



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

ул. Молодогвардейская, 244,
гл. корпус, г. Самара, 443100
Тел.: (846) 278-43-11, факс (846)
278-44-00
E-mail: rector@samgtu.ru
ОКПО 02068396, ОГРН
1026301167683,
ИНН 6315800040, КПП 631601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор по научной
работе ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический
университет»,

доктор технических наук, профессор

М.В. Ненашев



«21» ноября 2022 г.

№ _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Фукалова Антона Александровича
«Задачи о равновесии упругих трансверсально-изотропных
центрально-симметричных тел:
аналитические решения и их приложения»,
представленную в диссертационный совет Д 004.036.01,
созданный на базе федерального государственного бюджетного
учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук
(филиал – Институт механики сплошных сред
Уральского отделения Российской академии наук),
к публичной защите на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

На отзыв представлена диссертационная работа и автореферат. При подготовке отзыва были рассмотрены работы автора, опубликованные в открытых научных изданиях. Основное содержание диссертации нашло отражение в данных работах.

1. Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит введение, три главы, заключение, список литературы из 125 источников, изложена на 112 страницах (включая библиографический список), содержит 19 рисунков и 2 таблицы. Изложение материала четко подчинено раскрытию поставленных целей и задач исследования.

2. Актуальность исследования. С теоретических позиций механики деформированного твёрдого тела построение аналитических решений для пространственных краевых задач упругих массивных трансверсально-изотропных центрально-симметричных тел с учётом гравитационной составляющей и в настоящее время является востребованной задачей, несмотря на «засилие» численных методов вычислительной математики с использованием (в режиме пользователя!) многочисленных программных комплексов в подавляющем большинстве научных исследований. Поэтому проблематику рецензируемого научного исследования можно трактовать как одну из фундаментальных научных проблем направления «Математика и механика», в том числе и специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела.

С другой стороны, имеется большой «спрос» на решение такого рода задач в прикладных областях промышленности, строительстве, геологии, на предприятиях аэрокосмического и нефте-газо-химических комплексов, атомной промышленности, где используются, в том числе, массивные толстостенные сферы, изготавливаемые из анизотропных материалов, зачастую, с послойным наращиванием толщины стенки резервуаров, весом которых пренебрегать нельзя. Во многих случаях такого рода конструкций являются уникальными и предназначены для длительного хранения и транспортировки высокоагрессивных, реакционно-способных твёрдых и жидких тел, отработанных компонентов в атомной промышленности и др. Без решения такого рода задач трудно представить функционирование сферических горных выработок и других конструкций и сооружений ответственного назначения, находящихся в условиях внутреннего и/или внешнего давления и собственного веса. Таким образом, математические проблемы определения напряжённо-деформированного состояния «тяжёлых» сферических элементов конструкций из упругих трансверсально-изотропных материалов и с фундаментальных позиций, и с точки зрения их прикладного значения в различных областях хозяйственной деятельности – безусловно актуальная и востребованная тематика исследований.

3.Научная новизна и наиболее важные результаты.

К научной новизне рецензируемой работы в фундаментальном разрезе с точки зрения механики деформируемого твёрдого тела можно отнести постановки и решение ряда новых краевых задач для сферических центрально-симметричных тел с трансверсально-изотропными упругими свойствами материала в поле механических нагрузок с учётом собственного веса. Отличительной особенностью результатов исследования является использование полей напряжений и деформаций, полученных в аналитическом виде, для построения независимых инвариантов тензора напряжений J^1 , $J^{\prime\prime}$, $J^{\prime\prime\prime}$ и J^4 , введённых в монографии: «Механика композитных материалов. Б.Е. Победря, 1984г.», которые инвариантны относительно ортогональных преобразований, допустимых над сферически трансверсально-изотропным однородным телом.

