

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Сборщиков Сергей Васильевич

Тема диссертации: «Моделирование циклического деформирования упруго-пластических композиционных материалов на основе метода асимптотического осреднения»

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 27 сентября 2023 года, протокол 9, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Сборщикова С.В. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Сборщикова С.В. отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 27 сентября 2023 года, протокол 9, диссертационный совет принял решение присудить Сборщикову С.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: заместители председателя диссертационного совета Земсков А.В. и Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Бульчев Н. А., Вестяк В. А., Дмитриев В. Г., Кузнецова Е. Л., Меркурьев И. В., Миронова Л. И., Рабинский Л. Н., Федотенков Г. В.

Заместитель председателя

диссертационного совета 24.2.327.07

д.ф.-м.н., доцент



Земсков А.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.327.07

к.т.н., доцент



Сердюк Д.О.

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «27» сентября 2023 г. № 9

О присуждении Сборщикову Сергею Васильевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование циклического деформирования упруго-пластических композиционных материалов на основе метода асимптотического осреднения» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «5» июня 2023 г., протокол № 8, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Сборщиков Сергей Васильевич, 15 января 1989 года рождения, в 2012 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени

Н.Э. Баумана» по специальности «Прикладная математика». С 2012 по 2015 год Сборщиков Сергей Васильевич обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана».

Работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» в Научно-образовательном центре «Суперкомпьютерное инженерное моделирование и разработка программных комплексов» (НОЦ «СИМПЛЕКС») МГТУ им. Н.Э. Баумана в должности инженера и в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор **Юрий Иванович Димитриенко**, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана).

Официальные оппоненты:

Горбачев Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика композитов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова), г. Москва,

Ченцов Александр Викторович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского» РАН, г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: **Акционерное общество «Композит»**, г. **Королёв, Московская область** в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, начальником научно-исследовательского отделения по разработке, производству и исследованию свойств композиционных материалов на основе стеклоугленаполнителей **Тациловым Сергеем Васильевичем**, кандидатом технических наук, начальником научно-исследовательского отдела по разработке и производству композиционных материалов на основе стеклоугленаполнителей **Магнитским Ильей Владимировичем** и утвержденном кандидатом технических наук, заместителем генерального директора **Тимофеевым Иваном Анатольевичем**, указала, что диссертация **Сборщикова Сергея Васильевича** представляет собой законченное научное исследование, которое выполнено на высоком научном уровне и посвящено решению актуальной проблемы. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, **Сборщиков Сергей Васильевич**, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 69 опубликованных работ по теме диссертации, 33 из которых – в журналах из перечня ВАК РФ, 10 статьи – в журналах, индексируемых в Scopus.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Димитриенко Ю.И., Соколов А.П., Сборщиков С.В. Моделирование микро-разрушения тканевых композитов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. Спец.выпуск № 3 «Математическое моделирование». 2012. С. 5-19.
2. Численное и экспериментальное моделирование прочностных характеристик сферопластиков / С.В. Сборщиков [и др.] // Композиты и наноструктуры. 2013. №3. С. 35-51.
3. Димитриенко Ю.И., Сборщиков С.В., Соколов А.П. Численное моделирование микроразрушения и прочностных характеристик пространственно-армированных композитов // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19, № 3. С. 365-383.
4. Численное моделирование процессов разрушения тканевых композитов / С.В. Сборщиков [и др.] // Вычислительная механика сплошной среды. 2013. Т. 6, № 4. С. 389-402. DOI: 10.7242/1999-6691/2013.6.4.4
5. Многомасштабное моделирование высокотемпературных упруго-прочностных свойств композиционных материалов на неорганической матрице / С.В. Сборщиков [и др.] // Математическое моделирование. 2015. Т. 27, № 11. С. 3-20.
6. Численное моделирование и экспериментальное исследование деформирования упруго-пластических пластин при смятии / С.В. Сборщиков [и др.] // Математическое моделирование и численные методы. 2015. № 1. С. 67-82.
7. Моделирование упругопластических характеристик монокристаллических интерметаллидных сплавов на основе микроструктурного численного анализа. / С.В. Сборщиков [и др.] // Математическое моделирование и численные методы. 2015. № 2. С. 3-22.
8. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Сборщиков С.В. Многомасштабное моделирование упруго-пластических композитов с учетом

повреждаемости // Математическое моделирование и численные методы. 2016. № 2(10). С. 3-24.

9. Димитриенко Ю.И., Сборщиков С.В., Юрин Ю.В. Моделирование эффективных упруго-пластических свойств композитов при циклическом нагружении // Математическое моделирование и численные методы. 2020. № 4. С. 3-26.

10. Микроструктурная модель деформационной теории пластичности квази-изотропных композиционных материалов / С.В. Сборщиков [и др.] // Математическое моделирование и численные методы. 2021. № 4. С. 17-44.

11. Микроструктурная модель деформационной теории пластичности трансверсально-изотропных композитов / С.В. Сборщиков [и др.] // Математическое моделирование и численные методы. 2022. № 1. С. 15-41.

