

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Пак Сонги

Тема диссертации: Статическая и динамическая устойчивость тонкостенных конструкций, содержащих жидкость

Специальность: 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 27 декабря 2023 года, протокол 24, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Пак Сонги является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

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

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

Члены диссертационного совета: Вестяк В.А., Дмитриев В.Г., Медведский А.Л., Миронова Л.И., Рабинский Л.Н., Солдатенков И.А., 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. Анискина



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» декабря 2023 г. № 24

О присуждении Пак Сонги, гражданке Республики Корея, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Статическая и динамическая устойчивость тонкостенных конструкций, содержащих жидкость» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите «25» октября 2023 г., протокол № 23, диссертационным советом 24.2.327.07 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 Пак Сонги, 20 марта 1992 года рождения, в 2018 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика». В 2022 году Пак Сонги окончила аспирантуру федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

Диссертация выполнена на кафедре 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, старший научный сотрудник **Григорьев Валерий Георгиевич**, профессор кафедры «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Попов Александр Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории Механики прочности и разрушения материалов и конструкций федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской Академии Наук», г. Москва,

Темнов Александр Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н. Э. Баумана), г. Москва,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт прикладной механики Российской

академии наук (ИПРИМ РАН)», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, заместителем директора Данилиным Александром Николаевичем, утвержденном доктором технических наук, директором федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН)» Власовым Александром Николаевичем, указала, что диссертация Пак Сонги представляет собой законченную квалификационную работу, которая изложена хорошим научно-техническим языком. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 01.10.2018) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Пак Сонги, безусловно заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, 2 из которых – в журналах из перечня ВАК РФ, 2 статьи – в журналах, индексируемых в Scopus.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Пак Сонги, Григорьев В.Г. Устойчивость тонкостенных осесимметричных соосных конструкций, содержащих жидкость, при многофакторных нагрузках // Труды МАИ. – № 119. – 2021. – 18 с.

2. Пак Сонги, Григорьев В.Г. Моделирование динамической устойчивости тонкостенных конструкций, частично заполненных жидкостью, при гидростатическом воздействии // Математическое моделирование и численные методы, 2022, № 3, С. 3–17. doi: 10.18698/2309-3684-2022-3-317.

3. Park SongYi, Grigoriev V.G. The stability of thin-walled axial symmetric structures made up two coaxial shells containing liquid under the multifactor static loading // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC 71,

Connecting @ll Space People. Сер. "71st International Astronautical Congress, IAC 2020 - The CyberSpace Edition" Том 2020-October. 2020.

4. Park SongYi, Grigoriev V.G. A multivariate study of the stability of toroidal thin-walled structures containing liquid // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, Сер. "IAF Materials and Structures Symposium 2021 - Held at the 72nd International Astronautical Congress, IAC 2021" Том C2.

В этих и остальных работах разработаны методики исследования статической и динамической устойчивости осесимметричных тонкостенных упругих оболочечных конструкций, полости которых могут содержать идеальную несжимаемую жидкость. В материалах совместных публикаций личный вклад автора является определяющим.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от кандидата физико-математических наук, доцента кафедры «Математика» Московского политехнического университета, Когана Ефима Александровича, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, начальника отдела АО «ЦНИИмаш» Бужинского Валерия Алексеевича, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора, начальника бюро конструкторского отдела прочности и теплообмена производственного комплекса «Салют» АО «ОДК» Лопаницына Евгения Анатольевича, 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 федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН)» имеются следующие замечания:

1. Литературный обзор следует дополнить кратким анализом существующих моделей динамики тонкостенных конструкций, частично заполненных жидкостью, основных методов решения поставленных задач. В этом случае будет проще понять место и роль настоящего диссертационного исследования. В работе стоит дополнительно отметить, например, работы Л.И. Балабуха, И.Б. Богорада, Э.И. Докучаева, Г.Н. Микишева, Б.И. Рабиновича, Ф.Л. Черноусько, Ф.Н. Шклярчука, внесших существенный вклад в развитие теории расчёта тонкостенных оболочек, частично заполненных жидкостью.

2. В численных примерах отсутствует информация о конечно-элементных сетках. Также не приведен анализ сходимости и точности численных решений в зависимости от степени дискретизации (числа конечных элементов).

3. На графиках, представленных на рис. 3.7, 3.9, 3.12, 3.27, отсутствуют обозначения координатных осей.

4. В работе имеются стилистические неточности и опечатки.

Замечания в отзыве официального оппонента Попова А.Л.:

1. В своей работе Пак Сонги учла многие особенности задач статической и динамической устойчивости оболочек, контактирующих с жидкостью, оставаясь при этом в рамках рассмотрения жидкости как несжимаемой. Не ясно, что помешало ей использовать более общую модель сжимаемой жидкости, широко применяемую при описании колебаний жидкости, совместных с колебаниями тонкостенной конструкции.

2. В одном из примеров исследования статической устойчивости осесимметричных конструкций, взаимодействующих с ограниченными объемами жидкостей, приведенном на с. 79-85 диссертации, для конструкции, состоящей из двух соосных оболочек, полость между которыми

заполнена жидкостью, автор, с целью наглядного показа снижения низших собственных частот осесимметричных колебаний, вычисленных при различных значениях давления на внешнюю и внутреннюю стенки конструкции, допустила чрезмерное увеличение давлений, которых, по-видимому, не выдержала бы данная конструкция в статике.

3. Для оценки качественных параметров программы расчета собственных частот и форм колебаний осесимметричных тонкостенных конструкций с жидкостью следовало бы привести результаты тестирования, показывающего сходимость получаемых значений собственных частот к точным значениям при увеличении числа степеней свободы для нескольких вариантов конструкции.