Такой подход исследования позволил не только построить аналитические решения в каждой рассмотренной задаче (а это является важным новым самостоятельным результатом), но сразу исследовать и вопросы прочности, и классифицировать механизмы разрушения, естественно, в предположении, что материалы элементов конструкций разрушаются хрупко в упругой области. В частности, в решённых задачах сформулированы условия возможного разрушения по различным механизмам от растяжения/сжатия в окружном и меридиональном направлениях или в направлении радиальной координаты (использовались инварианты J^1 и $J^{\prime\prime}$) или от сдвига по поверхности изотропии или межслойного антиплоского сдвига (инварианты $J^{\prime\prime\prime}$ и J^4).

Перечислять все решённые аналитически новые краевые задачи в отзыве смысла нет, поскольку они приведены в первых двух пунктах научной новизны в автореферате и диссертации и с ними вполне можно согласиться, т.е. это имеет место быть.

Отдельно хотелось бы прокомментировать прикладные вопросы использования полученных решений и их анализ.

Отметим детальный анализ (пункт 2.4 диссертации) влияния параметров анизотропии и массовых сил на закономерности напряжённо-деформированного состояния монолитных крепей сферических горных выработок и многокритериальную оценку их прочности с использованием четырёх инвариантов напряжённого состояния на основе полученных аналитических решений для полых и составных трансверсально-изотропных сферических элементов конструкций.

Совершенно неожиданное (и красивое) приложение построенных аналитических решений приведено в главе 3 применительно к теории

композитных материалов, где получены выражения для эффективных модулей объёмного сжатия двухфазных дисперсно-упрочнённых композитов с однородно распределёнными трансверсально-изотропными сплошными или полыми сферическими включениями в изотропной матрице (пункт 3.3). Соискателем получен интересный результат, что учёт анизотропии деформационных свойств материала наполнителя позволяет описать экспериментальные данные зависимости модулей объёмного сжатия полиэфирной смолы Диэпокс450 от объёмного наполнения мраморной мукой на основе аналитической формулы (3.22), полученной с использованием решений для составных сферических тел, лучше, чем для известного модельного представления «жёстких включений» (графики на рис. 3.4). Соискатель дал и грамотное пояснение отклонения аналитического решения от экспериментальных данных при высоких объёмных наполнениях включений (возрастает степень взаимодействия в ансамбле включений), т.е. фактически сформулировал область ограничений применимости построенных аналитических решений в данной задаче.

Отметим ещё один положительный «штрих» в работе. В главе 3 выполнено исследование влияния анизотропии упругого материала на напряжённо-деформируемого состояния (НДС) сферических сосудов в чистом виде без учёта массовых сил, что также представляет самостоятельный интерес. В литературе много исследований (в подавляющем большинстве численными методами) в этом направлении, когда чисто формально варьируются параметры материала, не задумываясь о том, возможна ли та или иная комбинация значений в реальных материалах. В рецензируемой же работе это сделано грамотно, с учётом того, что деформационные свойства материала должны удовлетворять условию положительности собственных значений оператора упругости (стр. 78), т.е. использованные в диссертации вариации упругих свойств имеют вполне определённый физический смысл. Это замечание ещё раз подчёркивает высокую научную квалификацию соискателя.

Внимательное прочтение диссертации позволяет сделать обоснованный вывод о том, что все позиции пунктов «Научная новизна» и «Положения, выносимые на защиту» имеют место быть и с ним просто можно согласиться, не перечисляя их в отзыве.

4. Теоретическая и практическая ценность работы.

Теоретическая значимость исследований состоит в том, что впервые решён ряд новых краевых задач для центрально-симметричных сферических элементов конструкций, осложнённых наличием трансверсально-изотропных упругих свойств материалов и учётом массовых (гравитационных) сил.

Построенные решения для пространственного НДС позволяют применять весь математический аппарат непрерывной математики, включая параметрический анализ задачи, исследование оптимизационных задач и т.д. Другими словами, аналитические решения – это компактное полное представление о напряжённо-деформированном состоянии элемента конструкции (в отличие от численных решений).

Что касается прикладного спектра использования результатов, то это подробно изложено в пункте 2 (актуальность работы) настоящего отзыва, поэтому нет необходимости ещё раз это повторять.

5. Соответствие паспорту научной специальности.

С нашей точки зрения рассматриваемая диссертация соответствует основным областям исследования специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела по следующим направлениям:

1. Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости.
2. Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов.
3. Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твёрдых тел.
4. Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях.

