

ОТЗЫВ
на автореферат диссертации Шубина Сергея Николаевича
«Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов
с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04-механика деформируемого твердого тела.

В диссертационной работе С.Н. Шубина развиваются модели механики композитных материалов применительно к эластомерным композитам для использования в уплотнительных элементах технологического оборудования, работающего при низких температурах. Актуальность и практическая значимость работы мотивирована инженерной потребностью сохранения контактного давления на уплотнительном элементе при падении температуры в условиях превышения коэффициентом термического расширения (КТЕ) эластомера коэффициента термического расширения металла.

Исследуются два пути решения этой проблемы: при длительных низкотемпературных воздействиях предлагается использовать в качестве наполнителя частицы с отрицательным коэффициентом термического расширения, а при кратковременных резких падениях температуры, происходящих, в частности, вследствие падения давления в трубе, использовать частицы – капсулы, начиненные веществом, претерпевающим при охлаждении фазовое превращение, которое сопровождается тепловыделением, задерживающим остывание уплотнителя.

В результате разработки моделей, теоретических исследований и расчетов термомеханических свойств, а также расчетов контактных давлений, показана эффективность использования предложенных выше композитов. Теоретические построения верифицирована на экспериментальных данных.

Научная новизна и значимость обусловлены постановкой и решением задач описания термомеханического поведения композитных материалов с наполнителями нового типа. Самостоятельный интерес представляет разработанный и реализованный новый алгоритм генерации стохастических композитных структур с высокими степенями наполнения частицами, позволяющий создавать и затем исследовать в численных экспериментах микроструктуры с заданными распределениями частиц по размерам и форме, а также численно исследовать влияние отслоений матрицы от включений на деформационное поведение композитов. Сравнение численных, аналитических и экспериментальных результатов и использование апробированных методов термомеханики сплошных сред свидетельствует о достоверности результатов работы.

При чтении автореферата сформировались некоторые вопросы (замечания).

1. В аналитической части главы 2 делается вывод о большей эффективности использования включений шаровой формы, так как на шаровых включениях по сравнению с разориентированными эллипсоидальными включениями легче достигается большая объемная доля. При этом обсуждаются случаи одинаковых эллипсоидальных включений. Представляет интерес узнать, как влияет на эффективные термоупругие свойства и локальные напряжения полидисперсность размеров и формы включений при условии, что полидисперсность может допускать высокие степени объемной доли включений.

2. Для частиц с отрицательным КТЕ показано влияние отслоения матрицы от частиц на деформационное поведение композита. Происходит ли отслоение частиц в композитах с частицами, претерпевающими фазовый переход и как это может повлиять на распространение тепла?

Вопросы не несут квалификационного отношения к работе. Судя по автореферату, работа представляет собой выполненное на высоком уровне современное исследование, законченное с точки зрения полученных ответов на сформулированные задачи, с хорошей логикой изложения и вносящее существенный вклад в механику композитных материалов со специальными наполнителями. Основные результаты апробированы и опубликованы в высокорейтинговых журналах. Считаю, что диссертация Шубина Сергея Николаевича «Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твёрдого тела, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Директор ИПМ ДВО РАН
академик РАН

