

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Петренко Филиппа Игоревича «Расчет сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны с учетом геометрической и физической нелинейности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика

Актуальность избранной темы

Сетчатые оболочки отрицательной гауссовой кривизны достаточно широко применяются в различных отраслях машиностроения, а также в современной архитектуре гражданских и промышленных зданий. Анализ влияния структурных свойств применяемых форм на характеристики их несущей способности и устойчивости наиболее актуален при строительстве уникальных зданий и сооружений. Современные требования при проектировании таких сложных и неоднородных конструкций, как сетчатые оболочки, требует глубокой теоретической проработки при построении адекватных математических моделей с применением экономичных и эффективных численных методов решения задач строительной механики, учитывающих, в первую очередь, особенности поведения несущих конструкций в нелинейной области деформирования.

Диссертация Петренко Ф.И. посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния оболочек в форме пологого гиперболического параболоида и однополостного гиперболоида вращения с учетом особенностей их формы и структурной морфологии, для чего автором разработана методика расчёта пологих гипаров и изучено влияние формы образующей гиперболоида на его несущую способность и устойчивость при статических нагрузках.

Таким образом, тема диссертационной работы Петренко Филиппа Игоревича является *актуальной* и представляет несомненный научный и практический интерес.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации логически связаны и вполне обоснованы, так как выполнены на современном методическом уровне с использованием хорошо апробированных численных методов и методов дискретизации, таких, как вариационно-разностный метод и метод конечных элементов. При проведении исследований о влиянии морфологии сетчатого гиперболоида на его характеристики устойчивости и прочности автором были использованы современные апробированные программные комплексы.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность результатов основана на использовании фундаментальных законов и положений механики деформируемого твердого тела и строительной механики для корректной математической постановки решаемых задач и адекватном применении расчетных математических моделей. Оценка достоверности разработанного метода решения задач пологого гипара производилась путем сравнения расчетов, выполненных с помощью разработанного автором алгоритма и метода конечных элементов с использованием вычислительного комплекса ЛИРА. Новизна результатов диссертации заключается в том, что автором построен вариант функционала Лагранжа, физические соотношения и эффективные численные алгоритмы на основе вариационно-разностного метода и метода продолжения решения по параметру для расчета пологих сетчатых гиперболических параболоидов с учетом геометрической нелинейности и деформаций поперечного сдвига для континуальной модели. Изложены и проанализированы результаты численного расчета сетчатых оболочек в форме однополостного гиперболоида вращения с различными углами наклона и формой образующей, включая расчет на устойчивость и модальный анализ, выполненного с помощью метода конечных элементов с учётом геометрической и физической нелинейности.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в разработке модели и алгоритма расчета пологого гипера вариационно-разностным методом в сочетании с методом продолжения решения по параметру. Разработанный в соответствии данным методом программный комплекс, позволяющий производить расчёты сетчатой оболочки с построением кривой равновесных состояний, имеет практическую значимость. На основе выполненного анализа влияния формы образующей однополостного гиперboloида вращения на его НДС, собственные частоты и формы колебаний, устойчивость в целом и с учётом деструкции в малом объеме, были сделаны выводы, способствующие более рациональному проектированию конструкций указанных форм. Приведенные выводы, в определённой мере, могут сыграть положительную роль в практике применения сетчатых гиперboloидов в конструкциях зданий и сооружений.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 189 страницах, включая 81 рисунок и 19 таблиц.

Во введении приведены актуальность темы, цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, апробация результатов.

В первой главе приведен обзор существующих публикаций по теории и численным методам расчета сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны, а также по численным методам решения нелинейных задач. Представлена практическая значимость изучаемой тематики. Приведены примеры практической реализации изучаемых оболочек.

Во второй главе подробно изучаются поверхности в форме гиперболического параболоида и однополостного гиперboloида вращения. Уравнения изучаемых поверхностей представлены в канонической системе координат. На основе метода плоских сечений наглядно показаны основные свойства данных поверхностей и возможность наиболее рационального построения их в виде сетчатой структуры. Влияние формообразующих элементов на характеристики несущей способности изучаемых сетчатых оболочек рассматриваются подробно в четвертой главе.

В третьей главе приводится описание и верификация решения задач пологих сетчатых гипаров с использованием вариационно-разностного метода. Разработанный метод позволяет решать задачи в линейной и геометрически нелинейной постановке с построением кривой равновесных состояний для сетчатых гиперболических параболоидов с различной структурой сетки и граничными условиями.

