

№ 106293 ск

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ

С.И.ВОЛК

МЕТОД РАСЧЕТА ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ С МЕРИДИО-
НАЛЬНЫМИ РЕБРАМИ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ЦИКЛИЧЕСКИ
СИММЕТРИЧНЫЙ ХАРАКТЕР ДЕФОРМАЦИИ.

022 - Сопротивление материалов
и строительная механика.

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Киев-1968

Работа выполнена в Институте механики АН УССР.
Научный руководитель — доктор технических наук,
академик АН УССР А.Д.Коваленко.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук А.Н.Гузь,
кандидат технических наук В.Б.Анисимова.

Ведущее предприятие:

ЦИАМ им. П.И.Баранова /г. Москва/

Автореферат разослан "12" мая 1968 г

Защита диссертации состоится " " июнь 1968 г

на заседании Совета Института механики АН УССР,
г. Киев-57, ул.Желябова, 2, конференцзал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института механики.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

В.В.Георгиевская

2015

28 106293

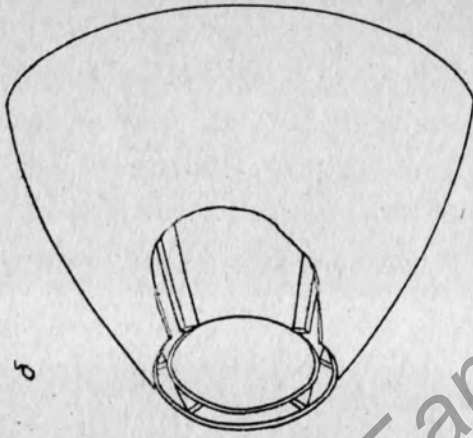
В работе рассмотрены вопросы, связанные с исследованием напряженно-деформированного состояния тонких упругих оболочек вращения с регулярно расположенными меридиональными ребрами, которые представляют собой тонкие упругие стержни. При этом рассматриваются как отдельные ребренные оболочки (рис. I, а), так и системы, состоящие из двух совпсных оболочек, связанных меридиональными ребрами (рис. I, б). Такими оболочечно-стержневыми системами можно схематизировать многие элементы конструкций машин, аппаратов и сооружений (например, крышки и подпятники гидротурбин, колеса центробежных нагнетателей, корпуса ракет, купола покрытий и др.).

Для рационального проектирования тонкостенных конструкций большое значение имеет наличие достаточно точных методов определения их напряженно-деформированного состояния. Поэтому теории и методам расчета ребристых пластин и оболочек посвящена обширная литература. Развитие таких методов базируется на успехах общей теории пластин и оболочек.

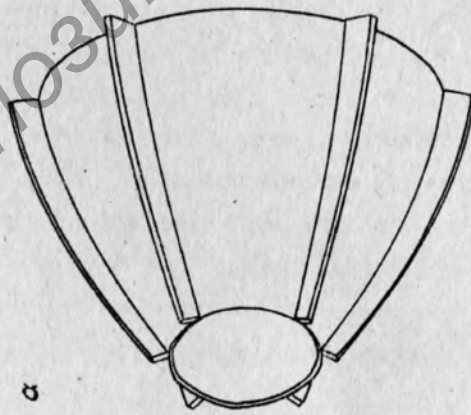
В частности, исследования по теории анизотропных пластин и оболочек лежат в основе широко распространенного в инженерной практике метода расчета по схеме конструктивно-ортотропных оболочек. Как показано в ряде работ, теория, основанная на представлении ребристых пластин и оболочек как конструктивно-анизотропных, является приближенной, а область ее применения ограничена случаями подкрепления оболочек, достаточно густой сеткой относительно слабых ребер.

В связи с этим возникла необходимость разработки более точных методов решения задачи, позволяющих учитывать

Департамент
Библиотека
БССР
И. И. Мухоморова



δ



α

Рис. 1.

Репозиторий Баргу

дискретное расположение ребер. Такой учет сравнительно прост в задачах для круглых пластин и оболочек вращения с кольцевыми ребрами (шпангоутами) при осесимметричных нагрузках.

В оболочках вращения (круглых пластинах) с меридиональными (радиальными) ребрами осевая симметрия в напряженно-деформированном состоянии отсутствует при любом виде нагружения.

Уравнения равновесия элемента оболочки записываются в частных производных; кроме того, на линиях контакта оболочки с ребрами возникают реактивные усилия взаимодействия, величина которых заранее неизвестна. Указанные обстоятельства создают большие трудности при разработке точных методов расчета оболочек вращения с меридиональными ребрами.

