

Отзыв

**официального оппонента Виноградова Юрия Ивановича
о диссертации Ву Ба Зуи «Разработка метода и исследование напряжённого
состояния физически ортотропных цилиндрических оболочек при
локализованных термосиловых нагрузках» по специальности 01.02.04 -
Механика деформируемого твёрдого тела на соискание ученой степени
кандидата технических наук.**

Определение напряженно-деформированного состояния (НДС) тонкостенных конструкций в современной авиационной и ракетно - космической технике, в энергетическом машиностроении при неравномерно распределенной по поверхности оболочки или даже локализованной на небольших ее участках силовой нагрузки или температурного поля, особенно при сильной их локализации – одна из часто встречающихся проблем. Возникающее при этом напряжения, перемещения могут определять несущую способность конструкции. Это в значительной степени относится к цилиндрическим оболочкам из ортотропных материалов, которым посвящена диссертация и научные публикации диссертанта. Диссертантом дан систематический анализ влияния показателя ортотропии на НДС при различных случаях локального нагружения и нагрева оболочек.

При выборе механико-математической модели материала оболочек диссертант опирается на авторитетные публикации. В частности, в работах члена-корреспондента РАН Васильева В.В 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 наиболее часто применяемых конструкциях ($h/R < 0,02$, где h , R - толщина и радиус оболочки) разница в максимальной величине нормального перемещения, найденной на основании классических уравнений, не превышает 5%, что дает основание диссертанту использовать механико-математическую модель Кирхгофа-Лява в многочисленных

исследованиях. В случае применения этой модели проблема определения НДС оболочек при произвольных нагрузках и температурных полях приводится к решению дифференциальных уравнений восьмого порядка в частных производных. Стремление построить решения на основе уравнений более низкого порядка и простой структуры, разумеется, с приемлемой точностью является естественным. Так, широко известный приближенный метод Штаермана-Геккелера для расчета осесимметричного деформирования оболочек путем сложения двух напряженных состояний: безмоментного и краевого эффекта – был обобщен Г.Н.Чернышевым на случай расчета оболочек положительной гауссовой кривизны при действия нагрузок сингулярного характера. Решение построено, как сумма безмоментного напряженного состояния и «точечного» краевого эффекта в окрестности сосредоточенной силы. В случае цилиндрических оболочек им предложено условное разбиение на четыре зоны, в каждой из которых преобладает тот или иной вид решения сильно упрощенного уравнения. Однако такой подход практического применения и развития не получил.

Для устранения возникающих трудностей при решении краевых задач для оболочек нулевой кривизны в диссертации нашел достойное приложение при решении многих задач предложенный в работах академика И.Ф.Образцова и Б.В.Нерубайло подход, основанный на требовании обеспечения минимума асимптотической погрешности применяемых приближенных уравнений, следствием которого явился метод асимптотического синтеза напряженного состояния (МАС).

Представляет интерес для расчётов прочности авиационных и ракетно-космических тонкостенных конструкций определение НДС ортотропных цилиндрических оболочек, являющихся элементом частично заполненных жидкостью трубопроводов (сосудов), под действием неосесимметричного гидростатического давления. Например, обечайки топливных баков, предназначенных для размещения компонентов жидкого топлива (окислителя, горючего), в полете нагружены внутренним избыточным давлением,

складывающимся из несимметричного гидростатического давления и наддува. Кроме того, часть обечайки, свободная от жидкости, может нагреваться ($250...300^{\circ}\text{C}$), что вызывает появление существенных напряжений. Учитывая сказанное, можно утверждать, что разработка диссертантом эффективного метода, получившего название метода сращиваемых аналитических решений (МСАР) и исследование НДС физически ортотропных цилиндрических оболочек при упомянутых воздействиях является актуальной задачей не только в научном плане, но и для практики.

Научные положения, выводы и результаты, сформулированные в диссертации, обоснованы сравнением, полученных автором, с численным экспериментом на основе различных рассмотренных в диссертации механико-математических моделей и вычислительных процедур, с опубликованным натурным экспериментом других исследователей.

Новые результаты нашли подтверждение путем сравнения с имеющимися или найденными путем численного или натурального эксперимента.

Новизна полученных результатов

Впервые получено разрешающее дифференциальное уравнение общей теории физически ортотропных цилиндрических оболочек в частных производных восьмого порядка и дифференциальные зависимости для искомых факторов при действии произвольной продольной нагрузки, безупречные с точки зрения энергостатики, как и уравнения изотропных оболочек В.З.Власова. По сути дано обобщение уравнений наиболее точной общей теории изотропных оболочек на случай анизотропии материала и на их базе построена теория элементарных напряженных состояний: основного, с высокой изменчивостью и тангенциального.

Для определения напряжений при нагрузках и температурных полях, имеющих существенно меньшую изменчивость вдоль образующей, чем вдоль контура в диссертации разработан метод сращиваемых аналитических

решений (МСАР) дифференциальных уравнений в частных производных четвертого порядка типа основного состояния и краевого эффекта физически ортотропных цилиндрических оболочек. Он также вполне обоснованно, на мой взгляд, рекомендован и для использования при исследовании напряжений в оболочках нулевой гауссовой кривизны, в частности слабokonических оболочек.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.

