

ОТЗЫВ

официального оппонента **Семенова Владимира Николаевича** на диссертацию Ву Ба Зуи на тему «Разработка метода и исследование напряжённого состояния физически ортотропных цилиндрических оболочек при локализованных термосиловых нагрузках», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

Актуальность избранной темы

На тонкостенные конструкции авиационной и ракетно - космической техники и объекты энергетического машиностроения часто воздействуют неравномерно распределенная по поверхности оболочки силовая нагрузка либо температурное поле. В ряде случаев внешние воздействия локализованы на небольших участках конструкции. В таких случаях напряженно-деформированное состояние (НДС) может быть существенно неравномерным и высококонцентрированным в локальных зонах, что влияет на прочность и несущую способность конструкции.

Работы диссертанта, в том числе в соавторстве с его научным руководителем Нерубайло Б.В., посвящены решению задач о действии локальной нормальной нагрузки и локального температурного поля на ортотропные цилиндрические оболочки. Ранее в работах члена-корреспондента РАН Васильева В.В. было показано, что величина погрешности, вносимой гипотезой жесткой нормали при расчете оболочек из ортотропного стеклопластика на действие радиальной сосредоточенной нагрузки, существенно зависит от параметра тонкостенности оболочки. Так, при $h/R < 0,02$ разница в максимальной величине нормального перемещения, найденной на основании классических и более точных уравнений, не превышает 5%. Это дало диссертанту основание использовать в своих исследованиях именно такую механико-математическую модель.

В представленной работе, вероятно впервые, дан хорошо систематизированный анализ влияния показателя ортотропии на НДС при различных случаях нагружения и нагрева оболочек.

Известно, что проблема определения НДС оболочек при произвольных нагрузках и температурных полях приводится к решению дифференциальных уравнений в частных производных восьмого порядка. Столь высокий порядок системы уравнений служит труднопреодолимым препятствием на пути решения многих краевых задач для оболочечных конструкций, особенно из анизотропных и ортотропных материалов. Поэтому естественным является стремление создать метод, использующий систему уравнений более низкого порядка с простой структурой но, безусловно, с приемлемой точностью.

За прототип в таком подходе можно считать известный с 1920-х годов приближенный метод Штаермана-Геккелера для расчета **осесимметричного** деформирования оболочек путем сложения двух напряженных состояний: безмоментного и краевого эффекта. Для расчета оболочек положительной гауссовой кривизны в случае действия нагрузок сингулярного характера указанный

метод был обобщен Г.Н.Чернышевым. Его решение было построено, как сумма безмоментного напряженного состояния и «точечного» краевого эффекта в окрестности сосредоточенной силы. Для случая цилиндрических оболочек им предложено условное разбиение расчетной модели на четыре зоны, в каждой из которых преобладает тот или иной вид решения сильно упрощенного уравнения. Однако такой подход не получил развития и практического применения.

Диссертант отмечает, что для устранения возникающих трудностей наиболее плодотворным представляются предложенные в работах И.Ф.Образцова и Б.В.Нерубайло методы асимптотического синтеза напряженного состояния (МАС), которые и применены в диссертации при решении ряда краевых задач для локально нагруженных или нагретых оболочек.

Для обеспечения прочности тонкостенных авиационных и ракетно-космических конструкций большой интерес представляет определение НДС анизотропных, в частности ортотропных цилиндрических оболочек. Таковыми являются частично заполненные жидкостью трубопроводы и сосуды, находящиеся под неосесимметричным гидростатическим давлением, создаваемым в баках, предназначенных для размещения топлива либо окислителя. Такие элементы в полете нагружены внутренним избыточным давлением, складывающимся из несимметричного гидростатического давления и наддува. Кроме того, часть обечайки, свободная от жидкости, может иногда нагреваться до высокой температуры ($250...300^{\circ}\text{C}$), что может вызвать появление существенных температурных напряжений.

