

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Юрин Юрий Викторович

Тема диссертации: Моделирование деформаций ползучести многослойных тонких пластин методом асимптотического осреднения

Специальность: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 24 мая 2017 года диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет критериям, утвержденным Постановлением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и принял решение присудить Юрину Юрию Викторовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета д.ф.-м.н., проф., Тарлаковский Д.В., зам. председателя диссертационного совета д.т.н., проф., Фирсанов В.В., ученый секр. дисс. совета к.ф.-м.н., Федотенков Г.В., д.т.н., проф., Антуфьев Б.А., д.т.н., проф., Бирюков В.И., д.ф.-м.н., проф., Гришанина Т.В., д.т.н., проф., Дмитриев В.Г. д.т.н., проф., Дудченко А.А. д.т.н., проф., Зверьев Е.М., д.т.н., проф., Лурье С.А., д.ф.-м.н., проф., Марков Ю.Г., д.ф.-м.н., доц., Медведский А.Л., д.т.н., проф., Нерубайло Б.В., д.ф.-м.н., проф., Рыбаков Л.С., д.т.н., Сибиряков А.В., д.т.н., проф., Сидоренко А.С., д.ф.-м.н., проф., Солдатенков И.А., д.т.н., проф., Тютюнников Н.П.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.05

Федотенков Г.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05

на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «24» мая 2017 № 12

О присуждении Юрину Юрию Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование деформаций ползучести многослойных тонких пластин методом асимптотического осреднения» по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 22 марта 2017 г., протокол № 11, диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации, 125993, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 - № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Юрин Юрий Викторович, 1988 года рождения, в 2012 году окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Соискатель ученой степени кандидата наук освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана). В 2016 году окончил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский государственный

технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»).

Соискатель работает инженером в научно-образовательный центре «Суперкомпьютерное инженерное моделирование и разработка программных комплексов» (НОЦ «Симплекс») ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана с 2012 г. по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» факультета Фундаментальные науки ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – **Димитриенко Юрий Иванович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации

Официальные оппоненты:

1. Радаев Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), г. Москва;

2. Киселев Федор Борисович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры механики композитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация Открытое акционерное общество «Композит» (ОАО «Композит»), Московская область, г. Королев, в своем положительном заключении, подписанным заместителем начальника отделения 0220, кандидатом технических наук Магнитским И. В., начальником отдела 0222,

кандидатом физико-математических наук, Вагиным В. П., главным научным сотрудником лаборатории 0243, доктором технических наук Кирилловым В. Н., указала, что диссертация представляет собой завершённое исследование, выполненное на высоком научном уровне, посвящённое решению актуальной проблемы. Автореферат и публикации автора достаточно правильно и полно отражают содержание диссертации. В целом, работа, безусловно, заслуживает положительной оценки. Диссертационная работа Юрина Юрия Викторовича соответствует всем критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Юрин Юрий Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, из них 10 – опубликованных в рекомендованных ВАК научных изданиях, 1 работа опубликована в других отечественных изданиях, 1 публикация в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1.Димитриенко Ю. И., Губарева Е. А., Юрин Ю. В. Асимптотическая теория термоползучести многослойных тонких пластин // Математическое моделирование и численные методы. 2014. № 4. С. 18-36.

2.Димитриенко Ю. И., Губарева Е. А., Юрин Ю. В. Вариационные уравнения асимптотической теории многослойных тонких пластин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки.- 2015.-№ 4. с.67-87.

3.Димитриенко Ю. И., Губарева Е. А., Юрин Ю. В. Конечно-элементное моделирование процессов термоползучести на основе методов Рунге-Кутты// Наука и образование. Электронный журнал. # 03, март 2015 DOI: 10.7463/0315.0759406. <http://technomag.bmstu.ru/doc/759406.html>.

4.Димитриенко Ю. И., Юрин Ю. В., Европин С. В. Прогнозирование долговечности и надежности элементов конструкций высокого давления. Часть 1. Численное моделирование накопления повреждений //Известия ВУЗов. Машиностроение, 2013, №11. С.3-11.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации **Открытого акционерного общества «Композит»**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Радаева Юрия Николаевича**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Киселева Федора Борисовича**, отзыв положительный;

от **Акционерного общества «Центральный Научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ»)**, подписанный кандидатом технических наук, начальником отделения «Центр прочности» № 9 **Калединым В.О.**, заверенный секретарем научно-технического совета АО «ЦНИИСМ» **Красновой Г. В.**, отзыв положительный;

от **Акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» (АО «ВПК «НПО машиностроения»)**, подписанный кандидатом физико-математических наук, первыми заместителем Генерального директора, **Хромушкиным А.В.**, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации ОАО «Композит» имеется три замечания:

1. В работе рассматривается исключительно линейно упругое поведение материала при начальном мгновенном нагружении, в то время как значительное число современных материалов имеют нелинейные диаграммы деформирования.