В четвертой главе рассматриваются шесть каркасов с различными образующими, для которых выполняются расчёты в линейной и нелинейной постановках на действие различных нагрузок. На основе полученных результатов делаются выводы о влиянии угла наклона образующей на устойчивость и НДС конструкции. Определяется также наилучшая форма криволинейной образующей в виде гиперболы, заменённой кусочно-линейной функцией. Приводится большой объем численных исследований гиперboloида вращения с учетом геометрической и физической нелинейности, полученных с помощью ВК Ansys.

В заключении приводится перечень основных результатов, полученных в диссертационной работе. Сформулированные в диссертации выводы, полученные в результате выполненных численных исследований, обладают определенной научной новизной.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

- в разд. 2.3, посвященном построению геометрических соотношений для оболочек в форме однополостных гиперboloидов, на стр. 58 после формулы (2.3.13) дана

формулировка: "После рассмотрения зависимости несущей способности от угла образующей, интерес представляет изучение влияния формообразования поверхности гиперboloида на его несущие характеристики". Поскольку в данном разделе рассматривались только геометрические зависимости, то такая формулировка представляется не вполне корректной;

- в разд. 3.2 при построении математической модели для сетчатой оболочки, рассматриваемой как регулярная система, образованная из n семейств часто расположенных ребер, автором используется подход, основанный на замене системы ребер соответствующим сплошным слоем, однако при этом не даны рекомендации и практические критерии применимости такого подхода для рассматриваемого класса сетчатых оболочек;

- при выводе формулы для потенциальной энергии сетчатой оболочки (стр. 76) используется формулировка "Потенциальная энергия слоя ребер единичной толщины ...", смысл которой не вполне ясен из текста диссертации;

- по тексту диссертации имеются некоторые орфографические и стилистические ошибки (например, стр. 70, 80 и др.).

Указанные замечания носят, в основном, рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку основных теоретических и практических результатов диссертационной работы Петренко Ф.И.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует тексту диссертации и последовательности изложения материала в диссертации. Содержание автореферата в достаточной степени отражает основные положения диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям

ГОСТ Р 7.0.11-2011

Структура и оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ. – 2012».

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
«Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14**

Диссертация Петренко Филиппа Игоревича на тему: «Расчет сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны с учетом геометрической и физической нелинейности» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»:

– по пункту 10 - диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, которые свидетельствуют о личном вкладе автора в строительную механику сетчатых оболочек. Диссертация содержит рекомендации по использованию научных выводов, а предложенные автором решения аргументированы и значимы по сравнению с другими известными решениями;

– по пункту 11 - основные научные результаты диссертации опубликованы автором в трёх рецензируемых научных изданиях. Соискателем в соавторстве было получено авторское свидетельство на программу ЭВМ (Св. 2015660251 Российская Федерация. Программа решения нелинейных задач теории пологих гипаров вариационно-разностным методом [Текст] / Трушин С.И., Петренко Ф.И.; заявитель Петренко Ф.И. – № 2015660251; заявл. 23.10.2015; рег. 25.19.2015).

– по пункту 14 - в диссертации соискатель надлежащим образом ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
«Положением о присуждении ученых степеней» по пункту 9**

Диссертация Петренко Филиппа Игоревича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач исследования НДС и устойчивости сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны на основе разработанных автором численных алгоритмов, а также с использованием существующих вычислительных комплексов. Работа имеет существенное значение для развития строительной механики нелинейно деформируемых сетчатых оболочек.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика.

Официальный оппонент,
Дмитриев Владимир Георгиевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Машиноведение и детали машин», ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет).

Адрес места работы: Волоколамское шоссе, д. 4, г.
Москва, 125993.

Тел.: +7 (985) 129-07-79.

E-mail: vgd2105@mail.ru

Специальность ВАК РФ, по которой защищена
диссертация: 01.02.04 - Механика деформируемого
твердого тела

В.Г. Дмитриев

Подпись Дмитриева В.Г. заверяю:

декан факультета № 9



Л.Н. Рабинский

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

ПЕТРЕНКО Филиппа Игоревича

«Расчет сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны с учетом

геометрической и физической нелинейности»

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.23.17 – Строительная механика

Актуальность избранной темы

Строительство крупномасштабных сооружений, использующих в качестве основного конструктивного элемента сетчатую оболочку отрицательной гауссовой кривизны, требует предварительной теоретической проработки технических решений, выявления оптимальных параметров конструкции, выявления критических состояний конструкции, таких, как глобальная потеря устойчивости или обрушение при внезапном выключении связи вследствие локальной потери устойчивости сжатым одномерным элементом. Большинство теоретических результатов, полученных к настоящему времени в области строительной механики сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны, основано на геометрически линейной теории оболочек и линеаризованной постановке задачи об устойчивости равновесного состояния. Решение задач о теоретическом описании геометрически и физически нелинейного деформирования сетчатой структуры континуальной моделью тонкой ортотропной оболочки, равно как и разработки схем дискретизации исходных начально-краевых задач и построения численного решения считать исчерпанным, очевидно, преждевременно. Следовательно, тема диссертационного исследования, выбранная автором, является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Методологический уровень исследования, логичность теоретических построений, строгая постановка задач исследования, сравнительный анализ полученных результатов позволяют сделать заключение о степени обоснованности

научных положений, выводов и рекомендаций, удовлетворяющей требованиям к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук.