Поэтому разработка эффективного метода и исследование НДС физически ортотропных цилиндрических оболочек при упомянутых воздействиях является актуальной задачей в научном плане и имеет большое практическое значение.

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

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и вытекают из теоретических и экспериментальных результатов, полученных автором и другими исследователями.

Достоверность полученных результатов

Полученные новые результаты подтверждены путем сравнения с имеющимися или найденными путем численного и натурного эксперимента.

Новизна полученных результатов

- В рамках общей теории физически ортотропных цилиндрических оболочек получено разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных восьмого порядка и дифференциальные зависимости для искомых факторов при действии произвольной продольной нагрузки. Аналогично уравнениям изотропных оболочек В.З.Власова, полученные уравнения безупречны с точки зрения энергостатики, и на их базе построена теория элементарных напряженных состояний: основного, с высокой изменчивостью и тангенциального.

- Разработан метод сращиваемых аналитических решений (МСАР) дифференциальных уравнений в частных производных четвертого порядка, включающий

уравнения основного состояния и краевого эффекта. Метод позволяет для физически ортотропных цилиндрических и слабokonических оболочек, имеющих существенно меньшую изменяемость вдоль образующей, чем вдоль контура, определить напряженное состояние конструкции при различных нагрузках и температурных полях.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

- Выполнено обобщение решения задачи В.З. Власова о напряженном состоянии изотропных цилиндрических оболочек на случай физически ортотропного материала, при несимметричном гидростатическом давлении и нагреве, и, что существенно, при произвольном закреплении. К таким оболочкам относятся топливные отсеки, сосуды, трубопроводы, используемые в аэрокосмических и энергетических конструкциях.
- Построены аналитические алгоритмы, а для некоторых факторов выведены простые формулы, пригодные для определения НДС физически ортотропных оболочечных конструкций при действии локализованных нагрузок и температуры.
- Показано существенное влияние физико-механических свойств материала (механическая и тепловая ортотропия), условий нагружения и нагрева, а также краевых условий на характер распределения и уровень напряженно-деформированного состояния.
- Построены решения для бесконечной и полубесконечной оболочек и оболочек конечной длины со свободным краем при действии локальной продольной нагрузки. Они представлены в удобном для практического использования виде. Проиллюстрировано применение решения о полубесконечной оболочке со свободным краем в качестве фрагмента решения для контактной задачи о передаче продольной сосредоточенной силы через шпангоут.
- Представление результатов, полученных в исследованных примерах в виде номограмм и диаграмм напряжений, позволяет для аналогичных частных случаев нагружения и нагрева конструкции графически определить требуемые значения параметров и предпочтительные области для изменения физико-механических характеристик материала.
- Предложенный в работе метод сращиваемых аналитических решений (МСАР) имеет теоретическое значение по следующим причинам:
Во-первых, он обобщает идею построения эффективных приближенных решений сложных краевых задач путем использования полубезмоментной теории в качестве основного состояния, и краевого эффекта. В случае оболочек нулевой гауссовой кривизны при исследуемых силовых и температурных воздействиях безмоментное состояние в качестве основного состояния неприменимо, поэтому оно заменено полубезмоментным состоянием, получающимся в соответствии с критерием В.В. Новожилова, который постулирует существенное превосходство изменяемости напряженного состояния в окружном направлении по сравнению с продольным направлением. Кроме того, в диссертации под краевым эффектом понимается, в отличие от общепринятого в литературе и практике, существенно неосесимметричный краевой эффект.

Во-вторых, такой подход, который обычно применяется к изотропным конструкциям, к конструкциям из анизотропного, в частности ортотропного материала, применен впервые.