12. Dimitrienko Yu.I. Sborshchikov S.V., Sokolov A.P. Numerical simulation of microdestruction and strength characteristics of reinforced composites // Composites: Mechanics, Computations, Applications, An International Journal. 2013. V. 4, № 4. P. 345-364, DOI: 10.1615/CompMechComputApplIntJ.v4.i4.50

13. Dimitrienko Yu. I., Dimitrienko I.D, Sborschikov S.V. Multiscale Hierarchical Modeling of Fiber Reinforced Composites by Asymptotic Homogenization Method // Applied Mathematical Sciences. 2015. V. 9, № 145. ISSN 7211-7220. DOI: 10.12988/ams.2015.510641

14. Dimitrienko Yu.I., Yurin Yu.V., Sborschikov S.V. Multiscale modeling of de-formation and damage of elastic-plastic particle reinforced composites // IOP Conference Series: Material Science and Engeneering. 2019. V. 683, № 012092. DOI: 10.1088/1757-899X/683/1/012092. P.1-6.

В этих и остальных работах методика асимптотического анализа композиционных материалов развита для случая нелинейно упругих задач, в частности задач упруго-пластичности, проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния композиционных материалов и конструкций, произведенных из них, представлены модели деформационной

теории пластичности для нескольких типов композиционных материалов. В материалах совместных публикаций в личный вклад автора является определяющим.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от начальника отделения Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ») Каледина Владимира Олеговича, отзыв положительный;

от заместителя начальника ЦКБМ Акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения» (АО «ВПК «НПО машиностроения»), кандидата технических наук Новикова Андрея Евгеньевича и первого заместителя начальника отделения АО «ВПК «НПО машиностроения», кандидата технических наук Реша Георгия Фридриховича, отзыв положительный;

от и.о. начальника отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Федеральный центр двойных технологий «Союз» (ФГУП «ФЦДТ «Союз»), кандидата технических наук Гафарова Бориса Равильевича и ведущего инженер-технолога научно-технического отделения ФГУП «ФЦДТ «Союз», кандидата технических наук Богдановой Елизаветы Владимировны, отзыв положительный;

от начальника бригады статической прочности ротора отдела прочности Опытного-конструкторского бюро имени А. Люльки («ОКБ им. А. Люльки»), филиал ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение», кандидата технических наук Гущина Александра Юрьевича, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации акционерного общества «Композит», имеются следующие замечания.

1. Из текста диссертации неясно, как в разработанной методике построения определяющих соотношений анизотропных упруго-пластических композиционных материалов при циклическом нагружении учитываются кромочные эффекты, например, эффект перерезывания нитей.

2. Понимание работы осложняет отсутствие в явном виде сформулированной многоуровневой модели композиционного материала, например, как именно реализована взаимосвязь характеристик компонентов материала на различных уровнях моделирования.

3. Из текста диссертации неясно, каким способом учтена несплошность границы раздела между компонентами композиционного материала. Например, в случае углерод-углеродных композиционных материалов работоспособность при воздействии экстремальных нагрузок во многом определяется именно наличием отслоений в области границы раздела их компонентов.

4. В тексте диссертации, а именно во введении, в котором изложен обзор литературы по теме работы, отсутствует анализ подходов ряда ученых, работы которых посвящены исследованиям в области свойств композиционных материалов, например, Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А., Лагздынь А.Ж., Скудра А.М., Булавс Ф.Я., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н., Горбачев В.И., Лурье С.А. Это обстоятельство существенно снижает ценность обзора, делая его неполным.

Замечания в отзыве официального оппонента Горбачева В.И.

1. На странице 15 при постановке задачи определяющие соотношения записаны в индексной форме, $\sigma_{ij} = F_{ij}(\varepsilon_{kl}, x_m)$. Такая запись понимается неоднозначно.

2. Не совсем понятна формула (1.6) на странице 16, а также последующие пояснения к ней. Видимо правильней было бы воспользоваться функцией «сигнум», $\text{sgn}(x)$.

Замечания в отзыве официального оппонента Ченцова А.В.

1. В работе упоминаются дополнительные надстройки к программному комплексу ANSYS, применяемые автором в ходе сравнительных расчетов, однако содержание этих изменений автором не приводится и достоверность их функционирования не обсуждается.

2. В списке литературы, равно как и в обзорной части работы, использовано мало источников последних лет. В частности, это касается работ в рецензируемых международных журналах помимо тех, в которых участвует автор.

3. В тексте диссертационной работы имеются опечатки.

В отзывах на автореферат следует отметить следующие замечания.

1. Не указано, возможен ли с помощью предложенной методики расчет диаграмм деформирования упруго-пластических композитов при сложных, непропорциональных нагружениях, которые часто встречаются на практике.

2. Из содержания автореферата неясно, учитывалась ли при численных расчетах упруго-пластических свойств композитов поверхность раздела матрицы и волокон, которая, как правило, обладает особыми физико-механическими свойствами.

3. Не ясно, из каких предположений функции нулевого приближения асимптотических разложений (4) (стр. 9) зависят только от глобальных координат, времени и не зависят от локальных координат.

