

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Суйеуова Н.Б., Есболай Г.И.

Мақалада материалдың серпімді деформация шегінде статикалық күш түсіп тұрған қабықшалы конструкциялардың ұтымды геометриялық параметрлерін анықтау мәселесі қарастырылған.

It considers the task in determination of optimal geometrics of shell-type construction in static loading in the stuffs elastic deformation limit.

Рассмотрена задача определения оптимальных геометрических параметров оболочечных конструкций при статическом нагружении в пределах упругой деформации материала.

В настоящее время, в связи с интенсивным развитием вычислительной техники, для расчета конструкций с применением вычислительных машин и моделирования различных физических процессов широко используются численные методы. Сегодня они активно вытесняют натурные эксперименты, в силу их высокой стоимости и малой гибкости. Особенно это относится к тем научным направлениям, где эксперименты занимают длительное время при сложных условиях нагружения и высокой температуре. Одним из таких научных направлений является исследование поведения оболочечных конструкций. Для реализации методики в виде расчетного комплекса был выбран и успешно используется математический пакет Mathcad 14.

Несмотря на широкие возможности этого расчетного комплекса, все расчеты до настоящего времени проводились только для конструкций с заранее определенными геометрическими параметрами, а вопросы их оптимизации с целью увеличения несущей способности конструкций не рассматривались. Вместе с тем, сегодня ко всем строительным конструкциям в первую очередь предъявляются требования максимальной прочности, надежности и долговечности при минимальных затратах на их создание.

Целью работы является построение методики оптимизации геометрической формы оболочек вращения определенной конструкции и реализация этой методики в виде расчетного комплекса. Под оптимизацией понимается приведение геометрической формы оболочки к такому виду, чтобы значения механических напряжений в любой ее точке при заданном значении нагрузки не превышали заранее заданной допускаемой величины. В качестве математического аппарата использованы стандартные уравнения теории тонких осесимметричных оболочек вращения [1].

Поставленную задачу можно разделить на три подзадачи:

- построение геометрической модели оболочечной конструкции;
- построение физической модели оболочечной конструкции;
- оптимизация геометрических параметров конструкции.

Сформулируем основные ограничения, которые будет иметь разрабатываемая методика в рамках поставленной задачи:

- форма оболочки аппроксимируется отдельными участками, состыкованными между собой и представляющими элементарные геометрические фигуры. Предусматривается 5 вариантов таких фигур: в форме пластины, конуса, сферы, тора, цилиндра. Для каждого из них задаются соответствующие геометрические характеристики;
- минимальный радиус закругления не должен быть меньше двадцатикратной толщины оболочки (условие тонкой оболочки);
- оптимизация проводится в пределах упругой работы материала, то есть деформация материала может быть только обратимой, а в качестве допускаемого напряжения следует задавать либо предел упругости, либо предел текучести;
- оболочка состоит из одного слоя изотропного материала;
- влияние температуры непосредственно в уравнениях не учитывается, если его все же необходимо учесть, то исходные данные задаются для конкретной температуры;
- внешним механическим воздействием может быть либо внутреннее давление, либо усилие, вызывающее перемещение торца оболочки, либо оба этих воздействия одновременно;
- нагружение оболочки предполагается статическим, то есть все факторы воздействия задаются один раз и не изменяются во времени;
- механические свойства материала не зависят от времени;
- оптимизация оболочки производится только за счет изменения радиуса кривизны отдельных участков, все остальные параметры, такие как исходные геометрические размеры, толщина, механические характеристики материала предполагаются неизменными.

В таком виде разрабатываемая методика потребует минимум исходных данных, и при этом будет отвечать всем заявленным требованиям. Кроме того, в дальнейшем будет возможна модернизация этой методики с целью использования ее для решения более сложных задач.

В качестве примера геометрической модели оболочки будем рассматривать сосуд давления, фрагмент осевого сечения которого представлен на рис. 1.

Для построения модели используется декартова система координат. Осевое сечение оболочки разбиваем на пять элементарных участков (I, II, III, IV и V).

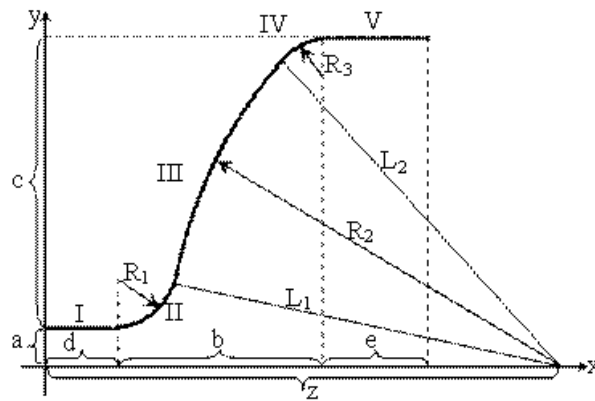


Рис. 1. Геометрическая модель оболочки.

