

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФГБУН

"Институт прикладной механики
Российской академии наук" (ИПРИМ РАН),
д.т.н. Власов Александр Николаевич



«04» декабря 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Пак Сонги
«Статическая и динамическая устойчивость тонкостенных конструкций,
содержащих жидкость», представленной к защите на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 1.1.8
«Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность и цель диссертационного исследования

Подвижные тонкостенные оболочки, частично заполненные жидкостью, используются в различных технических системах, например, самолётах, ракетах и др. Являются практически востребованными задачи обеспечения надёжности хранения жидкостей в баках и цистернах, содержания топлива в крупногабаритных отсеках судов. Это приводит к вопросу об их безопасности и долговечности в условиях нестационарного внешнего воздействия. Жидкость оказывает большое влияние на их динамические характеристики. Наличие жидкости в некоторых случаях может послужить причиной возникновения в системе параметрических колебаний и динамической неустойчивости. Известно, например, что из-за подвижности жидкого топлива в опорожнённых на 85% баках отделяемый двигательный отсек космического корабля «Аполлон» потерял устойчивость и начал вращаться относительно поперечной оси с изменением траектории движения. Через некоторое время отсек прошёл в опасной близости от траектории движения командного отсека Аполлона.

Широкий спектр внешних и внутренних динамических нагрузок и наличие чувствительной системы управления создают много различных проблем динамики, связанных с взаимодействием упругой конструкции,

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«08» 12 2023 г.

подвижной жидкости и системы управления. В этой связи, тема диссертационной работы представляется **актуальной** и практически востребованной. В диссертации рассмотрены осесимметричные оболочечные конструкции, содержащие жидкость, с **целью** разработки методики исследования их статической и динамической устойчивости.

Научная новизна работы определяется полученными результатами:

1. На основе Фурье-анализа разработана методика для исследования статической устойчивости осесимметричных тонкостенных конструкций, контактирующих с несжимаемой жидкостью, при действии гравитации и осесимметричных нагрузок.

2. Предложен метод численного интегрирования нелинейных уравнений неосесимметричных колебаний тонкостенной конструкции с объёмами жидкости, возбуждаемых продольным периодическим воздействием, на основе которого построены области параметрического возбуждения, исследована динамическая устойчивость гармонических колебаний конструкций осесимметричных баков.

3. В рамках линейной теории разработана модель для исследования статической и динамической устойчивости тонкостенных конструкций, содержащих жидкость, при действии гравитации и осесимметричных силовых факторов.

4. Разработана математическая модель для исследования переходных процессов колебаний системы, как в области динамической неустойчивости, так и вне её. Получены границы областей параметрических резонансов.

5. Исследован спектр статически нагруженной конструкции, определены критические толщины оболочек, частично заполненных жидкостью, и параметры, характеризующие потерю статической устойчивости конструкции.

Достоверность полученных результатов определяется применением строгих методов механики деформируемого твердого тела, теории упругости, теории дифференциальных уравнений. Достоверность также подтверждается из

сравнения полученных решений с известными аналитическими и численными решениями.

Практическая значимость. Разработанные в диссертационной работе подходы и алгоритмы являются актуальными и практически востребованными в практике проектирования тонкостенных оболочечных конструкций, частично заполненных жидкостью. Разработанные работы могут быть использованы на этапе проектирования баллонов и резервуаров специального назначения при оценке их прочности и долговечности.

Апробация результатов работы была проведена на российских и международных конференциях:

1) Международной молодёжной научной конференции «XLV Гагаринские чтения» (Москва, МАИ, 2019 г.).

2) 18-й и 20-й международных конференциях «Авиация и космонавтика» (Москва, МАИ, 2019 г., 2020 г.).

3) XXVII международном семинаре «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова (Москва, 2021 г.).

4) 71st, 72nd International Aeronautical Congress, IAC (The CyberSpace Edition, 2020, Дубай, 2021 г.).

Результаты работы представлены в 9 публикациях, в том числе, две работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, и две входят в перечень Scopus.

Объём и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка используемой литературы (84 источника). Общий объем диссертации составляет 144 страницы.

Во введении даётся характеристика диссертационной работы, описываются цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость, достоверность полученных результатов, приводятся данные о структуре и объёме работы.

