как квадрат расстояния –  $1/5$  во второй степени даст  $1/25$ , т.е. погрешность может доходить до нескольких процентов. На стр 69, при рассмотрении другой задачи уже говориться “в 20 раз” - это, похоже больше соответствует действительности. Не ясно какие же размеры принимались автором.
3. Там же “В задаче об упругом теле с отверстием, близким к круговому, при рассмотрении различных вариантов разбиений было получено, что для достижения результатов с минимальной погрешностью требуется использовать равномерную сетку.” - не ясно, из чего следует – не лучше ли детализацию вблизи концентраторов, именно такие сетки, по-видимому, использованы автором во втором случае.
4. На стр 12 говорится: “наличие включения снижает концентрацию напряжений в матрице по сравнению с отверстием” - вывод достаточно очевиден, отверстие может рассматриваться как включение с нулевым модулем, что будет более сильным концентратором по сравнению с включением любого малого, но конечного модуля. Возникает вопрос: а не возрастают ли концентрации с увеличением модуля (большего, чем рассматриваемого троекратного)?
5. В обзоре, на стр 15 говорится: “В рамках поверхностной теории упругости Гертина – Мердока, изучен ряд классических задач ... например [49–56]” - это не совсем верно: не во всех указанных работах поверхностная упругость рассматривалась в рамках модели Гертина – Мердока.

6. В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки и стилистические погрешности, например:

- на стр 9 автореферата введены формулы, где фигурирует величина  $n$ , которая не определена (хотя и интуитивно понятна);
- на стр 11 автореферата и на стр 39 диссертации фраза: “Согласно работе М. А. Грекова, напряжения и перемещения в каждой области  $\Omega_k$  ( $k = 1, 2$ ) выражаются через четыре голоморфные функции  $\Phi_k(z)$  и  $Y_k(z)$ ” - неоднозначна, можно подумать, что функций 8, когда их 4.
- на стр 73 проводится сравнение численного и аналитического решения, а вывод делается о масштабном эффекте.

Указанные замечания в целом носят уточняющий или редакционный характер и не влияют на положительную оценку диссертации Вакаевой Александры Борисовны. Работа является законченным исследованием, выполнена на высоком научном уровне и содержит результаты, вносящие существенный вклад в механику неоднородных (композитных) материалов. Результаты работы могут быть использованы при разработке новых материалов.

Автореферат дает ясное представление о постановке исследования и основных результатах. Основные результаты апробированы и опубликованы, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК.

Диссертация Вакаевой Александры Борисовны «Исследование почти круговых дефектов в твердом теле на макро- и наномасштабном уровне» удовлетворяет всем требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела». Вакаева Александра Борисовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент  
В.н.с. лаборатории Геомеханики ИПМех РАН  
д.ф.-м.н., доцент



К.Б. Устинов  
20 апреля 2018 г

Подпись К.Б. Устинова заверяю  
Ученый секретарь ИПМех РАН  
к. ф.-м. н.

Сысоева Е.Я.