Списанные в литературе методы расчета оболочек нулевой гауссовой кривизны базируются, как правило, на аналитических решениях соответствующих уравнений равновесия, что является их известным преимуществом; это же обстоятельство можно отнести и к существенным недостаткам указанных методов, затрудняющим их распространение на более сложные задачи для оболочек вращения переменной толщины.

Методы расчета напряженно-деформированного состояния систем из двух соосных оболочек вращения, связанных между собой меридиональными ребрами, разрабатывались в основном в связи с расчетом колес центробежных нагнетателей, которые состоят из двух дисков (коренного и покрывающего), представляющих собой пологие оболочки переменной толщины, и радиальных лопаток.

Большинство из них основано на весьма упрощенном представлении работы конструкции. В настоящее время наиболее точный метод расчета колес центробежных нагнетателей базируется на теории конструктивно-ортотропных оболочек с численным интегрированием дифференциальных уравнений равновесия. Автору не известны работы, в которых была бы предпринята попытка учесть дискретное влияние ребер (лопаток). Между тем, экспериментально показано, что теория конструктивно-ортотропных оболочек в рассматриваемой задаче даже при большом числе лопаток не позволяет получить достоверные результаты для искривляющего диска.

При плоской деформации двух соосных цилиндрических оболочек дискретное влияние продольных связей (ребер) учитывается сравнительно просто.

В реферируемой работе рассматривается в линейной постановке задача для упругой оболочечно-стержневой системы из двух или одной оболочек вращения переменной толщины и предлагается приближенный метод ее решения, вытекающий из анализа точных дифференциальных уравнений. Применение численного интегрирования разрешающих уравнений задачи делает метод пригодным для обширного класса оболочек вращения при разнообразных внешних воздействиях и граничных условиях.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе выводятся разрешающие дифференциальные уравнения в обыкновенных производных для систем из двух соосных оболочек, связанных меридиональными ребрами жесткости, а также

формулируются граничные условия в статических и кинематических факторах. Предполагается, что толщины оболочек и жесткости стержней изменяются вдоль меридиана (при этом расстояние между срединными поверхностями оболочек сохраняется постоянным). Элементы рассматриваемой системы — оболочки и стержни — подвергаются как силовым, так и температурным воздействиям, переменным в меридиональном направлении и по толщине каждого элемента. В окружном направлении изменение внешних воздействий предполагается циклически симметричным (с симметрией относительно стержней). При выводе дифференциальных уравнений используется подход, принятый в работе Л.А.Ильина (см.ж.Прикладна механіка, т.Х, в.3, 1964) при рассмотрении подкрепленных оболочек вращения. Оболочечно-стержневая система условно расчленяется на отдельные элементы — гладкие оболочки и стержни. Каждый из таких элементов находится в равновесии под действием заданных внешних факторов и сил взаимодействия, приложенных по линиям контакта, и рассматривается в рамках классической теории тонких оболочек и стержней. Условия совместности работы оболочек и стержней предполагают равенство перемещений и усилий взаимодействия на линиях сопряжения. Представление контактных усилий, внешних воздействий и компонентов напряженно-деформированного состояния оболочки в виде рядов Фурье по окружной координате приводит к бесконечной системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами относительно амплитудных величин перемещений.

Вторая глава посвящается разработке метода расчета оболочечно-стержневых систем, позволяющего приближенно учитывать дискретное расположение стержней. Как известно, расчетной схеме конструктивно-ортотропных оболочек соответствует равномерное распределение в окружном направлении усилий взаимодействия между оболочкой и ребрами; такой закон распределения описывается первым членом ряда Фурье для усилий взаимодействия. В предложенной расчетной схеме усилия взаимодействия представляются суммой двух первых членов разложения. Показано, что такое уточнение (по сравнению с конструктивно-ортотропной схемой, закона распределения усилий взаимодействия позволяет получить существенное уточнение в напряженно-деформированном состоянии оребренных оболочек. Принятой расчетной схеме соответствует система дифференциальных уравнений 14-го порядка. Для ее интегрирования предлагается использовать точный численный метод с дискретным ортонормированием частных решений. Приводится краткое описание численного метода и выполняется необходимое преобразование дифференциальных уравнений. Для систем из двух соосных оболочек, значительно отличающихся жесткостью, выводится система дифференциальных уравнений более низкого порядка путем представления более жесткой оболочки с ребрами как конструктивно-ортотропной.

