

**Заключение диссертационного совета Д 212.223.03 на базе  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования «Санкт-  
Петербургский государственный архитектурно-строительный  
университет» Министерства образования и науки Российской  
Федерации по диссертации Семенова Алексея Александровича на  
соискание ученой степени кандидата технических наук**

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 18 декабря 2014 года, протокол № 18

О присуждении Семенову Алексею Александровичу, гражданину  
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Геометрически нелинейная математическая модель  
расчета прочности и устойчивости ортотропных оболочечных  
конструкций» по специальности 05.23.17 – Строительная механика  
принята к защите 14 октября 2014 г., протокол № 13 диссертационным  
советом Д 212.223.03 на базе Федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального  
образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет» Министерства образования и науки  
Российской Федерации, 190005 г. Санкт-Петербург, ул. 2-я  
Красноармейская, д. 4, утвержден приказом Министерства образования и  
науки Российской Федерации от 2 ноября 2012 года № 714/нк, приказом  
Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 февраля  
2014 года № 55/нк, приказом Министерства образования и науки  
Российской Федерации от 19 марта 2014.года №126/нк.

Соискатель Семенов Алексей Александрович, 1989 года рождения,  
в 2011 году окончил Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-строительный университет»  
Министерства образования и науки Российской Федерации, по  
специальности «Прикладная математика».

В период подготовки диссертации, с 2011 по 2014 гг. соискатель Семенов Алексей Александрович обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по специальности 05.23.17 – Строительная механика; в настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации на кафедре прикладной математики и информатики старшим преподавателем.

Диссертация «Геометрически нелинейная математическая модель расчета прочности и устойчивости ортотропных оболочечных конструкций» выполнена в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на кафедре прикладной математики и информатики.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Карпов Владимир Васильевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, кафедра прикладной математики и информатики, профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Трушин Сергей Иванович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», кафедра строительной механики, профессор;

**Филатов Валерий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,

кафедра математики и моделирования, профессор, – дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» в своем положительном заключении, подписанном кандидатом технических наук, доцентом Колосовой Галиной Сергеевной, заместителем заведующего кафедрой, доцентом кафедры «Строительная механика и строительные конструкции» и утвержденном проректором по научной работе, кандидатом технических наук Райчуком Дмитрием Юрьевичем указала, что диссертация Семенова Алексея Александровича соответствует критериям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 17 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 5 работ, общим объемом 17.87. п.л., лично автором – 7 п.л.; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2014614627, РФ от 29.04.2014 г.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

**публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Семенов, А. А. Компьютерное моделирование докритического и закритического поведения тонкостенных оболочек при разных способах закрепления контура [Текст] / А. А. Семенов // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 4 (33). – С. 247–251. (0.25 п.л.)

2. Асеев, А. В. Визуализация напряженно-деформированного состояния тонкостенных ребристых оболочек [Текст] / А. В. Асеев, А. А. Макаров, А. А. Семенов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 38(3). – С. 226–232. (0.125 / 0.375 п.л.)

3. Карпов, В. В. Математическая модель деформирования подкрепленных ортотропных оболочек вращения [Текст] / В. В. Карпов, А. А. Семенов // Инженерно-строительный журнал. – № 5. – 2013. С. 100–106. (0.1875 / 0.375 п.л.)

4. Семенов, А. А. Алгоритмы исследования прочности и устойчивости подкрепленных ортотропных оболочек [Текст] / А. А. Семенов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – № 1. – 2014. – С.49–63. (0.875 п.л.)

5. Карпов, В. В. Исследование прочности пологих ортотропных оболочек из углепластика [Электронный ресурс] / В. В. Карпов, А. А. Семенов, Д. В. Холод // Электронный журнал «Труды МАИ». – № 76. – 2014. – С.1–20. (0.42 / 1.25 п.л.)

**публикации в других изданиях:**

6. Атисков, А. Ю. Компьютерные технологии расчета оболочек [Текст] / А. Ю. Атисков, Д. А. Баранова, В. В. Карпов, Л. П. Москаленко, А. А. Семенов. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 184 с. (2.3 / 11.5 п.л.)

7. Семенов, А. А. Программная реализация исследования устойчивости оболочек [Текст] / А. А. Семенов // Актуальные проблемы современного строительства: 64-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых. – В 3 ч. Ч. III. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – С. 72–77. (0.3125 п.л.)

8. Семенов, А. А. Методика учета формы контура тонкостенной оболочки, заданного функционально [Текст] / А. А. Семенов // Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения: материалы Международной научно-практической конференции. 10-12 октября 2012 г.; под общей редакцией А. Н. Егорова, А. Г. Черных; СПбГАСУ. – В 2 ч. Ч. I. – СПб., 2012. – С. 233–237. (0.25 п.л.)