В первой главе дается обзор известных работ, связанных с тематикой проводимых исследований, дается обоснование выбранному направлению исследований, сформулированы цели и задачи диссертационной работы. Коротко описано развитие направления исследований, связанных с устойчивостью тонкостенных систем с жидкостью. Приведены также работы по нелинейной теории упругих оболочек, экспериментальным исследованиям, численным методам решения связанных задач упругости оболочек с жидкостью.

Во второй главе представлена математическая формулировка задачи, даны основные уравнения, описывающие совместные колебания упругой оболочки и ограниченного объема жидкости, находящейся внутри оболочки. Считается, что жидкость – идеальная и несжимаемая среда. Вся система находится под действием однородного гравитационного поля. В предположении малости колебаний записываются уравнения колебаний в линейном приближении. Используются нелинейные деформационные соотношения, которые линеаризуются в окрестности начального статического состояния. Это позволяет описывать малые колебания статически нагруженной системы линейными уравнениями.

Математическая модель учитывает гравитационные колебания свободной поверхности жидкости и энергию контактного взаимодействия жидкости со смоченной поверхностью стенок упругой оболочки.

В разделе 2.1 рассматриваются малые колебания упругой конструкции с полостью, частично заполненной жидкостью. Движение жидкости в полостях описывается при помощи потенциалов смещения. Давление в жидкости определяется как сумма гидростатической составляющей и её малой вариации. Физические соотношения упругости считаются линейными.

С учётом принятых допущений записываются выражения для потенциальной и кинетической энергии колебаний гидроупругой системы. Задача, далее формулируется на основе смешанного вариационного принципа,

обеспечивающего выполнение кинематических условий на границе контакта и свободной поверхности жидкости.

В разделе 2.2 тонкостенная конструкция рассматривается как упругая оболочка. Для построения решения используются ряды Фурье. Для учёта влияния статического напряженно-деформируемого состояния оболочки используются нелинейные деформационные соотношения.

В разделе 2.3 формулируется конечно-элементная модель колебаний системы с учётом влияния начального статического состояния.

Раздел 2.4 посвящен алгоритмам численного решения задачи о колебаниях тонкостенных конструкций, взаимодействующих с ограниченными объёмами жидкости.

В третьей главе рассматривается методика расчёта статической устойчивости осесимметричных оболочечных конструкций с жидкостью под воздействием гравитации и осесимметричных нагрузок. Приводятся примеры расчёта, на которых продемонстрирована эффективность разработанных алгоритмов для построения областей статической устойчивости осесимметричных тонкостенных конструкций.

В четвертой главе приводится методика расчёта динамической устойчивости осесимметричных оболочечных конструкций, контактирующих с объёмами несжимаемой жидкости, под воздействием продольного гармонического воздействия. Получены уравнения в нормальных координатах, описывающих нелинейные колебания оболочек с жидкостью. Исследования системы в вариациях позволили получить условия параметрического возбуждения неосесимметричных форм колебаний.

В заключении обобщены результаты, полученные в диссертационном исследовании.

Диссертация и автореферат диссертации изложены хорошим научно-техническим языком. Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

По диссертации и автореферату **имеется ряд замечаний:**

1. Литературный обзор следовало бы дополнить кратким анализом существующих моделей динамики тонкостенных конструкций, частично заполненных жидкостью, основных методов решения поставленных задач. В этом случае было бы проще понять место и роль настоящего диссертационного исследования. В работе следовало бы 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.

Заключение

Сделанные замечания не снижают теоретическую и практическую значимость полученных результатов. Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук пунктами 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями). Автор диссертации Пак Сонги заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на научно-методическом семинаре «Отдела механики адаптивных композиционных материалов и

систем». Утвержден на заседании Ученого совета Института прикладной механики Российской академии наук, протокол № 08/23 от 28.11.2023.

Отзыв составил:

Заместитель директора

по научной работе

ИПРИМ РАН, д.ф.-м.н.



Данилин Александр Николаевич

Контактные данные организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной механики Российской академии наук.

Адрес: 125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д.7, стр.1.

Телефон: +7 495 946-18-06

E-mail: iam@iam.ras.ru

Официальный сайт: <https://iam.ras.ru/>

Учёный секретарь

ИПРИМ РАН, к.ф.-м.н.



Карнет Юлия Николаевна

С отзывом ознакомлена
Имя 08.12.2023