4. Не ясно, каким образом упруго-пластические свойства наполнителя композиционного материала могут влиять на численные значения его эффективных характеристик, получаемые в результате применения разработанного программного комплекса.

5. В автореферате не определены классы композиционных материалов, для которых справедливы полученные закономерности.

6. В автореферате отсутствуют сведения по экспериментальной проверке результатов численного моделирования на хотя бы одном композиционном материале, применяемом в промышленности.

7. В автореферате не затронут вопрос времени выполнения используемых алгоритмов.

8. Из автореферата не ясно, каким образом в методике учитывается структура (направление волокон и их периодичность) композита при построении кривых деформирования материала.

9. Из автореферата не ясна возможность использования данной методики для построения кривых деформирования композитов при температурах, отличных от комнатной.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация – одна из передовых организаций, проводящих исследования, эксперименты, разработку и производство композиционных материалов для различных применений и является головной научно-исследовательской организацией Госкорпорации «Роскосмос» по созданию и использованию материалов, покрытий и технологий их производства. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика построения микро-структурных эффективных определяющих соотношений деформационной теории анизотропной пластичности при циклических нагружениях для композитов с произвольной периодической микроструктурой на основе численного конечно-элементного решения серии локальных задач на ячейках периодичности;

предложен новый вариант метода асимптотического осреднения упруго-пластических композиционных материалов при циклических

нагружениях на основе деформационной теории пластичности А.А.Ильюшина – В.В. Москвитина;

доказана перспективность разработанной методики построения микро-структурных эффективных определяющих соотношений;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения разработанной методики построения микро-структурных эффективных определяющих соотношений деформационной теории анизотропной пластичности при циклических нагружениях, допускающих аналитическое представление, для композитов с произвольной периодической микро-структурой;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе метод асимптотического осреднения, методы конечного элемента, методы аппроксимации и оптимизации;

изложены этапы методики определения материальных констант предложенных микро-структурных моделей анизотропной деформационной теории пластичности для трансверсально-изотропных и ортотропных композитов;

раскрыты особенности применения метода асимптотического осреднения для задачи деформационной теории пластичности композиционных материалов при циклических нагружениях;

изучены эффективные диаграммы циклического деформирования, связывающие компоненты осредненных тензоров напряжений и деформаций;

проведена модернизация определяющих соотношений деформационной теории пластичности для случая циклических нагружений анизотропных упруго-пластических композиционных материалов с произвольной периодической микро-структурой.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана методика построения определяющих соотношений для упруго-пластических композиционных материалов, основанных на структурных моделях, допускающих аналитические представления, которые избавляют от необходимости решения связанных задач микро- и макропластичности;

определены перспективы практического использования разработанной методики применительно к решению двух-масштабных задач деформационной теории пластичности для конструкций из композитов при циклическом нагружении;

создана новая эффективная методика решения задач деформационной пластичности при циклических нагружениях для композитов с произвольной периодической микроструктурой;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию численно-аналитических методов решения задач деформационной теории пластичности анизотропных композиционных материалов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики упруго-пластических деформируемых тел, методы решения математически строгие и непротиворечивы, реализованные алгоритмы теоретически строго обоснованы, результаты согласуются с опубликованными данными по теме диссертации;

идея базируется на использовании метода асимптотического осреднения применительно к трехмерным квазистатическим задачам деформационной теории пластичности при циклических нагружениях в рамках малых деформаций;

использованы сравнения полученных результатов с результатами других авторов, а также сравнения результатов, полученных с помощью разных методов;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках в частных случаях;

использованы современные методы математического моделирования, численные алгоритмы решения задач, информационные и компьютерные методы визуализации полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке методики построения микро-структурных эффективных определяющих соотношений деформационной теории анизотропной пластичности при циклических нагружениях для композитов с произвольной периодической микроструктурой на основе численного конечно-элементного решения серии локальных задач на ячейках периодичности. Разработана методика определения материальных констант микро-структурных моделей анизотропной деформационной теории пластичности для трансверсально-изотропных и ортотропных композитов. Разработаны: конечно-элементный алгоритм решения задач на ячейке периодичности для упруго-пластических композиционных материалов при циклических нагружениях, алгоритм для конечно-элементного решения осредненных задач анизотропной теории пластичности и программное обеспечение, реализующее эти алгоритмы. Проведены серии численного решения задач теории пластичности на ячейках периодичности при циклическом нагружении для 2-х типов композитов (однонаправленно-армированных и тканевых) и определены типовые значения материальных констант для данных типов моделей упруго-пластических композитов. Проведены численные расчеты макроскопических задач о циклическом изгибном нагружении 3-х мерной балки из композиционного материала, с использованием разработанных микроструктурных моделей эффективных определяющих соотношений упруго-пластических композитов.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о

порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании «27» сентября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Сборщикову Сергею Васильевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 5 докторов физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

Диссертационного совета 24.2.327.07

д.ф.-м.н., доцент



Земсков А.В.

Ученый секретарь

Диссертационного совета 24.2.327.07

к.т.н., доцент



Сердюк Д.О.

«27» 09 2023 года

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА УДС МАИ
Т.А. АНИКИНА