2. В работе не указано, насколько существенно влияют на точность получаемых результатов различные степени анизотропии слоев материала, не приведены границы применимости приводимых соотношений. Так, в современных углепластиках отношение продольного и поперечного модулей

упругости монослоя может составлять $100 \div 1000$.

3. Из текста диссертации неясно, разрабатывалось ли для проведения расчетов полностью оригинальное ПО либо использовались имеющиеся наработки. В первом случае ценность работы существенно повышается.

Замечания в отзыве официального оппонента Радаева Ю. Н.:

1. В работе не совсем ясно отражены особенности трехмерной постановки краевой задачи, на основе которой выполняется моделирование процесса деформирования многослойной пластины. Сначала на с. 12 формулируется трехмерная краевая задача (1.1). Из этой постановки следует, что пластина может загружаться только нормальным давлением, а на ее кромке задаются перемещения. Уже такую постановку естественно нельзя признать достаточной в прикладном аспекте (например, не учитывается тот случай, когда кромка пластины свободна). Затем на с. 14-16 постановка (1.1) подвергается модификации (называемой автором *основными допущениями*): давление считается пропорциональным третьей степени геометрического параметра κ (характеризующегося отношением толщины пластины к ее диаметру), перемещения на кромке считаются линейно зависящими от указанного параметра, а вертикальное перемещение кромки вообще не должно от него зависеть. В работе нет никаких указаний на то, какие прикладные задачи укладываются в эту схему. С моей точки зрения, данная в диссертационной работе постановка прямо относится к специальным образом возмущенной (возмущения давления пропорциональны κ^3 , возмущения горизонтальных кромочных перемещений пропорциональны κ , а вертикальные кромочные перемещения не возмущаются) частной краевой задаче теории пластин (с нулевым нормальным давлением и предписанными перемещениями кромки) и хотелось бы знать о прикладном значении такого рода задач. Что произойдет, если нормальное давление будет возмущаться пропорционально κ^2 или возмущения затронут вертикальные кромочные перемещения?

2. Материал диссертационной работы, изложенный на с. 43-55 (разделы 1.9, 1.10 и 1.11), не нашел отражения как при общей характеристике диссертации, так и в части, касающейся результатов и выводов, и создается

впечатление, что он вообще никак не связан с остальными разделами диссертационного исследования. В автореферате также нет никакого упоминания о содержании указанных разделов. Эти разделы посвящены слабым решениям и вариационным уравнениям для осредненных краевых задач и содержат доказательство единственности решения и разрешимости осредненных задач в том случае, когда ползучестью пластины можно пренебречь. По моему мнению, доказательство теоремы о существовании и единственности включает элемент новизны, поскольку выполнено для эллиптического дифференциального оператора, отличающегося от такового в анизотропной теории упругости.

3. В разделе 1.12 обсуждаются примеры моделей ползучести. В качестве основной принимается нелинейная модель степенной ползучести (1.112); линейный вариант (1.112) известен как ньютоновская вязкая жидкость и поэтому следует прямо говорить о линейно вязкоупругой модели Максвелла–Кельвина–Фойгта, тем более, что эта определяющая модель используется в дальнейшем при моделировании деформирования многослойных пластин по причине ее простоты. Более интересным здесь, однако, представляется другой предельный вариант модели степенной ползучести (1.112), когда показатель ползучести становится очень большим, известный как модель идеально пластического тела. Исследование двух предельных вариантов степенной ползучести позволило бы более полно верифицировать предложенный соискателем метод асимптотического осреднения.

Замечания в отзыве официального оппонента Киселева Ф. Б.:

1. В постановке исходной задачи в пункте 1.1 не учтен практически актуальный случай составной пластины (т.е. не рассматривается возможность зависимости компонент тензора модулей упругости C_{ijkl} и определяющих функций модели ползучести F_{ij} явным образом от координат \tilde{x}_1, \tilde{x}_2).

2. Несмотря на отсутствие ограничений на тип анизотропии материалов пластины в предложенном в работе методе, фактически (в пункте 1.12, а также

при решении конкретных задач ползучести в пункте 3.2) рассмотрены примеры моделей ползучести только для изотропных материалов.

3. При решении модельных задач в главе 3 во всех описанных примерах пластины геометрически представляют собой параллелепипеды. Для более полной демонстрации возможностей описанного в главе 2 численного метода следовало бы дополнительно провести расчет пластин с более сложной геометрией, например, с наличием вырезов и криволинейной границей.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем из АО «ЦНИИСМ»:

1. При решении задач в третьей главе были рассмотрены только линеаризованная и степенная модель ползучести. Следовало бы рассмотреть и иные модели ползучести.

2. Судя по приведенным в автореферате результатам, в работе не исследовано влияние варьирования малого параметра (относительной толщины пластины) на степень точности приближения к трехмерному решению.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от АО «ВПК «НПО машиностроения»:

1. Не совсем понятна физическая сущность допущения 1), принятого на странице 7, о величине порядка функций \hat{p}_{\pm} при $\kappa \rightarrow 0$), а также его правомерность, поскольку, строго говоря, при использовании теоретических положений метода малого параметра необходимо ввести в рассмотрение другой (в общем случае не геометрический) параметр $\kappa_1 \ll 1$, отличный от κ .

