

ФАНО России
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИМАШ УрО РАН)

Комсомольская ул., 34, г. Екатеринбург, 620049
Тел.: (343) 374-47-25, факс: (343) 374-53-30
E-mail: ges@imach.uran.ru; http://www.imach.uran.ru
ОКПО 04538044, ОГРН 1036603482992
ИНН/КПП 6660005260/667001001

29.09.2017 № 16347/02-3479-113

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Институт
машиноведения УрО РАН

С.В. Смирнов



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Димаки Андрея Викторовича «Нелинейные закономерности контактного взаимодействия неметаллических материалов, обусловленные вязкостью и разрушением», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации

Контактное взаимодействие является одним из ключевых явлений, определяющих закономерности отклика широкого класса природных и технических систем, содержащих границы раздела их структурных компонентов. Сложность исследования закономерностей контактного взаимодействия связана, в том числе, с нелинейностью и пространственно-временной многомасштабностью процессов диссипация упругой энергии, запасенной в контактирующих телах. Нелинейность и взаимное влияние процессов диссипации, обусловленных различными факторами, определяют актуальность развития численных и аналитических моделей для установления обобщенных закономерностей отклика контактирующих тел, в том числе в сложных условиях нагружения.



Диссертационная работа Димаки Андрея Викторовича посвящена изучению нелинейных процессов влияния вязкости и разрушения контактно взаимодействующих деформируемых тел, изготовленных из неметаллических материалов. Рассматриваются многомасштабные процессы в случае сложного нагружения контактируемых тел, изучается возможность построения новых видов функциональных зависимостей коэффициентов трения, зависящих от вязкости флюида и учитывающих разрушение тела. Диссертация представляет собой теоретическое изыскание, которое открывает новое направление в механике деформируемого твердого тела, направленное на учет нелинейного вклада вязкости и разрушения при контактном взаимодействии физических объектов.

Структура и содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. В библиографическом списке содержится 266 ссылок на научные труды отечественных и зарубежных специалистов. В диссертации содержится 65 рисунков, 2 таблицы, а её объем 214 страниц.

Во введении автором диссертационной работы обосновывается актуальность исследования. Он достаточно подробно представил, проанализировал научные работы предшественников, чтобы дать ясное представление научному сообществу о том объеме научных знаний, который имеется в настоящее время и который позволяет утверждать, что разработанные подходы А.В. Димаки необходимы для развития нового направления в механике контактного взаимодействия. Во введении лаконично сформулирована цель диссертационной работы и научная новизна представленных к защите результатов, убедительно показана их теоретическая и практическая значимость.

В первой главе автором предлагается использовать метод редукции размерности для учета и последующего изучения каналов диссипации энергии при трибоконтакте индентора с телом. Основное внимание при рассмотрении процессов диссипации сосредоточено на учете влияния вязкости и поврежденности, возникающей при вдавливании индентора. В качестве математического аппарата используется преобразование Абеля, позволяющего свести трехмерную задачу

исследования тела вращения (параболоида) к цепочке одномерных упругих задач. Осуществлено решение задачи о распределении трения между эластомером и жестким телом, профиль поверхности которого является фракталом. Получена зависимость статического коэффициента трения вязко-упругого материала от времени фиксации, нормальной нагрузки и скорости скольжения, изучено влияние нормальной силы на коэффициент трения. Показано, что профиль поверхности эластомера слабо чувствителен к профилю жесткого контртела, что приводит к большому снижению величины коэффициента трения при определенных осцилляциях. Определена степень влияния пространственного масштаба шероховатости на коэффициент трения. Выведена формула, описывающая зависимость коэффициента трения между вязкоупругим основанием и жестким контр-телом с фрактальным рельефом поверхности от параметров нагружения и параметров рельефа поверхности, а также от физико-механических свойств материала.