Дано обобщение решения задачи В. З. Власова о напряженном состоянии цилиндрических оболочек при несимметричном гидростатическом давлении и нагреве не только на случай их изготовления тонкостенных оболочечных конструкций из физически ортотропного материала, но и при произвольных краевых условиях, что имеет место в сосудах, трубопроводах, топливных отсеках аэрокосмических и энергетических конструкций.

Построен большой комплекс аналитических алгоритмов, а для некоторых факторов также и простых формул, пригодных для определения НДС физически ортотропных оболочечных конструкций при действии локализованных нагрузок и температуры различной степени локализации.

Следует отметить ценность систематического анализа НДС на основе построенных алгоритмов для физически ортотропных оболочек по выявлению существенного влияния физико-механических свойств материала (механическая и тепловая ортотропия), условий нагружения и нагрева, а также краевых условий на характер распределения и уровень напряжений.

Построенные решения для полубесконечной и конечной длины оболочек (со свободным краем при действии локальной продольной нагрузки в удобном для практического использования виде) применены в качестве компоненты для контактной задачи о передаче через шпангоут продольной сосредоточенной силы.

Представленная в форме номограмм и диаграмм числовая информация по напряжениям открывает возможности анализа предпочтительных областей

изменения физико-механических характеристик материала для некоторых частных случаев нагружения и нагрева конструкции.

Оценка содержания диссертации.

Цель диссертационной работы заключалась в разработке метода и в системном исследовании напряжённого состояния физически ортотропных цилиндрических оболочек при локализованных термосиловых нагрузках.

Цель достигается решением ряда задач.

Построением 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.

Решением, имеющим важное практическое значение, проблемы расчёта круговых цилиндрических оболочек из ортотропного материала при воздействии различной степени локализации нагрузок и нагрева, созданием метода сращиваемых аналитических решений (МСАР) дифференциальных уравнений.

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

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 так называемого основного состояния и краевого эффекта, где в качестве основного состояния применялось безмоментное состояние.

В случае оболочек нулевой гауссовой кривизны при исследуемых силовых и температурных воздействиях безмоментное состояние в качестве плавно изменяющегося вдоль образующей основного состояния неприменимо, поэтому оно

заменено полубезмоментным состоянием, получающимся в соответствии с критерием Новожилова. При этом постулируется существенное превосходство изменяемости напряженного состояния в окружном направлении по сравнению с продольным. Кроме того, в диссертации под краевым эффектом понимается решение жёстких дифференциальных уравнений, описывающих в отличие от общепринятого в литературе и практике, существенно неосесимметричный краевой эффект.

Во-вторых, такой подход, насколько мне известно, применяется к неизотропным, ортотропным конструкциям впервые. При этом очень важно, что в диссертации получено критериальное значение номера гармоники, до которого следует удерживать гармоники в тригонометрических рядах, описывающих напряженное состояние. Это позволяет считать предложенный метод - МСАР - эффективным методом решения практически важных задач расчета на прочность и термopрочность, к которым относятся задачи расчета ёмкостей с жидким топливом, трубопроводов и других конструкций.

В диссертации рассмотрен широкий круг теоретически и практически важных задач, которые достигают поставленные цели исследований, и позволяют высоко оценить весь комплекс исследований и их завершенность.

Это построение новых точных и приближенных уравнений, формулирование областей применимости приближенных уравнений, применение методов решения к задачам о локальных силовых и температурных нагрузках. А для решения задач о силовых и температурных воздействиях со слабой изменяемостью, вдоль образующей оболочек предложен метод сращиваемых аналитических решений (МСАР). 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.

Это позволяет высоко оценить весь комплекс исследований и их завершенность.

В качестве недостатков можно отметить:

а) иногда излишнюю детализацию в математических выкладках при использовании метода начальных параметров, двойных рядов и метода Фурье;

б) название диссертации, на мой взгляд, вернее отражает ее содержание и результаты, если начать словом «Метод...», так как процесс разработки метода в диссертации завершен.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, материал с точки зрения математики и механики деформируемого твёрдого тела изложен профессионально, доступно для полного однозначного его понимания; отрицательного влияния отмеченных недостатков на качество исследования мною не замечено.

Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации.

Структура и оформление диссертации и автореферата полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. 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 научных выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.


Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ.

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 констатировать, 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 существенное 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 – кандидата технических наук.

Официальный оппонент

доктор физики-математических наук, профессор  Ю.И.Виноградов/
105568 Москва, ул. Челябинская, д.11, корп. 2, кв. 203.

Телефон: 8(499) 308 06 94(дом.); 8.915 345 07 19(моб.).

Адрес электронной почты: yuvino@rambler.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ имени Н.Э. Баумана). Профессор кафедры «Аэрокосмические системы», СМ-2.

Подпись Виноградова Юрия



 /В.Т. Калугин/