Достоверность и новизна, полученных результатов

Анализ современной периодической литературы по профилю работы позволяет сделать заключение о степени новизны полученных автором результатов, удовлетворяющей требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Положенные в основу разработанного автором алгоритма численного решения задач о напряженно-деформированного состоянии оболочек в форме гиперболического параболоида строгие постановки задач теории упругости в дифференциальной и вариационной формулировке, обстоятельный анализ применяемых вариационно-разностных схем дискретизации и вычислительных процедур, обеспечивающих продолжение решения по наилучшему параметру, с одной стороны, и сравнение полученных результатов с численными решениями на основе иных апробированных алгоритмов и сертифицированных программных комплексов обеспечивают достоверность результатов, опубликованных в третьей главе. Грамотное и продуманное применение программных комплексов, реализующих метод конечных элементов, в сочетании с анализом морфологии сетчатых оболочек в форме гиперболоида вращения обеспечивает достоверность результатов, опубликованных в четверной главе диссертационной работы.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Автором предложена новая схема численного решения задач о нелинейном деформировании оболочек в форме гиперболического параболоида, имеющая несомненную теоретическую значимость. Продемонстрированная возможность реализации данной схемы в виде автономных программных модулей и перспектива применения в качестве структурных составляющих универсальных программных комплексов позволяет сделать вывод о практической значимости результатов исследования. К практически важным следует отнести результаты анализа несущей способности сетчатых оболочек в форме гиперболоида вращения при различной форме образующей, имеющие прикладное значение при проектировании сетчатых

элементов сооружений. Весьма важным представляется также вывод о завышении оценки критических сил при использовании линеаризованной постановки задачи.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 185 позиций и приложения. Содержание работы изложено на 189 страницах машинописного формата, включает 81 рисунок и 19 таблиц.

Во введении, в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению диссертационных работ, автором обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели диссертационного исследования и задачи, поставленные для достижения перечисленных целей, формулируются полученные автором результаты, имеющие существенную научную новизну, с учетом полученных результатов обоснована теоретическая и практическая значимость работы, а также изложены методы исследования, перечислены положения, выносимые автором на защиту диссертационной работы, и приведены сведения об апробации результатов.

В первой главе перечислены основные области применения сетчатых оболочек вращения отрицательной гауссовой кривизны в архитектуре и строительстве, наиболее значимые сооружения, в основу которых положены конструктивные элементы в виде сетчатых оболочек, в том числе наиболее современные, и на основе анализа современного развития крупногабаритных сетчатых конструкций сделан вывод об актуальности и перспективности общего направления исследований. Перечислены основные здания и сооружения, использующие в качестве основного конструктивного элемента оболочки в форме гиперболического параболоида. Приведен перечень ключевых работ, теоретически описывающих сетчатую оболочку как пространственную стержневую систему с использованием методов конденсации, обобщенных неизвестных и др. с целью снижения числа степеней свободы дискретной модели. Вкратце описаны основные работы, посвященные континуальным моделям теории сетчатых оболочек, указаны преимущества дискретного и континуального моделирования, приведены некоторые публикации, посвященные сравнению континуального и дискретного подходов. Перечислены также ключевые работы по механике оболочек в форме гиперболического параболоида и гиперболоида вращения, включая сетчатые

оболочки. Перечислены ключевые работы, закладывающие основы численных методов механики на базе конечно-элементной и вариационно-разностной схемы дискретизации, указаны основные преимущества каждого подхода.