690041 Владивосток, Радио 7
Телефон: +7 (423) 2311856
E-mail guzev@iam.dvo.ru

09.06.2018

М.А. Гузев



Подпись М.А. Гузея заслужено
Изгасев ссыпал
V.V. Курресеева
09.06.2018



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Шубина Сергея Николаевича** "Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Работа С.Н. Шубина посвящена теоретическому исследованию возможностей улучшения свойств уплотнителя соединений труб при кратковременных или длительных понижениях температуры. Эта тема, несомненно, **актуальна и практически значима** в связи с использованием таких уплотнителей в газопроводах, расположенных в зоне низких температур или испытывающих резкие охлаждения в связи с падением давления газа. Метод улучшения свойств резинового уплотнителя, основанный на добавку включений либо с отрицательным коэффициентом теплового расширения, либо включений, испытывающих фазовые превращения с выделением скрытой теплоты, является, несомненно интересным и требующим всестороннего теоретического и экспериментального изучения. В качестве вспомогательной задачи автор диссертации разработал методику построения моделей среды, содержащей случайно распределенные включения с заданными распределениями по размерам и по отклонению от шаровидной формы. Важным моментом теоретического исследования явилось определение эффективных механических и термических свойств композитов. Выполненное затем численное моделирование термомеханического поведения уплотнителей с включениями, имеющими отрицательный коэффициент температурного расширения, позволило автору сделать вывод о целесообразности применения данных материалов в уплотнительных соединениях. В другой части работы был сделан вывод об эффективности защиты уплотнителя от охрупчивания при падении температуры на поверхности. В качестве главных достижений диссертанта следует отметить построение методик расчета свойств композитов, а также анализ полученных им численных результатов.

Квалификация автора не вызывает сомнений. Он в совершенстве разбирается в методах механики деформированного твердого тела, владеет методами расчета напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Аккуратность проведения расчетов, а также сопоставление теоретических диаграмм сжатия композитов с экспериментальными обеспечивают достоверность выводов, сделанных в диссертации.

Работа хорошо апробирована, сделаны доклады на всероссийских и международных научных конференциях. Научная квалификация автора соответствует степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат написан ясным языком и хорошо иллюстрирован. По работе можно сделать следующие **замечания**.

1. Расчеты диаграмм сжатия выполнены только для случаев отсутствия адгезии и идеального сопряжения между матрицей и включениями. Диссертация выиграла бы, если бы был выполнен анализ механического поведения композита при заданной адгезионной прочности.
2. Вопреки утверждению на с. 14 по рис. 10б не видно сильного влияния температуры кристаллизации на область промерзания.
3. Имеются неразъясненные обозначения. Например, не расшифрована аббревиатура ПЭО, обозначения p , μ_r , μ_f и др. на с.10.

Сделанные замечания не изменяют общую положительную оценку работы. Она соответствует специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, и требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней. Ее автор С.Н.Шубин обладает необходимой квалификацией и заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Волков Александр Евгеньевич

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры теории упругости

Санкт-Петербургского государственного университета

198504, Россия, Санкт-Петербург, Университетский пр. д.28

a.volkov@spbu.ru



ПОКРУМЕНТ
ПОДГОТОВЛЕН
ПО ЛИЧНОЙ
ИНИЦИАТИВЕ

26.06.2018

14.06.2018
Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.htm>

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Шубина Сергея Николаевича
«Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям»
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа Шубина С. В. посвящена исследованию специального класса композиционных материалов с эллипсоидальными включениями, обладающими специальными свойствами – отрицательным коэффициентом теплового расширения или претерпевающих фазовые превращения. Постановка задачи мотивирована разработкой специальных композиционных эластомерных уплотнителей, предназначенных для работы в условиях низких температур, что актуально для эксплуатации машин и механизмов в условиях Крайнего Севера. Несмотря на то, что задачи о эллипсоидальных включениях можно считать классическими, предложенные постановки и полученные решения являются новыми, поскольку рассматриваются как большие деформации, так и фазовые превращения во включениях.

В работе Шубина рассмотрен ряд задач, связанный с моделированием таких композитов. Построены алгоритмы и реализованы программы для задания распределения включений. Предложен ряд математических моделей для композитов с включениями с отрицательным коэффициентом теплового расширения. Интересным и важным элементом работы является рассмотрение включений, претерпевающих скачкообразное изменение состояния – фазовый переход, сопровождающийся выделением скрытой теплоты кристаллизации, что может быть использовано для замедления процессов охлаждения уплотнения и связанных с этим деформаций в результате скачкообразного изменения температуры. В работе также рассмотрены конкретные примеры – деформация уплотнения из такого материала и проведены сравнения с результатами экспериментов.

Диссертация и автореферат хорошо написаны. Тем не менее, по автореферату можно сделать следующие замечания.

1. Не ясно, какова максимальная доля включений рассматривалась в работе.
2. Автор пишет, что «взаимное расположение двух эллипсоидов однозначно определяется собственными значениями». Наверное, имелись ввиду собственные векторы?
3. Не указано, какие именно модели эластомеров использовалась в работе.