2. Не приведено объяснение численных результатов (рисунки 1-6), полученных методами компьютерных наук, в тексте автореферата не полностью раскрыто понятие «высокой точности» разработанного вычислительного метода по отношению к стандартной трехмерной теории напряженно-деформированного состояния многослойных тонких анизотропных пластин с учетом ползучести.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая

организация – одной из передовых организаций, проводящих исследования, эксперименты, разработку и производство композиционных материалов для различных применений и является ведущим материаловедческим предприятием Федерального космического агентства (статус подтверждён приказом Росавиакосмоса от 17 февраля 2003 года №75к).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: новый математически корректный способ получения систем двумерных уравнений и выражений для перемещений, деформаций, напряжений для тонких многослойных пластин с учетом эффектов ползучести, а также новый вариант конечно-элементного метода решения двумерных уравнений ползучести, основанного на применении вариационных уравнений вариационного принципа Хеллингера-Рейснера, аппроксимации Белла для функций прогиба и аппроксимации трикубическими полиномами Биркгофа со специальным выбором степеней свободы для продольных перемещений;

предложен новый метод моделирования процессов ползучести многослойных тонких пластин на основе метода асимптотического осреднения;

доказана применимость разработанных теоретических и численных методов для исследования напряженно-деформированного состояния многослойных тонких пластин с учетом ползучести;

новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказана эффективность применения предложенного метода моделирования напряженно-деформированного состояния многослойных тонких пластин с учетом эффектов ползучести;

применительно к проблематике диссертации результативно, с получением обладающих новизной результатов, использован комплекс существующих базовых положений механики деформируемого твердого тела и метода асимптотического осреднения;

изложены выводы коэффициентов при степенях малого параметра в асимптотических разложениях для векторов перемещений, тензоров

напряжений и деформаций, а также вывод двумерных осредненных задач ползучести многослойных тонких пластин;

раскрыты особенности применения метода асимптотического осреднения для задачи ползучести многослойных тонких пластин и разработки методов решения соответствующих двумерных осредненных задач ползучести;

изучено влияние моноклинной анизотропии материалов слоев пластины на вид начальных членов асимптотических разложений перемещений, напряжений и деформаций, а также на точность удовлетворения граничных условий исходной для трехмерной системы уравнений ползучести;

проведена модернизация методов вычисления напряжений для многослойных тонких пластин с учётом эффектов ползучести, а также численных методов решения двумерных задач ползучести многослойных тонких пластин.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждены тем, что

разработан новый метод численного моделирования процесса ползучести многослойных тонких пластин, а также новый эффективный метод решения двумерных осредненных задач ползучести;

определены перспективы практического использования результатов исследований, состоящих в прогнозе свойств долговечности и надежности тонких многослойных пластинчатых элементов конструкций, проявляющие эффекты ползучести, таких как ядерные двигатели, газотурбинные двигатели и т.п.;

создан новый эффективный численный конечно-элементный метод решения двумерных задач ползучести тонких многослойных пластин;

представлены формулы для начальных членов асимптотических разложений перемещений и всех компонент напряжений, которые могут быть использованы для расчётов указанных величин при сложных типах анизотропии материалов слоев пластины с учетом эффектов ползучести.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена с использованием апробированных методов механики деформируемого твердого тела, известных теорий ползучести, метода конечных

элементов;

идея базируется на анализе трехмерных уравнений ползучести с помощью метода асимптотического осреднения в сочетании с применением метода конечных элементов к решению двумерных систем уравнений ползучести, к которым приводит метод осреднения;

использовано сравнение авторских результатов расчета напряженно-деформированного состояния многослойных тонких пластин для ряда модельных задач с результатами приближенного решения трехмерных задач в программном комплексе ANSYS;

установлено качественное и количественное соответствие результатов расчета с результатами конечно-элементного решения трехмерных задач в программной системе ANSYS, соответствие результатов аналитического и конечно-элементного решения двумерных осредненных задач, полученного с применением предложенного в работе конечно-элементного метода, а также согласованность результатов диссертационной работы с известными результатами других авторов;

использованы современные комплексы конечно-элементного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке нового способа получения двумерных систем уравнений и выражений для перемещений, деформаций и напряжений для тонких многослойных пластин с учетом эффектов ползучести из исходной трехмерной системы уравнений ползучести с применением метода асимптотического осреднения, в разработке нового конечно-элементного метода решения двумерных осреднённых задач ползучести многослойных тонких пластин, в валидации разработанных методов, анализе полученных результатов.

Диссертация Юрина Ю. В. является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические решения и численные методы для расчета напряженно-деформируемого состояния многослойных тонких пластин с учетом ползучести, имеющие существенное значение для развития механики деформируемого твердого тела.

На заседании 24 мая 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Юрину Ю. В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов физико-математических по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 18, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.05 д.ф.-м.н., профессор



Д.В. Тарлаковский

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент



Г.В. Федотенков

24 мая 2017 г.