Во второй главе приводится подробная информация об основных геометрических соотношениях теории поверхностей второго порядка, а именно поверхностей в форме гиперболического параболоида и однополостного гиперболоида вращения. Приводятся уравнения указанных поверхностей в канонической системе координат и соответствующие уравнения образующих, имеющие основное значение для последующих построений сетчатых каркасов. Установлены основные ограничения на габариты оболочек, составляющих предмет дальнейшего исследования, и перечислены т. н. показатели геометрии конструкции в форме гиперболического параболоида и однополостного гиперболоида вращения. В основу конструирования геометрии сетчатых каркасов оболочек в форме гиперболоида вращения автором положено условие пересечения образующих в семействе точек, лежащих на основаниях гиперболоида. С использованием указанного условия предложена форма записи уравнения гиперболоида вращения на базе двух ключевых параметров, определяемых количеством точек пересечения образующих на основаниях поверхности и точек пересечения образующих, имеющих общую точку на окружности горлового сечения поверхности, с основаниями гиперболоида. Показана возможность построения каркаса сетчатой оболочки в форме гиперболоида вращения семейством гипербол с общими асимптотами и эксцентриситетом и различными полуосями, линейными эксцентриситетами и фокальными параметрами. Показано, что густота сетки каркаса определяется приближением гиперболических элементов к асимптотам.

В третьей главе получена формулировка задачи о нелинейном деформировании пологой сетчатой оболочки применительно к гиперболическому параболоиду. Приведены кинематические соотношения нелинейной теории пологих оболочек и соотношения для приращений перемещений и деформаций на малом шаге нагружения. Построен в общем виде функционал энергии для оболочки, введена модель приведенного ортотропного континуального слоя и на базе функционала энергии и метода множителей Лагранжа построены определяющие уравнения для сетчатой оболочки, получены выражения для

приведенных физических постоянных. Получена матричная формулировка функционала энергии сетчатой оболочки, приведены естественные краевые условия задачи. Введены разностные формулы и построена разностная аппроксимация функционала, проведен анализ основных разностных соотношений и указаны разностные соотношения, обеспечивающие наилучшую скорость сходимости решения. Уравнение статики дискретного аналога оболочки представлено в градиентной форме и получено условие критической точки кривой равновесных состояний. Описано приложение метода продолжения по параметру к рассматриваемому классу задач с использованием длины дуги кривой равновесных состояний в качестве наилучшего параметра, приведено описание алгоритма численного решения на базе метода Ньютона-Рафсона, схем Крисфилда и Рикса. Проведен сравнительный анализ различных схем по экономичности. Пошаговое нагружение с коррекцией осуществляется методом Ньютона-Рафсона. Построено решение модельной задачи для сетчатой пластины и показана вполне удовлетворительная сходимость разработанного алгоритма. Эффективность вычислительного алгоритма на основе разработанной автором континуальной модели и продолжения по наилучшему параметру продемонстрирована на серии модельных задач для гипаров, построены кривые равновесных состояний.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния морфологии каркаса сетчатой оболочки в форме однополостного гиперболоида вращения на несущую его способность. В качестве основного параметра рассмотрен угол наклона прямолинейной образующей, проведено сравнительное исследование шести различных вариантов каркаса сетчатой оболочки при действии ветровой нагрузки. Показано, что уменьшение угла приводит к снижению продольных усилий и изгибающих моментов в прямолинейных элементах каркаса оболочки. В то же время наибольшие напряжения вследствие действия максимальных изгибающих моментов возникают в конструкции с минимальным углом наклона образующей; при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок наименьшие напряжения возникают в структуре с минимальным углом наклона образующей. Исследовано влияние на устойчивость сетчатой оболочки формы образующей, соответствующей кусочно-линейному приближению гиперболического каркаса поверхности. Показано, что структура с прямолинейной образующей обеспечивает

наименьший уровень внутренних усилий и максимальные критические нагрузки, определенные в бифуркационной постановке задачи. Исследовано влияние краевых условий на несущую способность сетчатой оболочки в форме однополостного гиперболоида. Приведены решения задач о потере устойчивости и закритическом деформировании сетчатых оболочек, построены кривые равновесных состояний, выявлены их критические точки. Установлено, что учет геометрической нелинейности приводит к значительному снижению оценок усилий, соответствующих потере устойчивости исходных форм равновесных состояний. Показано, что при определенных условиях нагружения криволинейный каркас обеспечивает большие по сравнению с прямолинейным каркасом критические силы. Выявлены частные случаи нагружения, допускающие расчет оболочки на устойчивость в линеаризованной постановке задачи. Проведено исследование устойчивости оболочки при учете пластических деформаций и предложена структура каркаса, обеспечивающая наивысшую несущую способность. Проведены расчеты оболочки при выключении внутренней связи.

В заключении перечислены результаты, составляющие основу проведенного исследования, имеющие научную новизну и практическую ценность.

В приложении приведено свидетельство о государственной регистрации программы для электронно-вычислительных машин, реализующей численный алгоритм решения нелинейных задач теории пологих оболочек в форме гиперболического параболоида вариационно-разностным методом.