Сделанные замечания, впрочем, не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Ознакомление с диссертацией и авторефератом диссертации, а также работами Шубина С. Н. позволяет сделать вывод, что диссертационная работа «Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними механизмами

адаптации к температурным воздействиям» прошла достаточную аprobацию, является **актуальным** научным исследованием, имеющим большое теоретическое и прикладное значение, содержит новые результаты, достоверность которых не вызывает сомнения, **удовлетворяет** всем требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель, Шубин Сергей, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Д. ф.-м. н., доцент

Victor Eremeev, Ph.D., D.Sc., Prof. PG,
Faculty of Civil and Environmental Engineering,
Gdansk University of Technology,
ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, POLAND
phone: +48 58 347 18 91
victor.eremeev@pg.edu.pl

В. А. Еремеев

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ I ŚRODOWISKA
Katedra Wytrzymałości Materiałów
tel. 58 347 18 91, faks 58 347 20 44
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
NIP 584-020-35-93 REGON 000001620

Еремеев Виктор Анатольевич,
ул. Орбитальная, 22/1, кв. 156, 344090, Ростов-на-Дону, тел. 89043429966,
email: eremeyev.victor@gmail.com

11.06.2018

Я, Еремеев Виктор Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

В.А. Еремеев

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шубина Сергея Николаевича
«Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними
механизмами адаптации к температурным воздействиям»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Учет нелинейности является важным требованиям к современным моделям механики сплошной среды, используемым для описания новых конструкционных, в том числе композиционных, материалов. В свою очередь, деформационные характеристики, прочностные, температурные и другие свойства таких материалов и изготовленных из них тел существенно зависят от микроструктуры. Сказанное определяется актуальность диссертации С.Н. Шубина, посвященной разработке математических моделей эластомерных композитов и анализа с их помощью целого ряда теоретически и практически значимых задач о влиянии пространственной структуры, температурных свойств и объемной доли составных частей композита на его эффективные эксплуатационные характеристики.

В диссертации проанализирован ряд задач, безусловно представляющих научный интерес. Кратко перечислим некоторые полученные результаты.

Разработан и программно реализован новый алгоритм генерирования пространственной структуры представительного объема композита, содержащего эллипсоидальные включения с заданным распределением размеров и ориентации. В различной постановке разработаны и проанализированы как аналитические, так и численные модели композитов, включения которых имеют отрицательный коэффициент температурного расширения. Представлена математическая модель, позволяющая исследовать нестационарные процессы распространения тепла и термоупругий отклик дисперсных композитов с эластомерной матрицей и включениями, претерпевающими фазовые превращения, сопровождающиеся тепловыделением. Построение всех моделей композитов завершено решением с их использованием конкретных задач об уплотнителях из таких материалов.

Следует отметить интересную особенность работы, связанную с взаимодействием вычислительных пакетов: сочетание геометрического моделирования в MATLAB с конечно-элементным анализом полученных там моделей в КЭ пакете ABAQUS.

По автореферату имеются следующие замечания.

1. Из приведенного на с. 7-8 автореферата описания алгоритма формирования микроструктуры композита с включениями эллипсоидальной формы не ясно, как работает алгоритм в случае, когда после перемещения двух эллипсоидов с целью устранения их пересечения, они начинают пересекаться с другими эллипсоидами. Предельная или максимальная объемная доля включений, допустимая данным алгоритмом, лишь упоминается, но никакой информации о ее величине или оценках не приводится.
2. Интересно было бы оценить область применимости представленной аналитической модели композита в линейном приближении на основе ее сравнения с авторскими конечно-элементными моделями микроструктуры в нелинейно-упругой постановке.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Содержание автореферата, а также перечисленный в нем список публикаций автора позволяют заключить, что диссертация Шубина С.Н. представляет выполненное на высоком уровне законченное научное исследование. Она удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор С.Н.Шубин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Директор Института математики, механики
и компьютерных наук им. И.И.Воровича
Южного федерального университета,
доктор физико-математических наук, доцент