Причем, весьма существенным является то, что в диссертации получено критериальное значение номера гармоники, до которого следует суммировать представленные в форме тригонометрических рядов перемещения, усилия, моменты и другие факторы, описывающие основное напряженное состояние и краевой эффект. Это позволяет считать предложенный МСАР эффективным методом решения практически важных задач расчета на прочность и термопрочность, к которым относятся задачи расчета трубопроводов и ёмкостей с жидким топливом.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Цель диссертационной работы заключалась в разработке метода и исследовании напряжённого состояния физически ортотропных цилиндрических оболочек при локализованных термосиловых нагрузках. В ходе достижения цели исследования автором предполагалось решить ряд задач:

Построение алгоритмов для исследования НДС ортотропных цилиндрических оболочек на основе методов, позволяющих свести сложные краевые задачи для уравнений в частных производных восьмого порядка к решению хорошо изученных дифференциальных уравнений четвертого порядка.

Решение имеющей важное практическое значение проблемы расчёта круговых цилиндрических оболочек из ортотропного материала при воздействии различной степени локализации нагрузок и нагрева, создание метода срачиваемых аналитических решений (МСАР) дифференциальных уравнений.

Получение простых аналитических выражений, пригодных для определения НДС в процессе проектирования.

В диссертации рассмотрен широкий круг теоретически и практически важных задач, которые хорошо вписываются в сформулированное автором её название, в поставленные цели исследований, что позволяет высоко оценить весь комплекс исследований и их завершенность.

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

Представлено построение новых точных и приближенных уравнений, формулирование областей применимости приближенных уравнений, применение методов решения к задачам о локальных силовых и температурных нагрузках. Для решения задач о воздействиях со слабой изменяемостью вдоль образующей оболочек предложен новый метод - срачиваемых аналитических решений. Во всех случаях получены численные результаты, дано систематическое исследование влияния параметров ортотропии механических и физических свойств материала оболочек и конструкций на характер и величину напряженного состояния. При действии, например, продольной нагрузки найдены формулы в замкнутом виде, не требующем вычисления рядов.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, материал с точки зрения математики и механики деформируемого твёрдого тела изложен профессионально, в формулировках, доступных для полного и однозначного их понимания.

В качестве недостатков можно отметить:

- излишнюю, в некоторых случаях, детализацию в математических выкладках в диссертации.
- В автореферате, напротив, при сокращенном изложении иногда не ясно, на какую именно работу конкретного автора ссылается диссертант (например, на стр.4 автореферата, абзац 3: “В упомянутой работе Васильева В.В. ...”).
- При первом использовании обозначений не всегда раскрывается их физический смысл (там же: при $h/R < 0,02$).

Однако, указанные недостатки не оказывают отрицательного влияния на качество представленной работы, поскольку она представляется сообществу, хорошо разбирающемуся в тематике и с большими априорными знаниями.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата 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

Структура и оформление диссертации и автореферата полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

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

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. В ней приводятся рекомендации по использованию представленных научных выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

При использовании результатов, полученных другими авторами, имеются необходимые ссылки.

Таким образом, диссертация соответствует критериям, установленным пунктами 10, 11 и 14 Положения о присуждении ученых степеней.

В заключение следует отметить, что диссертация Ву Ба Зуи на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится разработка метода и исследование напряжённого состояния физически ортотропных цилиндрических оболочек при локализованных термосиловых нагрузках, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, а именно механики деформируемого твердого тела, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник ФГУП "Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского" (ЦАГИ), профессор кафедры прикладной механики и информатики ФАЛТ МФТИ, доктор технических наук

Семенов Владимир Николаевич.....  /В.Н. Семенов/

Адрес места работы: 140180, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, дом 1.
ФГУП "Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского" (ЦАГИ),
Телефон: 8(556)42-05; 8(495) 556 42 51 (НИО-3); Электронная почта: info@tsagi.ru

Домашний адрес: 119454. Москва, ул. Удальцова, 85, кор.4. кв.154
Телефон: 8(495) 938 45 29 (дом); 8 916 340 98 95 (моб).
Электронная почта: semenov_vlanik@mail.ru

Подпись В.Н. Семенова заверяю:

Ученый секретарь диссертационного совета ДС 403.005.01

доктор технических наук, профессор.....  /В.М. Чижов/