Вторая глава посвящена теоретическому описанию механического отклика и разрушения пористых сред, проницаемых для жидкости или газа. Исследование деформирования методом клеточных автоматов осуществляется посредством рассмотрения сплошной среды в виде суперпозиция двух слоев, для которых используются различные способы дискретизации. Для описания механического отклика твердого каркаса совместно используются модели дилатансионной пластичности и пороупругости Био. В этом случае становится возможным учитывать разномасштабные процессы диссипации энергии в многофазной среде. Для верификации построенной модели рассмотрены несколько модельных задач по выходу жидкости и газа через проницаемый материал. Показано качественное совпадение теоретических результатов с экспериментальными наблюдениями.

В третьей главе показывается возможность использования гибридной модели, предложенной во второй главе, для изучения влияния флюида на прочностные свойства образцов, изготовленных из пористого материала. Установлено, что наличие газа в порах образцов упруго-хрупкого материала может привести к снижению прочности тел. Приведена формула, отражающая зависимость прочности образцов от давления газа для материала при одноосном напряженно-

деформированном состоянии, у которого разные значения прочности на сжатие и растяжение. При исследовании влияния жидкости в порах упруго-хрупких проницаемых образцов установлено, что прочность таких образцов определяется ростом давления жидкости в порах при сжатии или снижением давления при истечении жидкости через свободные границы. Данный эффект обнаружен при одноосном сжатии и сдвиговом нагружении образцов. Автором диссертации приведена аналитическая зависимость от параметра, имеющего размерность давления, между прочностью образцов, насыщенных жидкостью, от физико-механических параметров каркаса и вязкости жидкости, скорости нагружения, проницаемости образца и геометрических размеров.

В **заключении** диссертационной работы приведены основные результаты и сформулированы выводы.

Научная новизна.

В представленной к защите диссертации в качестве основных научных результатов можно выделить:

1. Развита модель контакта «эластомер – жесткое шероховатое контр-тело», основанная на методе редукции размерности. Данная модель позволяет оценивать значения коэффициента трения с явным учетом пространственно-временной многомасштабности взаимодействия контактирующих поверхностей и диссипации энергии в объеме вязко-упругого материала.
2. Получено обобщенное соотношение, позволившее установить связь величины коэффициента трения в контакте вязко-упругого материала и жесткого контртела с параметрами нагружения, физико-механическими параметрами материала и значением среднего наклона профиля фрактальной шероховатой поверхности.
3. Для решения задач контактного взаимодействия материалов, характеризующихся нелокальностью процессов диссипации упругой энергии, предложен гибридный подход, основанный на совместном использовании метода дискретных элементов и метода сеток. В рамках данного подхода развита модель проницаемого флюидонасыщенного материала, учитывающая

пространственные масштабы пористости от нано- до макромасштаба и внутренний массоперенос флюида под действием приложенных нагрузок.

4. Продемонстрировано определяющее влияние вязкости порового флюида и проницаемости каркаса на прочность флюидонасыщенных упруго-хрупких материалов. Построено обобщенное выражение, связывающее значение прочности упруго-хрупкого образца на одноосное сжатие с управляющей комбинацией параметров, характеризующей отношение скоростей фильтрационного переноса жидкости и изменения порового давления в результате деформации пор.
5. Предложено обобщенное выражение для сдвиговой прочности флюидонасыщенной упруго-пластической границы раздела в проницаемой блочной среде как функции скорости деформации, физико-механических свойств твердого каркаса и флюида, а также линейных размеров рассматриваемой системы.

Научная и практическая значимость работы.

Результаты автора диссертационной работы определяют современное состояние и формируют научное знание о влиянии диссипации упругой энергии, на контактное взаимодействие тел, образованное неметаллическими материалами, связанным с вязкостью и разрушением. Выведенная зависимость коэффициента трения от шероховатости рельефа поверхности контакта и нормальной нагрузки будет в дальнейшем, безусловно, являться стартовой позицией при изучении контактного взаимодействия материалов с предысторией (например, вязкоупругих, пластических) для исследований напряженно-деформированного состояния. Изыскания в диссертации открывают новые горизонты для теоретических и экспериментальных исследований процессов деформирования и разрушения блочных проницаемых сред с внутренними границами раздела. Для оценивания сил трения в контактах можно использовать полученную в работе обобщенную зависимость коэффициента трения в паре «вязко-упругий материал – шероховатое контртело с фрактальным профилем».