Карякин
Михаил
Игорьевич

344006, Ростов-на-Дону,
ул. Большая Садовая, 105/42
Тел. (863) 2975111
e-mail: karyakin@sfedu.ru



Отзыв
на автореферат диссертации
"МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГОГО ПОВЕДЕНИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
С ВНУТРЕННИМИ МЕХАНИЗМАМИ АДАПТАЦИИ К ТЕМПЕРАТУРНЫМ
ВОЗДЕЙСТВИЯМ", представленной Шубиным Сергеем Николаевичем
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Диссертация Шубина Сергея Николаевича посвящена исследованию, и проектированию эластомерных композитов, предназначенных для обеспечения герметичного уплотнения и сохраняющих свои эксплуатационные свойства (работоспособность при высоком давлении, долговечность при контакте с агрессивной средой, сохранение несущей способности при декомпрессии и проч.) при низких температурах при эксплуатации в условиях Арктики. Несомненно, что данное исследование выполнено на актуальную тему. Это, в частности, связано и с расширением сфер деятельности человека в суровых условиях Арктики, и тем более, с возрастающим интересом со стороны нефтегазовых компаний к освоению данных природных ресурсов Арктики, для которой характерны экстремально низкие температуры.

Рассматриваются два класса дисперсных композитов, соответствующих двум способам компенсации низких температур для обеспечения работоспособности уплотнителей на основе резин: с частицами, имеющими отрицательный коэффициент температурного расширения (КТР), и частицами, испытывающими фазовые превращения, сопровождающимися тепловыделением, которое задерживает остывание уплотнения и не позволяет температуре опускаться ниже критических значений, определяемых температурой стеклования резины. Судя по автореферату, диссертации цель работы, связанная с разработкой математических моделей эластомерных композитов, способных адаптироваться к длительному и кратковременному воздействию пониженных температур полностью достигнута. Проведенные исследования позволили установить соответствие между структурой материала (форма, размеры и объемная доля частиц), процессами деформирования и характером внешних воздействий (механических и температурных).

По материалам представленным в автореферате вполне можно судить о новизне полученных результатов: –разработан авторский алгоритм пространственной микроструктуры композита с включениями эллипсоидальной формы, предложены численные модели деформирования дисперсных композитов с нелинейно-упругой эластомерной матрицей и упругими включениями. Несомненно новой является модель нестационарного распространения тепла в дисперсных композитах с эластомерной матрицей и включениями, претерпевающими фазовые превращения, сопровождающиеся выделением или поглощением и обнаруженный эффект тепловой инерции при охлаждении и нагревании, который имеет судя по приведенным оценкам, большое практическое значение. Эти результаты определяют значительную научную значимость работы в целом.

Практическая значимость работы несомненна, что подтверждается указанными в автореферате ссылками на использование результатов работы в совместных исследованиях по созданию уплотнительных материалов для эксплуатации в условиях пониженных температур с рядом ведущих компаний нефтегазовой промышленности Норвегии

Достоверность полученных результатов также следует признать обоснованной. Она базируется на использовании апробированных методов сплошных сред, проверкой используемых методов на модельных задачах, сравнении результатов моделирования с натурными испытаниями. Судя по автореферату, основные результаты диссертационной работы получены лично автором.

По автореферату диссертации можно сделать некоторые замечания:

1. Представляется, что излишне большое внимание в работе посвящено разработке алгоритму формирования стохастических микроструктур дисперсно-упрочненных композитов с включениями эллипсоидальной формы. Несомненно, это необходимая для работы и трудоёмкая ее часть, связанная с разработкой инструмента исследования. Однако, она является вспомогательной и не имеющей непосредственного отношения к механике среды. Кроме того, подобные методы в целом, вероятно, нельзя назвать новыми. Широко известны, например,

численные методы, разработанные А. Гусевым (ETH University, Zurich), для оценки эффективных свойств дисперсных композитов, в которых использовались методы статистического формирования композитов с включениями разной формы с различным объемным содержанием.

В связи с этим же имеются вопросы и к оценке точности эффективных свойств в зависимости от выбора размеров представительного фрагмента и пр., которые также исследовались ранее достаточно подробно в обширной литературе по механике композитов.