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

1. Обзор литературных источников, содержащийся в главе 1 диссертационной работы, сводится к перечислению основных результатов, полученных ранее в области проводимого диссертантом исследования, особенно в области общей теории оболочек и численных методов механики тонкостенных конструкций. Анализ современного состояния проблемы, основанный на данном обзоре, выглядит недостаточным и не сопровождается исчерпывающим обоснованием научной новизны результатов диссертационного исследования, полученных автором. Данная недоработка затрудняет оценку личного вклада

автора в развитие строительной механики сетчатых оболочек и сооружений на их основе, тем не менее, присутствующего в достаточной мере для положительного заключения по диссертации.

2. Автореферат диссертации перегружен словесным описанием постановки задач и полученных результатов в ущерб математическим формулировкам и сжато представлению результатов в табличном и графическом виде, соответствующим работам по техническим наукам. В результате некоторые положения формулируются нечетко, например, «В данном случае жесткость оболочки в целом больше, чем при шарнирно-неподвижном закреплении ее по контуру» (с. 15), «с уменьшением угла наклона прямолинейной образующей к основанию возрастает жёсткость конструкции и уменьшаются значения внутренних усилий» (с. 16) и т. д. Кроме того, описание первой главы диссертации сведено к перечислению авторов, ранее работавших в направлении исследования, при этом опущены основные выводы, следующие из аналитического обзора и обосновывающие актуальность темы и научную новизну важнейших результатов, полученных автором лично.
3. Вторая глава диссертации содержит большой объем известного материала, носящего справочный характер (параграфы 2.1 – основные геометрические соотношения для гиперболического параболоида, 2.2 – основные геометрические соотношения для гиперболоида вращения), сопровождаемого единственной ссылкой на два используемых источника. Данный материал в части, заимствованной из цитируемых источников и необходимый для дальнейших построений, целесообразно переместить в приложение к диссертационной работе с целью, во-первых, выделить в тексте работы ключевые результаты, полученные автором лично (параграф 2.3), во-вторых, во избежание излишнего роста объема диссертации. Результаты, относящиеся к исследованию несущей способности сетчатой оболочки логически увязаны с четвертой главой в качестве ее вводного параграфа.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует тексту последовательности изложения материала диссертации, его содержание в целом отражает основные положения диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям

ГОСТ Р 7.0.11-2011

Структура и оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. – М.: Стандартинформ, 2012».

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11 и 14

Диссертация Петренко Филиппа Игоревича на тему: «Расчет сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны с учетом геометрической и физической нелинейности», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика, соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»:

- по пункту 10 - диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, которые свидетельствуют о личном вкладе автора в строительную механику сетчатых оболочек. Диссертация содержит рекомендации по использованию научных выводов, а предложенные автором решения аргументированы и значимы по сравнению с другими известными решениями;
- по пункту 11 - основные научные результаты диссертации опубликованы автором в трёх рецензируемых научных изданиях. Соискателем в соавторстве было получено авторское свидетельство на программу ЭВМ (Св. 2015660251 Российская Федерация. Программа решения нелинейных задач теории пологих гипаров вариационно-разностным методом [Текст] / Трушин С.И., Петренко Ф.И.; заявитель Петренко Ф.И. – № 2015660251; заявл. 23.10.2015; рег. 25.19.2015).
- по пункту 14 - в диссертации соискатель приводит надлежащим образом ссылки на источники заимствования материалов и отдельных результатов и их авторов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным

«Положением о присуждении ученых степеней» по пункту 9

Диссертация Петренко Филиппа Игоревича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач исследования напряжённо-деформированного состояния и устойчивости сетчатых оболочек отрицательной гауссовой кривизны на основе разработанных автором численных алгоритмов, а также с использованием существующих вычислительных комплексов. Работа имеет существенное значение для развития строительной механики нелинейно деформируемых сетчатых оболочек.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика.

Официальный оппонент

Жаворонок Сергей Игоревич,

кандидат физико-математических наук, доцент,

старший научный сотрудник отдела

«Механика адаптивных и композиционных

материалов и систем»

ФГБУН Институт прикладной механики

Российской академии наук – ИПРИМ РАН.

Адрес места работы: Ленинградский проспект, д.7,

г. Москва, 125040. Тел.: +7 (495) 946-17-77.

E-mail: Zhavoronok@iam.ras.ru

Специальность ВАК, по которой защищена

диссертация, 01.02.04 - Механика деформируемого

твёрдого тела.



С. И. Жаворонок

Подпись Жаворонка С. И. заверяю.

Ученый секретарь ИПРИМ РАН к.ф.-м.н.



Ю. Н. Карнет