В третьей главе предложенный метод расчета используется для анализа напряженно-деформированного состояния оребренной конической оболочки. Дается сравнение с результатами, полученными по теории конструктивно-ортотропных оболочек и эксперименталь-

ными данными, приведенными в литературе. На числовом примере иллюстрируется случай неблагоприятного сочетания геометрических параметров и крайних условий, при которых метод дает искаженные результаты; указаны пути устранения этого недостатка.

Все расчеты выполнены на электронно-вычислительной машине БЭСМ-2М приводится краткое описание программы.

Список литературы включает 103 работы отечественных и зарубежных авторов.

Полученные в диссертации новые результаты сводятся к следующему:

1. Составлены разрешающие дифференциальные уравнения в обыкновенных производных, описывающие напряженно-деформированное состояние упругой системы из двух соосных тонких оболочек вращения, связанных меридиональными ребрами-стержнями, и сформулированы граничные условия в статических и кинематических факторах. При ограничении числа членов в разложениях в ряды Фурье усилий взаимодействия и компонентов напряженно-деформированного состояния некоторым значением m (начиная с нуля) "усеченная" система дифференциальных уравнений имеет порядок $P = 16m + 6$.

2. Рассмотрен случай, когда напряженно-деформированное состояние одной из оболочек системы, благодаря ее жесткостным характеристикам и условиям нагружения, близко к осесимметричному; для этого случая записаны упрощенные уравнения, которые при удержании в разложениях m членов имеют более низкий порядок по сравнению с общим случаем.

3. Разработан метод расчета оболочек вращения переменной толщины с регулярно расположенными меридиональными ребрами, а также систем из двух соосных оболочек, связанных посредством ребер-стержней, позволяющий приближенно учитывать дискретное расположение ребер. В основу метода положена расчетная схема с уточненным по сравнению с конструктивно-ортотропной схемой представлением усилий взаимодействия.

4. На основе предложенной схемы составлена программа расчета на БЭСМ-2М оробренных конических оболочек постоянной толщины.

5. Для апробации метода выполнен расчет конической оболочки с односторонними ребрами для четырех вариантов подкреплений (с числом ребер $n = 6, 9, 12, 24$) и двух видов нагружения по торцу оболочки — осесимметричного и циклического.

6. Выполнен анализ результатов расчета, который заключается в следующем:

а) Дано сравнение компонентов напряженно-деформированного состояния для перечисленных в п.5 вариантов оробренных оболочек и видов нагружения, позволяющее судить о влиянии на их величину и распределение в меридиональном и окружном направлении числа ребер. Приведено сравнение с результатами расчета по теории конструктивно-ортотропных оболочек.

б) Установлено, что в результате использования гипотезы Кирхгофа-Лява для оболочки и гипотезы о недеформируемости поперечных сечений для ребер при некоторых видах нагружения по расчету могут получаться дополнительные меридиональные напряжения от взаимно уравновешенных меридиональных изгибающих

моментов и усилий. Намечены пути, позволяющие устранить указанные недостатки расчетной схемы. Для этого, в частности, предлагается принимать равным нулю коэффициент Пуассона материала. Правильности такого пути подтверждена расчетами.

в) Проведено сравнение полученных результатов с опубликованными в литературе экспериментальными данными. Отмечается удовлетворительное совпадение теоретических и опытных результатов.

г) Затронуты вопросы о влиянии вида нагружения оболочки на величину перемещений и напряжений и о рациональном использовании материала при проектировании ребренных оболочек. Для иллюстрации приводятся некоторые сравнения результатов, полученных для ребристых и гладких конических оболочек.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Волк С.И., Упругие конические оболочки, нагруженные по образующим и в точках контурных окружностей, Прикладная механика, т. I, в. II, 1965.
2. Волк С.И., Численный метод расчета элементов конструкций типа подкреплённых оболочек вращения с использованием ЭЦВМ, Республ. межведомств. научно-техн. сб. "Динамика и прочность машин", в. 5, 1967.
3. Волк С.И., Дифференциальные уравнения равновесия двух упругих соосных оболочек вращения, связанных меридиональными ребрами жесткости, Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по статике и динамике тонкостенных пространственных конструкций, Киев, 1967.

Материалы диссертации докладывались на следующих конференциях и совещаниях: "Современные методы расчетов в машиностроении с применением электронных математических машин" (Харьков, 25-28 января 1966 г.), "Всесоюзная конференция по статике и динамике пространственных конструкций" (Киев, 21-25 марта 1967 г.), "Конференция молодых исследователей Института механики АН УССР" (21-22 июня 1967 г.).

ВР 01707.24.1У.1968 г. Объем 0,5 печ. лист. Зак. 103-200.

Книжная типография № 5 - г. Киев, ул. Репина, 4