2. Для определения эффективных свойств используется методы осреднения, основанные на идеи эффективного поля (метод Мори-Танака), однако эти оценки все-таки строятся для изолированных включений и могут дать значительные погрешности объемных содержаний, анализируемых работе (35,8%). Желательно было бы дать сравнение с результатами, полученными, например, на основе дифференциальных схем, а также интересно было бы оценить и влияние размеров включений, т.е плотности границ раздела фаз и пр.

Чрезвычайно интересными являются вопросы связанные с нарушением адгезии и образованием вакуолей и пр., однако эти вопросы мало отражены в автореферате.

Приведенные замечания не снижают ценности полученных автором диссертации результатов, их строгости, достоверности, научной и практической значимости, а скорее говорят о сложности проведенного исследования, широты охваченных проблем.

Судя по автореферату, диссертация Шубина Сергея Николаевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, получены результаты, совокупность которых можно квалифицировать как решение интересной научной задачи, имеющей важное значительное прикладное значение. Оценивая работу в целом, считаем, что она выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (Пункт 9) "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Шубин Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Заведующий лабораторией

Неклассические проблемы механики композитных материалов и конструкций

Института прикладной механики РАН (ИПРИМ РАН),

доктор технических наук, профессор,

Лурье Сергей Альбертович

e-mail: salurie@mail.ru,

Адрес: 125040, г. Москва, Ленинградский проспект 7,

Телефон: 8 (495) 946-18-06,

Email: iam@iam.ras.ru

служебный телефон: (499)1356190, моб. телефон +7-903-794-72-79

Я, Лурье Сергей Альбертович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации и их дальнейшей обработкой.

Подпись С.А. Лурье заверяю,
ученый секретарь ИПРИМ РАН
к.ф.-м.н. 13.06.2018



Карнет Ю.Н.

ОТЗЫВ
на автореферат диссертации Шубина Сергея Николаевича
«Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов
с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04-механика деформируемого твердого тела.

Диссертация С.Н. Шубина посвящена моделированию термомеханического поведения эластомерных композитных материалов с частицами, имеющими отрицательный коэффициент термического расширения или претерпевающими фазовые превращения. Как отмечает автор, расширение частиц при охлаждении и тепловой эффект фазового перехода позволяют использовать такие композиты в качестве материала уплотнительных элементов в оборудовании, работающем при низких температурах. Этим обусловлена практическая значимость работы. В работе развиты соответствующие физико-математические модели, численные алгоритмы генерации композитных микроструктур и проведены численные эксперименты. Научная новизна и научная значимость обусловлены тем, что ранее подобные исследования термомеханического поведения таких композитов не проводились. Разработанный численный алгоритм синтеза микроструктур является новым и позволяет исследовать дисперсные композитные материалы с высокими степенями наполнения частицами и с разными условиями контакта или адгезии на границах матрицы и включений.

По автореферату имеются следующие замечания.

- 1) В автореферате много раз используется сокращение ПЭО, но оно не расшифровывается, и можно только догадываться, что оно означает «представительный элемент объема». Не совсем ясно, чем ПЭО отличается от стандартного в механике композитов термина – представительный объем.
- 2) В автореферате математические постановки задач гомогенизации, нелинейно-упругие модели композитов и условия на границах фаз описаны без использования математических формул. Это затрудняет восприятие деталей представленных в автореферате исследований и требует от заинтересованного читателя дополнительного знакомства с самой диссертационной работой.
- 3) Межфазные граничные условия следовало также описать более четко с учетом экстремальных механических и геометрических свойств отдельных фаз композитов. Так, судя по автореферату, в работе не обсуждается, как наличие жестких частиц при высоких степенях наполнения влияет на качество контакта на микроуровне.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования. В работе органично взаимосвязаны проблемы моделирования термомеханического поведения композитных материалов с частицами, демонстрирующими нетривиальное поведение при изменении температуры, методы моделирования представительных объемов и численные конечно-элементные методы. Работа имеет очевидные практические применения. Результаты работы апробированы на серьезных научных форумах по тематике работы и опубликованы в ведущих научных журналах.