Достоверность и обоснованность результатов

Обеспечивается применением апробированных и хорошо зарекомендовавших себя методов математического моделирования в вычислительной механике деформируемых сред: метод конечных разностей, метод клеточных автоматов. Результаты, полученные автором, находятся в хорошем соответствии с известными в литературе данными, полученными различными методами другими учеными. Стоит отметить качественное совпадение теоретических результатов с экспериментальными наблюдениями.

Соответствие содержания диссертации специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

По своим целям, задачам, содержанию, методам проведенных исследований и научной новизне диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела:

Пункт 1. Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых;

Пункт 3. Мезомеханика многоуровневых сред со структурой.

Соответствие автореферата содержанию диссертации.

Автореферат ясно, полно и правильно отражает структуру, основные результаты и выводы диссертации.

Замечания по диссертации и автореферату.

При ознакомлении с текстом диссертации возникли следующие замечания:

1. Отсутствие, как такового отдельного раздела, посвященного аналитическому обзору публикаций по теме диссертации, затрудняет оценку обоснованности сформулированных задач исследования.
2. При использовании дискретизации сплошных сред и аппроксимации интегралов автору работы следовало бы уделить внимание оценке погрешности применяемых методов. Это позволило бы лучше прояснить физическую сущность теории для многомасштабных процессов

исследования напряженного-деформированного состояния тел при испытании их индентером.

3. Во введении указывается, что в главе 1 в рамках метода редукции будет учтена диссипация энергии, обусловленная локальным разрушением. В тексте главы обсуждение этого вопроса отсутствует. Если автор имел в виду изнашивание контактных поверхностей, то локальное разрушение является только одной из составляющих процесса изнашивания.
4. В тексте диссертации и автореферата имеется ряд опечаток и описок. Название пунктов и подпунктов текста диссертации следовало бы выравнивать по центру листа текста и отделить пустыми строками от текста. Вместо заключений к главам целесообразно формулировать выводы.
5. Имеется несколько терминологических неточностей. Например, в формуле (1.15) на стр. 32 параметр p следует называть знаменателем прогрессии, а не основанием геометрической прогрессии. Далее при получении формулы (1.16) на этой же странице используется «правило средних прямоугольников «слева»». В русскоязычной литературе по численным методам алгоритм, примененный автором к определенному интегралу, называется методом средних прямоугольников.

Отмеченные замечания не снижают высокого уровня теоретических исследований автора и не опровергают основные выводы по диссертации.

Заключение

Диссертационная работа **Андрея Викторовича Димаки «Нелинейные закономерности контактного взаимодействия неметаллических материалов, обусловленные вязкостью и разрушением»** является законченной научно-квалификационной работой, направленной на решение актуальной и перспективной проблемы механики деформируемого твердого тела, которая связана с разработкой методов адекватного описания процессов, происходящих на контактных поверхностях. Диссертация соответствует требованиям Постановления Правительства РФ 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения ученых

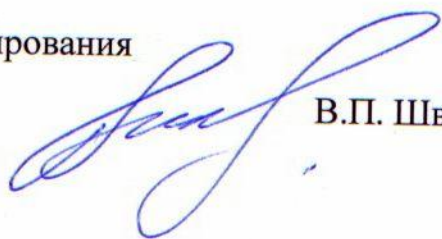
степеней» с изменениями и дополнениями №335 от 30 июля 2014 г., 21 апреля, 2 августа 2016, а ее автор достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены и единогласно одобрены на семинаре Отдела механики машин и технологий ФГБУН Институт машиноведения УрО РАН под председательством д.т.н., профессора А.В. Коновалова, протокол №6 от 29.06.2017 года.

Отзыв составил

заведующий лабораторией системного моделирования

Института машиноведения УрО РАН д.т.н.



В.П. Швейкин