На рисунке показаны геометрические параметры оболочки, задаваемые при вводе исходных данных. Исходными данными являются величины: a , b , c , d , e , а величины R_1 , R_2 , R_3 и z нужно определить.

Наиболее удобной формой представления физической модели или модели поведения осесимметричных оболочек является ее запись в виде системы уравнений для разрешающих функций [2]. Такая форма, во - первых, достаточно подробно изложена в справочной литературе, во - вторых, наиболее удобна для решения применительно к рассматриваемому классу задач. По результатам решения системы разрешающих уравнений вычисляются значения напряжений и деформаций в оболочке.

В конструкциях такого класса имеет место плоско - или объемное напряженное состояние, поэтому для его определения используют эквивалентное напряжение, вычисляемое по одной из теорий прочности, выбор которой зависит от свойств материала. Таким образом, критерием оптимальности является условие прочности, при котором эквивалентное напряжение $\sigma_э$ в любой точке не превышает допускаемое $\sigma_д$:

$$\sigma_э \leq \sigma_д.$$

Задача определения оптимальных геометрических параметров конструкции сводится к поиску таких значений R_1 , R_2 и R_3 , при которых действующие напряжения в конструкции не превышают допускаемые. Ограничения: $R_1, R_2, R_3 > 20h$; $R_1 + R_3 < b$, где h - толщина оболочки. Процедура определения оптимальных геометрических параметров конструкции состоит в следующем.

1. Задаются исходные данные для расчета. На начальном этапе величинам R_1 , R_3 присваиваются начальные значения, равные двадцатикратному значению толщины оболочки.
2. Производится формирование массива необходимых геометрических характеристик для каждого из участков конструкции.
3. Вычисляется массив разрешающих функций оболочки.
4. Производится расчет меридиональных и окружных деформаций и напряжений. Затем определяется эквивалентное напряжение.
5. Производится анализ полученного поля напряжений. Если значение напряжений, на каком - либо из участков превышает допускаемое, то

производится пересчет формы данного участка, в частности, для сферического и тороидального участков необходимо увеличить радиус. Соответственно, на других участках, где напряжения ниже допускаемого, значение радиуса уменьшается [3]. Выбор шага производится по адаптивному алгоритму, учитывающему, во сколько раз значение напряжения на текущем участке превосходит допускаемое. Это позволяет получить решение за наименьшее число шагов, кроме того, исключается возможность «блуждания» вокруг оптимального решения.

Затем процесс повторяется, начиная со второго шага.

Процесс поиска оптимальных значений радиусов прекращается как только на всех участках выполнится условие $\sigma_s \leq \sigma_d$, если же данное условие не выполнятся на трех участках или не удастся найти оптимальные радиусы, то поиск прекращается. В этом случае нужно либо увеличить толщину оболочки, либо задать другие механические свойства материалов.

На рис. 2. приведен результат расчета конструкции в Mathcad в виде изображения фрагмента осевого сечения, где пунктирной линией показано сечение исходной оболочки, а сплошной - оптимизированной.

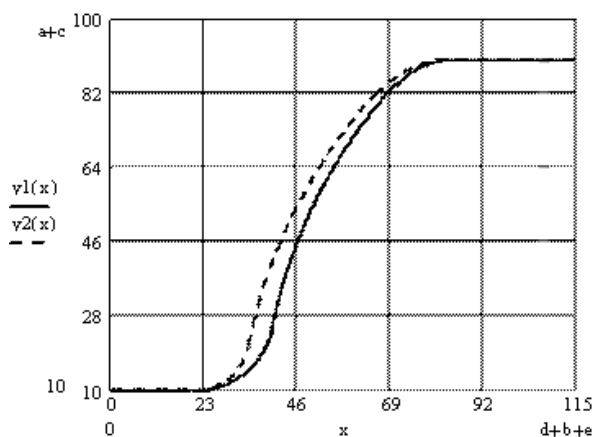


Рис. 2. Результат расчета конструкции

В результате была разработана методика, позволяющая рассчитывать оптимальную геометрическую форму для нескольких классов оболочечных конструкций в пределах упругой деформаций материала. Принципы и подходы, реализованные в данной работе, могут быть использованы для разработки методики оптимального проектирования других типов конструкций, а также при более сложном характере внешнего воздействия и законе поведения материала.

Литература:

1. Ю.Н. Шевченко, И.В. Прохоренко. Методы расчета оболочек. т.3. Теория упругопластических оболочек при неизотермических процессах нагружения. - Киев: Наук. думка, 1981.
2. А.Ф.Смирнов и др. Расчет сооружений с применением вычислительных машин. -М.: Стройиздат, 1984.

3. Белов А.В. Осесимметричное упругопластическое напряженно-деформированное состояние оболочек вращения с учетом повреждаемости материала при ползучести. - Киев, 1989.