Судя по автореферату, диссертация представляет собой законченное научное исследование, содержащее новые научные результаты, и полностью соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Шубин Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Главный научный сотрудник,
профессор кафедры математического моделирования
Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича
Южного федерального университета,
доктор физико-математических наук,
профессор

Наседкин Андрей Викторович

13.06.2018

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42,
Институт математики, механики и компьютерных наук,
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
<http://www.mmcs.sfedu.ru>
Тел.: +7(863) 297-52-82.
E-mail: nasedkin@math.sfedu.ru



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Данную подпись Наседкина А.В.
ЗАВЕРЯЮ:
Специалист по работе с персоналом
категории Мп. Годиница А.А.
«14» июня 2018 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шубина Сергея Николаевича
«Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с
внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела»

Освоение нефтегазовых месторождений в условиях Крайнего Севера, требует применения новых технологий и материалов, обладающих повышенными характеристиками прочности, надежности и долговечности, для обеспечения нулевых выбросов в окружающую среду. Герметичность нефтестойких эластомерных уплотнений при низких температурах является одной из не полностью решённых задач техники. В основу данной работы легла идея создания композиционных материалов для уплотнительных элементов с эластомерной основой, которые с одной стороны сохраняют преимущественные свойства резины, устойчивой к средам нефтегазовой отрасли и старению, а с другой расширяют ее рабочий диапазон в область низких температур.

Для прогнозирования свойств новых композиционных материалов необходимо понимать влияние различные характеристики используемых компонентов. Одной из ключевых характеристик служит геометрическая форма частиц, специально добавленных к исходному материалу для придания нужных свойств. В первой главе автор работы представляет собственный алгоритм, позволяющий генерировать стохастическую микроструктуру дисперсно-наполненных композитов с произвольными распределениями частиц по размеру и форме. Для учёта геометрии частиц при прогнозировании обычно применяют упрощенные аналитические и численные подходы. Отличительной особенностью подхода, предложенного автором, является возможность постройки моделей композиционных материалов с наполнением включениями различной формы и произвольной ориентации максимально приближенных к реальным микроструктурам композитов.

Далее, используя разработанный алгоритм, автор работы анализирует поведение эластомерных композитов с частицами, имеющими отрицательный коэффициент температурного расширения, в том числе при деформировании в нелинейной области. Параллельно автор решает важные прикладные вопросы, такие как: как ведет себя уплотнение с такими включениями, какие приближенные модели прогнозирования эффективных свойств можно использовать, какая форма частиц является предпочтительной, какими должны быть свойства материала и объёмная доля частиц для достижения герметичности уплотнений при низких температурах.

В заключительной части автор рассматривает нестационарную задачу охлаждения эластомерного материала с частицами, претерпевающими фазовый переход, и уплотнения на его основе. Здесь важными и интересными представляются как разработанный подход для анализа

работы такого уплотнения под воздействием перепада температур, так и результаты исследования чувствительности термомеханического отклика уплотнения к свойствам материала частиц.

В целом следует отметить, что работа С.Н. Шубина вызывает значительный интерес с теоретической и прикладной точек зрения. Актуальность работы не вызывает сомнения. Результаты исследований также опубликованы в четырёх рецензируемых научных журналах, индексируемых в международной базе цитирования Scopus.

Тем не менее, к автореферату имеется ряд замечаний:

1. Не расшифровано сокращение ПЭО.
2. Из авторефера не ясно проводились ли исследования чувствительности результатов моделирования к густоте сеток конечных элементов.
3. В главе 2 отсутствуют пояснения по модели материала, которую автор использовал для моделирования эластомерной основы при изучении деформационных характеристик композита, а также какие были применены упрощения при моделировании материала.
4. Из текста также не ясно было ли учтено трение на границе матрица-частица в случае отсутствия адгезии.

Указанные замечания являются несущественными, не ставят под сомнение выдвинутые на защиту положения и не влияют на общее положительное впечатление от качества работы. Таким образом, работа Шубина С.Н. отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твёрдого тела».

