

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Аунг Чжо Тху на тему «Исследование зоны контакта оболочки под давлением зажатой между абсолютно жесткими пластинами» по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Актуальность.** Представленная диссертационная работа посвящена исследованию контакта между цилиндрической оболочкой эллиптического сечения, находящейся под давлением, и двумя жесткими плитами.

Тонкостенные оболочки широко применяются в технике и являются одним из самых распространенных типов современных и перспективных конструкций. В настоящее время известно множество работ, посвященных решению контактных задач для оболочек. Среди них можно выделить работы, в которых перемещения оболочки при деформациях ограничено контактом оболочки с жесткими поверхностями. В ряде исследований рассмотрены задачи в нелинейной постановке с учетом больших прогибов и задачи нестационарного взаимодействия оболочек с препятствиями. Кроме того, известны работы, в которых аналитически решаются задачи о деформации балок и пластин, контактирующих с жесткими поверхностями.

Вместе с тем, исследований по определению площади контакта оболочек эллиптического сечения, расположенных между двумя абсолютно жесткими пластинами и нагружаемых внутренним давлением, в настоящее время не проведено. Соискателем в диссертации развиваются методы приближенного аналитического расчета таких конструкций, а также представлены результаты численного моделирования и исследования влияния геометрических параметров оболочек на их напряженно-деформированное состояние (НДС), что позволяет признать работу **актуальной и соответствующей** специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

**Научная новизна** работы определяется тем, что получено новое аналитическое и численное решение задачи по определению зоны контакта между тонкостенной цилиндрической оболочкой эллиптического сечения и двумя жесткими преградами. Проведено исследование влияния геометрических параметров цилиндрической оболочки на ширину зоны контакта. Получены зависимости ширины зоны контакта от гидростатического давления, действующего на внутреннюю поверхность цилиндрической оболочки

эллиптического сечения, и предварительного зазора между оболочкой и преградой.

По **структуре** диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 170 источников. Работа содержит 121 страницу основного текста, включая 61 рисунок.

**Во введении** автором представлена краткая характеристика работы и обоснована актуальность темы исследования, формулируются цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы. Приведены сведения о научных мероприятиях, на которых проводилась апробация работы, и публикациях соискателя по теме диссертационного исследования.

**В первой главе** выполнен анализ современного состояния в области диссертационного исследования, на основе результатов проведенного литературного обзора отечественных и зарубежных научных публикаций.

**Во второй главе** аналитически решена задача об оценке ширины зоны контакта цилиндрической оболочки эллиптического сечения с жесткими преградами. Разработана методика определения зоны контакта с учетом начального зазора. Построены решения для двух вариантов оболочек эллиптического сечения с учетом различных вариантов зазора, дан анализ влияния геометрических параметров сечения оболочки на ширину зоны контакта.

**В третьей главе** проведено численное моделирование двух вариантов оболочек в системе конечно-элементного (МКЭ) анализа Ansys Workbench. Проведено сравнение результатов численного моделирования с полученным аналитическим решением и расчетами, выполненными на его основе в предыдущей главе. В частности, рассмотрено влияние начального зазора между оболочкой и преградами на ширину зоны контакта, проведена численная оценка влияния краевых эффектов для консольно закрепленной оболочки.

**В четвертой главе** проведена экспериментальная оценка погрешности геометрии реальной оболочки от рассматриваемой модели с использованием 3D сканирования. Описан разработанный испытательный стенд для цилиндрических оболочек эллиптического сечения, состоящий из жестких пластин толщиной 19 мм, изготовленных из закаленного стекла, между которых размещены исследуемые оболочки, выполненные из сплава алюминия. Представлены результаты экспериментальных исследований ширины и площади зоны контакта, а также выполнены их сопоставления с результатами, полученными на основе аналитического решения и численного моделирования.

**Обоснованность и достоверность** определяется использованием строгих методов механики деформируемого твердого тела, теории упругости, теории дифференциальных уравнений. Достоверность полученных результатов обоснована сопоставлением численных и аналитических результатов моделирования, а также реализации МКЭ в известном пакете Ansys Workbench с использованием детализированных моделей конструкций и сетки высокой плотности.

**Теоретическая и практическая значимость.** Представлены новое аналитическое решение и основанная на нем методика расчета ширины зоны контакта для цилиндрической оболочки эллиптического сечения, находящейся между жесткими преградами. Соискателем были получены аналитические решения для определения ширины зоны контакта цилиндрической эллиптической оболочки с различными вариантами предварительного зазора между оболочкой и преградой. Разработанные аналитические подходы могут быть с успехом применены в инженерной практике и позволяют выбрать наиболее подходящую геометрию оболочки с учетом действующего давления и необходимого контакта.