9. Семенов, А. А. Исследование прочности тонкостенных оболочек из ортотропных материалов [Текст] / А. А. Семенов // Актуальные проблемы архитектуры и строительства: материалы V Международной

конференции. 25-28 июня 2013 г.; под общей редакцией Е. Б. Смирнова; СПбГАСУ. – В 2 ч. Ч. I. – СПб., 2013. – С. 425–432. (0.4375 п.л.)

10. Семенов, А. А. Исследование прочности и устойчивости тонкостенных пологих ортотропных оболочек [Текст] / А. А. Семенов // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвуз. темат. сб. тр. Вып. 19. – СПб.: СПбГАСУ, 2013. – С. 40–53. (0.8125 п.л.)

11. Карпов, В. В. Устойчивость тонкостенных оболочек при учете различных способов закрепления контура [Текст] / В. В. Карпов, А. А. Семенов // Новые идеи нового века – 2013: Материалы Тринадцатой Международной научной конференции. Т.2 // Тихоокеанский государственный университет. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. С.309–314. (0.156 / 0.3125 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. НИИ Механики МГУ им. М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук **С.Г. Пшеничнов.**

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

– В автореферате следовало бы четко указать, что именно считается началом общей потери устойчивости оболочки.

– Все вычисления проводятся в рамках линейной упругости, поэтому употребление терминов «остаточные деформации» и «область текучести» при нарушении критериев прочности требует пояснения.

– В формулах (5) и (6) обозначения не вполне удачны.

2. Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор, заведующий кафедрой строительной механики **В.А. Игнатъев.**

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

– На стр. 15, 16 приводится график зависимости «нагрузка-прогиб» для рассматриваемой пологой оболочки. Интерпретация этого графика порождает ряд вопросов из-за недостаточной убедительности. Во-первых, кривая максимального прогиба не связана с определенной точкой на поверхности оболочки. Во-вторых, кривые прогибов в центре, в четверти и восьмой части прямоугольной в плане оболочки не вполне корректно могут отражать смену «хлопком» форм потери устойчивости.

– Поведение более простой, но подобной конструкции - двухшарнирной арки под равномерно распределенной нагрузкой показывает, что при смене формы потери устойчивости меняется положение и количество, так называемых, «нулевых точек», т.е. точек перегиба линии прогибов. Поэтому более информативным будет сравнение энергий системы, находящейся в разных критических состояниях, т.е. энергий, соответствующих разным формам потери устойчивости. Тогда было бы понятно, что «хлопки» связаны с переходом с одного энергетического уровня на другой при смене формы потери устойчивости.

3. Петрозаводский государственный университет, зав. кафедрой общетехнических дисциплин Института лесных, инженерных и строительных наук, доктор технических наук, профессор **Г.Н. Колесников.**

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

- термин «наилучший параметр» (с. 5,10,23) желательно пояснить;
- в выводах (с. 23-25) нет явной формулировки перспектив развития работы.

4. ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Дифференциальные уравнения», доктор физико-математических наук, профессор **Е.Б. Кузнецов.**

*Отзыв положительный, имеется замечание:*

– из автореферата не ясно как идентифицируются и преодолеваются точки бифуркации на кривых нагружения.

5. Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, ведущий научный сотрудник отдела динамики и устойчивости сплошных сред, доктор физико-математических наук **В.А. Максимюк.**

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

– Отсутствует четкая постановка задачи, она размыта в различных положениях введения и основного текста. Например, только в подразделе 3.1 можно понять, что рассматриваются только хрупкие ортотропные материалы.

– Подраздел 1.1 выглядит несколько академическим.

– В автореферате целесообразно было бы представить некоторые результаты тестирования из подраздела 5.7.

– Среди работ сотрудников нашего Института можно было бы найти тестовые задачи, которые лучше бы продемонстрировали эффективность метода, чем приведенные в диссертации.

6. ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ), доцент кафедры «Городского, дорожного строительства и строительной механики», кандидат технических наук **К.Е. Никитин.**

*Отзыв положительный, имеется замечание:*

– в п.4 общих выводов сказано о достижении в первую очередь предельных напряжений вдоль оси «у», но не дано объяснение этому факту.

7. ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», профессор кафедры теоретической и прикладной механики, доктор технических наук, профессор **Х.П. Культербаев.**

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

- Трудно понять к каким точкам оболочки относятся кривые рис. 4 (стр. 16). Пояснения на стр. 15 типа: «кривая максимального прогиба», «кривая прогиба  $W_4$  в четверти», «кривая  $W_8$  в восьмой части» не позволяют однозначно определить положение соответствующей точки оболочки.
- Известно, что потеря устойчивости оболочек рассматриваемого типа очень чувствительна к начальным несовершенствам геометрической формы. Между тем этот вопрос никак не затронут в исследованиях автора.
- Как следствие учёта геометрической нелинейности оболочки, зависимости  $q-w$  (рис. 4, 7) имеют множество областей неоднозначного соответствия. В таких случаях положения статического равновесия, как правило, разделяются на устойчивые и неустойчивые, которые не могут физически реализоваться. Автору следовало бы провести для полноты анализа соответствующую квалификацию точек кривых.

8. ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», профессор кафедры "Космические аппараты и ракеты-носители", доктор технических наук, профессор **А.А. Смердов.**

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

- сделанные в диссертации выводы о том, что при переходе к геометрически нелинейной постановке расчетные нагрузки потери прочности уменьшаются в 5-10 раз, как и о том, что при подкреплении ребрами значительно повышаются предельные нагрузки не только по устойчивости, но и по прочности, относятся к крупногабаритным строительным оболочкам большой гибкости и объясняются именно этой гибкостью; следует с осторожностью переносить эти выводы на более жесткие оболочки меньших

габаритов, используемые в ракетно-космической технике и на транспорте.

– приведенные в таблице 6 величины предельных напряжений по достижению предела прочности однонаправленного композита при поперечном растяжении  $F_2^+$  не всегда соответствуют полному исчерпанию прочности многослойного композита; во многих случаях композитная конструкция и после первого разрушения продолжает воспринимать возрастающую нагрузку.

– В качестве замечания можно также отметить недостаточное внимание, проявленное автором при редактировании текста автореферата. Так, при изложении научной новизны исследования в п. 6 одна и та же мысль выражена одними и теми же словами два раза подряд; при формулировке задач работы в п. 4 присутствует выражение «наиболее оптимального» и т.д.

9. Белорусский государственный университет транспорта, зав. кафедрой «Строительная механика», доктор физико-математических наук, профессор **Э.И. Старовойтов**; профессор кафедры «Строительная механика», доктор физико-математических наук, доцент **Д.В. Леоненко**.

*Отзыв положительный, замечаний нет.*

10. Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО "Волгоградский государственный технический университет", кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики, **В.Н. Тышкевич**.

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

– в автореферате не достаточно ясно представлена информация о внешней нагрузке на оболочку - постоянная поперечная нагрузка  $q$ , МПа.

– каким образом в математической модели учитывается изменение кривизны оболочки при больших перемещениях?

- при анализе закритического поведения и предельных нагрузок углепластиковых оболочек целесообразно учитывать возможность расслоений (межслоевых сдвигов) и очерёдность разрушения слоев.

11. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, заведующий кафедрой строительной механики, доктор технических наук, профессор **В.А. Баженов**; докторант кафедры строительной механики, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник **О.П. Кривенко**.

*Отзыв положительный, замечаний нет.*

12. ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук **А.П. Янковский**.

*Отзыв положительный, имеются замечания:*

- Неудачно построена фраза в п. 6 на стр. 5 (повтор текста); аналогично, и на стр. 21.
- В формуле (1) деформации  $\gamma_{xz}$ ,  $\gamma_{yz}$ , не используются, а в пояснении к формуле они присутствуют.
- Из текста неясно, сколько слагаемых удерживалось в разложениях (5) неизвестных функций и чем был обоснован выбор значения  $N$ , ведь от этого существенно зависят результаты расчетов, особенно при изучении закритического поведения оболочек.
- На стр. 12 введена матрица Якоби, но ни в каких формулах она не используется.
- На стр. 14 автор говорит об остаточных деформациях при закритическом деформировании, а на стр. 24 дважды речь заходит о текучести материала. Неясно, что имеет в виду автор, если в работе рассматривается только упругое поведение материалов конструкций.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью в этой отрасли науки и

способностью определить научную и практическую ценность диссертации, спецификой и актуальностью их основных научных работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**Разработаны** геометрически нелинейная математическая модель деформирования подкрепленных ортотропных оболочек, комплексно учитывающая ряд важных факторов, что делает ее наиболее точной; алгоритм исследования прочности и устойчивости оболочечных конструкций, основанный на методе Рунге и методе продолжения решения по наилучшему параметру, который реализован в виде программы для ЭВМ.

**Предложено** для оболочек, часто подкрепленных ребрами, использовать метод конструктивной анизотропии, учитывающий их сдвиговую и крутильную жесткости.