Замечания в отзыве официального оппонента Темнова А.Н.:

1. Исследование параметрического возбуждения неосесимметричных колебаний выполнено с учетом в системе лишь одного неосесимметричного тона. Добавление в систему уравнений еще тонов с другим числом волн по окружности могло бы расширить область динамической неустойчивости осесимметричных колебаний.

В отзывах на автореферат следует отметить следующие замечания:

1. Можно выразить пожелание отразить в тексте информацию о количественных параметрах использованных в расчетах конечно-элементных моделей, что не снижает, в общем, значимость полученных результатов.

2. Правильнее говорить о силах тяжести и гидростатического давления, а не о действии сил гравитации. Если «вся система находится под действием однородного гравитационного поля», то эта система и жидкость в ней будут в состоянии невесомости. Положение свободной поверхности жидкости в покое определяется направлением главного вектора всех других действующих на объект сил, кроме сил гравитации.

3. Полученные результаты справедливы для реальных жидкостей при больших числах Рейнольдса, что равносильно принятому допущению об идеальности жидкости. Влияние жидкости на устойчивость оболочки при

квазистатической нагрузке проявляется только через гидростатическое давление.

4. Так как колебания жидкости принимаются малыми, то допустимо применение потенциала смещений, но общепринято использование потенциала скоростей, что не встречает никаких трудностей.

5. В общем случае на свободной поверхности жидкости ставится условие постоянства давлений, но, как представляется, все расчеты проведены без выполнения этого условия, а влияние волн на свободной поверхности ничтожно во всех рассмотренных случаях.

6. Можно отметить пожелание оценить взаимное влияние неосесимметричных тонов с различным числом волн по окружности при исследовании параметрических резонансов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области механики деформируемого твердого тела. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана уточненная методика пространственного Фурье-анализа спектра осесимметричной тонкостенной конструкции, контактирующей с объёмами несжимаемой жидкости, для исследования статической устойчивости при действии гравитационного поля и осесимметричных силовых факторов;

предложен метод прямого интегрирования нелинейных динамических уравнений для построения областей параметрического возбуждения неосесимметричных колебаний осесимметричной тонкостенной конструкции при продольном динамическом воздействии;

доказана перспективность идей, изложенных в диссертации, применительно к решению задач статической и динамической устойчивости тонкостенных конструкций);

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что методика пространственного Фурье-анализа спектра осесимметричной тонкостенной конструкции, контактирующей с объёмами несжимаемой жидкости, может эффективно использоваться для многофакторного исследования статической устойчивости и построения границ области неустойчивости в пространстве двух или трех силовых или конструктивных параметров;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе методы механики деформируемого твердого тела, разложение решения в ряды Фурье, метод конечных элементов, метод прямого интегрирования;

изложены принципы разработки конечно-элементных моделей, позволяющие численно исследовать статическую и динамическую устойчивость тонкостенных конструкций, содержащих жидкость, при действии гравитационного поля и осесимметричных силовых факторов, а также учитывать их влияние на величины собственных частот;

раскрыты возможности построенной математической модели, позволяющие численным интегрированием исследовать переходные процессы колебаний системы как в области динамической неустойчивости параметров воздействия, так и вне ее; показан параметрический характер неосесимметричных колебаний тонкостенной конструкции, контактирующей с объёмами несжимаемой жидкости, при осесимметричном воздействии; получены границы областей параметрических резонансов как основного (1-го порядка), так и более высоких порядков;

изучено влияние критических величин толщины оболочек, частично заполненных жидкостью, и «мнимых частот», наличие которых характеризует потерю статической устойчивости нагруженной конструкции.

проведена модернизация аналитических и численно-аналитических методов и алгоритмов исследования устойчивости осесимметричной тонкостенной конструкции с жидкостью.

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

разработаны методики и алгоритмы расчета для повышения надежности эксплуатации изделий, включающих осесимметричные тонкостенные упругие конструкции, содержащие идеальную несжимаемую жидкость;

определены перспективы практического использования разработанных методов и алгоритмов применительно к решению задач устойчивости осесимметричной тонкостенной конструкции с жидкостью;

созданы новые эффективные алгоритмы исследования устойчивости осесимметричной тонкостенной конструкции с жидкостью;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию численно-аналитических методов решения задач устойчивости осесимметричных тонкостенных конструкций с жидкостью.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики упругих деформируемых тел и гидродинамики, методы решения математически строги и непротиворечивы, реализованные алгоритмы исследованы на сходимость, приведено сравнение полученных автором результатов с известными результатами других авторов;

идея базируется на использовании метода пространственного Фурье-анализа спектра и метода прямого интегрирования осесимметричной тонкостенной конструкции для исследования устойчивости;

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 следующем:

1. Модернизирован метод пространственного Фурье-анализа спектра осесимметричных тонкостенных конструкций применительно к исследованию статической устойчивости при действии осесимметричной нагрузки.

2. Выполнены многочисленные расчеты для построения областей статической устойчивости осесимметричных тонкостенных конструкций, содержащих жидкость, при многофакторном анализе с учетом конструктивных параметров и параметров действующих нагрузок.

3. Разработан вариант метода прямого численного интегрирования нелинейных модальных уравнений для исследования динамической неустойчивости осесимметричного отклика тонкостенной конструкции с жидкостью на гармоническое продольное (осесимметричное) воздействие, обусловленной параметрическим резонансом неосесимметричных форм колебаний.

4. Выполнены расчеты, доказавшие высокую эффективность предложенного метода прямого численного интегрирования нелинейных модальных уравнений и показавшие возможность исследования областей не только основного параметрического резонанса, но и резонансов высших порядков.