Создан испытательный стенд для определения зоны контакта. Проведены механические испытания цилиндрических оболочек различных сечений без зазора и с варьированием предварительного зазора. Из полученных результатов испытаний была установлена зависимость ширины зоны контакта между оболочкой и жесткой плитой от гидростатического давления внутри оболочки, а также дана оценка влияния предварительного зазора на указанную зависимость.

Проведено численное исследование НДС и контакта оболочек различных сечений с учетом предварительного зазора. Исследовано влияние геометрических параметров оболочки на изменение ее контакта с жесткой плитой в зависимости от внутреннего гидростатического давления.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах в профильных изданиях, включая 2 научные статьи в журналах из списка ВАК, а также одной работа в журнале, индексируемом Scopus. Диссертация прошла апробацию на одной международной конференции и трех международных научных семинарах.

Диссертационная работа и ее автореферат написаны хорошим научно-техническим языком. Автореферат диссертации полностью отражает основные положения и результаты проведенного исследования.


**Замечания по диссертационной работе и автореферату:**

1. При постановке задачи отмечается, что рассматриваются оболочки под действием внутреннего давления жидкости, протекающей внутри оболочки. Однако не рассмотрен вопрос о падении давления жидкости при ее движении вдоль оболочки, так как движение жидкости происходит за счет перепада давления, т.е. не дана оценка влияния падения давления в продольном направлении оболочки на площадь контакта.
2. При аналитическом решении задачи не приведены оценки влияния краевых эффектов на торцах оболочки, т.е. фактически рассмотрена бесконечно длинная оболочка. При численном исследовании методом конечных элементов в Ansys Workbench рассмотрен только вариант консольного закрепления оболочки.
3. В работе рассматривается нагружение оболочки только гидростатическим давлением. С другой стороны, движение жидкости в системах охлаждения, как правило, обеспечивается насосами, что приводит к появлению пульсаций давления около гидростатического уровня. Однако, оценки влияния таких пульсаций и возможности возникновения гидроупругих колебаний тонкостенной оболочки в работе не дано.
4. На основе полученного аналитического решения проведен анализ влияния геометрических параметров сечения оболочки на ширину зоны контакта только для нулевых предварительных зазоров. Обоснования данного ограничения не указано, хотя ранее на рис. 2.6-2.7 показана зависимость ширины зоны контакта от предварительного зазора и внутреннего давления.
5. Из рис. 2 автореферата неясно: где располагается центр введенной системы координат, где происходит контакт с жесткой преградой (плоскость преграды не представлена), а также не обозначены малая и большая полуоси сечения оболочки. В результате восприятие рисунка затруднено.
6. В автореферате для моделей оболочек, представленных в табл. 1, явно не указан материал оболочек и его физико-механические характеристики.
7. В диссертации и автореферате имеется незначительное число опечаток. Например, в диссертации: на стр. 49 перепутаны обозначения малой и большой полуосей сечения оболочки; имеются несогласованные предложения: 6-я строка снизу на стр. 19, 7-я строка сверху на стр. 30, 3-я строка сверху на стр. 43; в автореферате на стр. 13 (7 строка снизу) зачем-то дается ссылка на уравнение (3), хотя из контекста этого не требуется.

Указанные замечания носят уточняющий и редакционный характер и не снижают общего уровня и научной ценности полученных в диссертационном исследовании результатов.

Оценивая работу в целом, считаю, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвященной решению практически важной задачи в сфере проблем динамики и прочности машин и аппаратуры. Диссертационная работа **соответствует** квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842. Автор диссертации Аунг Чжо Тху, **заслуживает** присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 - «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Официальный оппонент, профессор,  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Прикладная математика и системный анализ»  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Саратовский государственный технический  
университет имени Гагарина Ю.А.»

 Попов Виктор Сергеевич  
25.11.2020.

Адрес места работы: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

Тел.: +7 (927) 162-68-26.

E-mail: vic\_p@bk.ru

Научная специальность, по которой защищена докторская диссертация:  
01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Ученое звание профессора по кафедре «Теплогасоснабжение, вентиляция,  
водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика».

Подпись профессора, доктора технических наук Попова Виктора Сергеевича  
удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета  
СГТУ имени Гагарина Ю.А.



  
Н.В. Тищенко