**Доказано**, что исследование устойчивости ортотропных оболочек должно проводиться совместно с исследованием их прочности в рамках одной модели, т.к. для некоторых видов оболочек сначала теряется устойчивость, а затем прочность, но может быть и обратная ситуация.

**Введена** единообразная форма записи различных критериев прочности ортотропного материала для последующего сравнительного анализа прочности конструкций.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**Доказано**, что при исследовании прочности ортотропных оболочечных конструкций необходимо учитывать геометрическую нелинейность, иначе значения предельных нагрузок могут быть существенно завышены.

**Применительно к проблематике диссертации результативно** использованы математические модели оболочек с учетом поперечных сдвигов; для решения нелинейных уравнений использованы: метод продолжения решения по наилучшему параметру, позволяющий обходить особые точки кривой равновесных состояний без необходимости ручной

смены параметра продолжения решения, и позволяющий использовать для повышения точности адаптивный выбор сетки.

**Изложены** основные критерии прочности ортотропных материалов.

**Раскрыто** преимущество оболочечных конструкций из современных полимерных ортотропных материалов по сравнению с традиционными изотропными материалами.

**Изучено** закритическое поведение оболочек и выявлены местные и общие формы потери устойчивости.

**Проведена модернизация** существующих математических моделей деформирования подкрепленных оболочек для ортотропных материалов.

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

**Разработаны и внедрены** математическая модель и алгоритм исследования прочности и устойчивости в научные исследования по проектам № 2.1.2/10824 и № 8.1046.2011 «Математическое и программное обеспечение расчетов прочности и устойчивости подкрепленных оболочек вращения» Аналитической ведомственной целевой программы Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы» (2011, 2012-2014 годы); в проектно-конструкторской деятельности ООО «ПускМонтажПроект», Санкт-Петербург, а также в учебном процессе.

**Определены** перспективы применения некоторых современных композиционных материалов в строительстве для покрытия большепролетных строительных сооружений.

**Создана** программа расчета на ЭВМ, позволяющая проводить расчет на прочность и устойчивость подкрепленных ортотропных оболочек на основе наиболее точных математических моделей их деформирования и получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614627, РФ от 29.04.2014 г.

**Представлены** рекомендации для проектных организаций по расчету прочности и устойчивости оболочечных конструкций из ортотропных материалов на основе проведенных исследований.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

**Для экспериментальных работ** – выполнены вычислительные эксперименты с помощью среды аналитических вычислений Maple 17, в которой был реализован предложенный алгоритм расчета. Вычисления проводились на ЭВМ на базе процессора Intel Core i7-2600 и трех модулей оперативной памяти общим объемом 24 Гб.

**Теория** построена на известных гипотезах и допущениях теории оболочек, теории прочности, строительной механики.

**Идея базируется** на апробированных методах строительной механики и вычислительной математики (метод Ритца, метод продолжения решения по наилучшему параметру, метод Эйлера, метод конструктивной анизотропии), а также обобщении опыта аспирантов и докторантов профессора В.В. Карпова и опыта других отечественных и зарубежных ученых в области теории оболочек.

**Использовано** сравнение результатов расчета тестовых задач с некоторыми решениями, полученными другими авторами, а также качественным согласованием результатов расчета с результатами экспериментов других авторов.

**Установлено,** что полученные автором результаты представляют большой научный и практический интерес в области исследования прочности и устойчивости ортотропных оболочечных конструкций, а также обладают необходимой научной новизной. Сравнение результатов расчета тестовых задач с результатами других авторов показало качественное соответствие поведения и количественное соответствие значений критических нагрузок оболочечных конструкций.

**Использованы** современные методы поиска и обработки литературных источников по теме исследования, в том числе поиск по зарубежным базам данных научных статей.

**Личный вклад** соискателя состоит в выполнении всех этапов диссертационной работы; в разработке математической модели деформирования ортотропных оболочек; в разработке алгоритма исследования прочности и устойчивости таких оболочек; в разработке программы расчета на ЭВМ; проведении комплексных исследований прочности, устойчивости и закритического поведения оболочек; анализе полученных результатов; формулировке выводов и рекомендаций по использованию полученных результатов. Все результаты диссертационной работы принадлежат лично автору.

На заседании 18.12.2014 года диссертационный совет принял решение присудить Семенову Алексею Александровичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 0.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА  
Д 212.223.03,  
доктор технических наук, проф

 МОРОЗОВ В.И.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
СОВЕТА Д 212.223.03,  
доктор технических наук, проф

 КОНДРАТЬЕВА Л.Н.

«18» декабря 2014 г.