6. Апробация работы и полнота опубликованных результатов.

Основные положения рецензируемой работы в достаточной мере опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, включая публикации в журналах из перечня ВАК Минобрнауки и в изданиях из баз данных Web of Science и Scopus, материалах внушительного ряда Международных и Всероссийских научных конференций. Кроме публикаций в рецензируемых периодических изданиях, соискатель опубликовал (в соавторстве) монографию. Диссертационные исследования выполнялись в рамках двух проектов по Государственному заданию Минобразования РФ и 9(!) проектов в рамках Российского Фонда Фундаментальных Исследований, где проводится достаточно жёсткое рецензирование при оценке заявок. В одном из этих проектов соискатель является руководителем. Результаты диссертационной работы докладывались на ряде профильных научных семинаров в ведущих университетах Российской Федерации и институтах РАН. Поэтому считаем, что рецензируемая диссертационная работа в достаточной мере опубликована и апробирована.

7. Диссертация и автореферат написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает постановку, методы и результаты решения рассмотренных задач. Автореферат в целом отражает содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата в основном соответствует существующим требованиям. Особо хочется отметить хороший литературный и технический язык изложения материалов исследований в диссертации, что, к сожалению, в последнее время является редкостью.

8. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Приведённые в диссертации теоретические результаты получены на основе корректного применения математического аппарата механики деформируемого твёрдого тела, методов решения краевых задач уравнений математической физики, известных и апробированных методов для расчёта упругих модулей дисперсно-упрочнённых композитных материалов.

Достоверность положений и результатов диссертации подтверждается сравнением построенных соискателем аналитических решений с аналитическими, численными и экспериментальными результатами из независимых научных источников в частных случаях, а также выполненным соискателем сравнением оценки НДС по полученным аналитическим решениям с численными решениями, полученными с использованием метода конечных элементов в частных случаях.

Полученные результаты не противоречат известным результатам в частных случаях и в определённой мере обобщают теоретические результаты, полученные ранее другими авторами.

9. Рекомендации по использованию результатов работы.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на стадии проектирования в организациях, занимающихся расчётами напряжённо-деформированного состояния для различного назначения сферических (полых и составных) резервуаров давления для хранения и транспортировки особо опасных с точки зрения техногенных катастроф жидких и твёрдых сред, например, в нефтехимии, газовой и атомной промышленности и т.д., а также в строительной отрасли при оценке прочности монолитных крепей горных выработок. Конкретно, можно рекомендовать к использованию результаты в Пермском национальном исследовательском политехническом университете, Тульском государственном университете, Уральском Федеральном университете именно первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Московском государственном строительном

университете, Институте Механики МГУ и других учебных заведениях, имеющих профильные факультеты/институты по данной тематике, а также в Институте механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» (г. Москва), ООО «Рембетон» (г. Москва), ПАО «Уралхиммаш» (г. Екатеринбург), Государственной корпорации «Росатом» (г. Москва), ПАО «Газпром» (г. Москва), «НИПИ газпромпереработка» (г. Москва) и многих других научных и научно-исследовательских организациях, занимающихся родственными проблемами.

10. Замечания по содержанию и оформлению работы. Недостатков, ставящих под сомнение справедливость какого-либо результата, в диссертации не обнаружено. Тем не менее, замечания по диссертационной работе А.А. Фукалова можно классифицировать как по оформлению диссертации, так и по существу работы.

1. В диссертации отсутствует самостоятельный раздел «Аналитический обзор», а дан лишь краткий перечень работ предшественников в разделе «Введение» в пункте «Актуальность и степень разработанности темы» без чёткого критического анализа результатов, полученных в этих работах. В связи с этим нет чёткого логического обоснования перехода к постановке задач диссертационного исследования на основе анализа недостатков или неполноты решённой проблемы работ предшественников. Хотя в «рабочей» части диссертации фрагментарно это сделано.