Главный специалист ООО «Газпром 335»,

Ph.D. degree from Norwegian University of Science And Technology

(область наук: инженерное проектирование и материалы)

Акуличев А.Г.

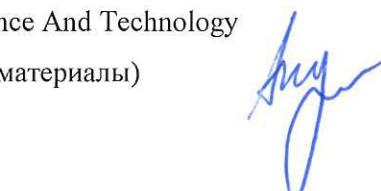
ООО «Газпром 335»

196210, Санкт-Петербург,

ул. Внуковская, д. 2 литер А

тел.: +7 (812) 455-02-30

e-mail: a.akulichev@gazprom335.ru



Акуличев А.Г.
Согласую
Акуличев наложил
управления персоналом
Акульев А.Г. Ф. И. О.
09.06.2018

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шубина Сергея Николаевича на тему «Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа С.Н. Шубина посвящена разработке методов математического моделирования, необходимых для проектирования уплотнительных элементов из эластомерных композиционных материалов, пригодных для применения в условиях низких температур. Выбранная автором тема является, несомненно, актуальной, так как некорректная работа уплотнительных элементов в условиях, которые не были приняты во внимание при проектировании, нередко является причиной отказа оборудования и в отдельных случаях приводить даже к катастрофическим последствиям (следует вспомнить катастрофу шаттла «Челленджер» в 1986 г., основной технической причиной которой было признано разрушение уплотнительного кольца твердотопливного ускорителя). Автор рассматривает два пути обеспечения уплотнения в условиях низких температур:

- за счет армирования эластомера включениями, имеющими отрицательный коэффициент температурного расширения (что приводит к уменьшению эффективного коэффициента температурного расширения образующегося композита);
- за счет армирования эластомера частицами, испытывающими фазовые превращения, сопровождающиеся тепловыделением (что приводит к локальному подогреву уплотнителя и позволяет противостоять кратковременному понижению температуры во время резкого сброса давления).

Описание механического поведение уплотнителей, спроектированных на основе обоих упомянутых подходов, – сложная и нестандартная задача механики деформируемого твердого тела, для решения которой автором в рамках диссертации предложены и применены эффективные методы и подходы. Таким образом, научная новизна и практическая ценность представленной работы не вызывают сомнений.

Несмотря на общее положительное впечатление от автореферата, по нему есть несколько вопросов и замечаний:

1. При расчете механического поведения композиционного материала, основанного на эластомерном связующем и включениях с отрицательным коэффициентом температурного расширения, автор учитывает нелинейно-упругое поведение связующего,

однако в тексте автореферата не указывается, какая именно реологическая модель была использована. Изучение полного текста диссертации вносит ясность в этот вопрос – была использована модель Marlow, параметры которой были идентифицированы на основе экспериментальной кривой одноосного сжатия. Последнее означает, что при возникновении в материале матрицы более сложного напряженного состояния (например, в районе включений), поведение модели, вообще говоря, может отличаться от наблюдаемого в эксперименте. Не может ли это возможное отличие вносить свой вклад в наблюдаемое расхождение расчетных и экспериментальных результатов (рис. 5 а)?

2. Несмотря на то, что при анализе поведения представительного элемента объема композита автором рассмотрены два случая взаимодействия эластомера с включениями (идеальное сопряжение и полное отсутствие адгезии), при моделировании работы композитного уплотнителя в работе использованы только результаты для случая идеального сопряжения. Возникает вопрос – можно ли распространить предложенные автором подходы на моделирование уплотнителя с учетом неидеального сопряжения эластомера с частицами, и каковы будут ограничения этого подхода с учетом того, что наличие контактного взаимодействия между матрицей и включениями, вообще говоря, делает материал неупругим?

Отмеченные вопросы и замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки работы. Считаю, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Шубин Сергей Николаевич – заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Доцент кафедры «Механика и процессы управления»

Санкт-Петербургского политехнического

университета Петра Великого, к.т.н.

Специальность 01.02.04 – механика

деформируемого твердого тела

 / Немов Александр Сергеевич

Адрес: 195251, Санкт-Петербург,

ул. Политехническая, д. 29

Тел: +8(812)552-77-78

Email: nemov_as@spbstu.ru