2. Список литературы оформлен не по алфавиту, а по мере поступления ссылки на ту или иную работу, причём публикации на русском и английском языках идут вперемежку. Это представляет определённое неудобство, когда необходимо выяснить информацию о наличии научной работы того или иного автора, приходится просматривать весь список. Далее, каждая глава должна содержать вначале перечень публикаций соискателя, в соответствии с которыми изложен материал этой главы.

Считаем также, что в списке литературы в избыточном количестве приведены публикации соискателя (№ 68-116), 48 публикаций из 125 по списку (!). Второстепенные публикации (тезисы, сообщения и т.д.) можно было и не приводить.

3. Нет пояснений, чем обусловлен выбор в решении в виде бесконечного ряда (1.8) полиномов Лежандра. Тем более, что при построении решений краевых задач использовались лишь нулевой и первый члены разложения.

4. На стр. 50 вводится гипотеза следующего содержания: «... поверхность контакта находится на расстоянии ρ_c ... и не изменяет ... своё положение в

процессе нагружения». Другими словами, граница контакта представляет невесомую бесконечно тонкую и абсолютно жёсткую сферу. Тогда в уравнениях (2.9) для перемещений оба компонента вектора перемещений U_ρ и U_θ на границе $\rho = \rho_c$ должны равняться нулю, а не просто быть равными слева и справа от границы.

Хотя в дальнейшем краевая задача решалась именно при заданных в диссертации условиях (2.9), т.е. граница фактически деформировалась.

5. Соискатель при решении задачи численно методом конечных элементов использовал конечноэлементные пакеты ANSYS 13/0 и ABAQUS 6.11, однако в работе не указано, являются ли они лицензионными?

6. При решении задачи для упругой трансверсально-изотропной сферы численным методом (пункт 1.3) соискатель полагал, что внутреннее давление $p = 0$, в то время как аналитическое решение (пункт 1.2) построено, когда $p \neq 0$. Почему не рассмотрен более общий случай в пункте 1.3 при $p \neq 0$, не поясняется.

7. Имеются в незначительном количестве опечатки, использования пунктуации и неточности в тексте работы (например, стр. 23, 40, 50 (гипотеза о $\rho_c = const$), 51).

Разумеется, отмеченные недостатки носят частный характер и ни в коей мере не влияют на общую положительную оценку работы А.А. Фукалова.

11. Заключение по диссертации. Оценивая работу в целом, считаем, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Совокупность выполненных научных исследований можно классифицировать как решение новых краевых задач исследования напряжённо-деформированного состояния для упругих трансверсально-изотропных центрально-симметричных тел с учётом массовых гравитационных сил и их приложений в различных отраслях промышленности.

Полученные результаты достоверны, выводы и умозаключения обоснованы. Работа базируется на достаточном объеме полученных теоретических результатов и вносит существенный вклад в решение теоретических и прикладных вопросов специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Исходя из вышеизложенного, считаем, что диссертационная работа Фукалова Антона Александровича соответствует специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, имеет важное научное и прикладное значение, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 года (в редакции от 07.07.2021 года), а её автор – Фукалов Антон Александрович – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» под председательством заведующего кафедрой, д.ф.-м.н., профессора В.П. Радченко

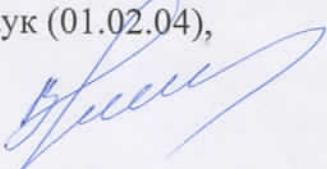
Присутствовало – 25 человек.

Результаты голосования: «за» – 25 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол №4 от 17 ноября 2022 г.

Отзыв подготовлен:

заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»,
доктор физико-математических наук (01.02.04),
профессор


Радченко Владимир
Павлович

17 ноября 2022г.

Служебный телефон:
8(846)3370443, 8(846)2423573
E-mail: radchenko.vp@samgtu.ru

Служебный адрес:
443100, г. Самара
ул. Молодогвардейская ,244,
Главный корпус СамГТУ,
кафедра «Прикладная математика и
информатика»

Подпись Владимира Павловича Радченко
заверяю,
учёный секретарь ФГБОУ ВО
«Самарский государственный
технический университет»,
доктор технических наук,



Малиновская Ю.А.