

УДК 621.01+629.7.017

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОЛОЧЕЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗАДАННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Л.А. ГУРЬЕВА, И.Г. ГУРЬЕВ

*Полоцкий государственный университет г. Новополоцк,
Республика Беларусь*

Одной из актуальных проблем, возникающих при проектировании конструкций, является проблема обеспечения их высокой надежности. Применительно к сооружениям и конструкциям это означает гарантирование их неразрушения при эксплуатации. Вместе с тем, весьма остро ставится вопрос и о снижении расходов материалов при повышении конструктивной надежности. Отсюда вытекает потребность рационального проектирования конструкций в смысле одновременного удовлетворения названных противоречивых требований. При этом оказывается необходимым учитывать случайную природу множества факторов, влияющих на работу конструкции, обуславливающих случайный характер ее нагружения и напряженно-деформированного состояния в различных условиях эксплуатации.

Традиционные детерминированные методы расчетов на прочность, к сожалению, не дают возможности решить эту проблему в полной мере, более того, сложилось определенное несоответствие в методологии учета различных факторов, влияющих на снижение расходов материалов и прочность конструкции. С одной стороны, в прочностных расчетах применяются самые совершенные методы строительной механики. С другой стороны, для компенсации случайных погрешностей и неучитываемых факторов вводятся коэффициенты безопасности или нормативные коэффициенты запаса, назначаемые, большей частью интуитивно, в соответствии с накопленным опытом, без достаточно строгого на то обоснования.

Более корректным подходом, позволяющим в значительной мере решить указанную проблему, представляется применение вероятностных методов в строительной механике различных конструкций, подчиненных задаче определения надежности конструкции как меры гарантии ее неразрушения. Вероятностный подход к задачам прочности позволяет более полно учесть возмущающие факторы и получить за счет более рационального проектирования некоторый выигрыш в весе конструкции без ущерба для ее работоспособности.

На этапе проектирования конструкция существует не «в металле», а лишь в технической документации. Определить ее надежность опытным путем не представляется возможным. Поэтому для расчета надежности необходимо рассматривать конструкцию как систему, состоящую из ряда элементов. При разбиении конструкции на отдельные элементы в качестве таковых следует принимать такие составные части конструкции (обечайки, днища, шпангоуты и т. п.), надежность которых можно определить по детерминированным расчетным схемам и известным вероятностным характеристикам возмущений.

Характерной особенностью большинства опубликованных работ в области расчета надежности конструкций является то, что в них рассматривается прямая задача строительной механики, когда определяется надежность известной конструкции, которая затем сравнивается с нормативной надежностью [1].

В данной работе рассмотрена задача по определению толщины сферической крышки и площади поперечного сечения опорного кольца при заданной надежности, т. е. решена обратная задача строительной механики, когда по нормативной заданной надежности определяются параметры конструкции, в частности, размеры ее поперечного сечения. При расчете использована теория случайных величин.

Сферический купол радиусом $R_{сф}$ нагружен давлением q (рис. 1), величина которого случайна с нормальным законом распределения (математическое ожидание $m_q = 2$ МПа; среднее квадратичное отклонение $\sigma_q = 0,2$ МПа). Кромки крышки жестко связаны с упругим кольцом ($R_k = 2$ м). Материал оболочки и кольца одинаков, его несущая способность случайна с нормальным законом распределения ($m_R = 500$ МПа; $\sigma_R = 50$ МПа). Необходимо определить толщину оболочки h и площадь поперечного сечения опорного кольца, чтобы надежность $H_{зад} = 0,99$. Случайный разброс толщины крышки учитывается с доверительной вероятностью $H_h = 0,9986$, т. е. $H_{зад}/H_h = 0,99/0,9986 = 0,9914$.

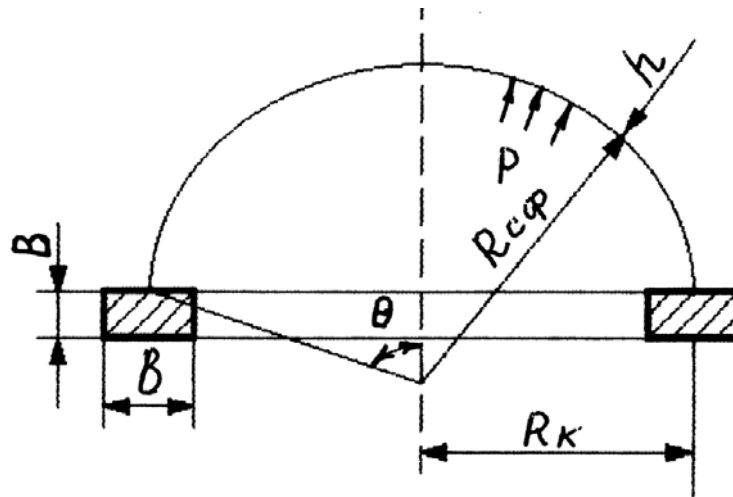


Рис. 1.

Для $H = 0,9914$ гауссовский уровень надежности $\gamma_{кр} = 2,3832$. Коэффициент $K_{сф}$ определяется по формуле

$$K_{сф} = \frac{m_R(1 - \gamma_{кр}^2 A_R^2)}{m_q(1 + \gamma_{кр} \sqrt{A_R^2 + A_q^2 - \gamma_{кр}^2 A_R^2 A_q^2})},$$

где $A_R = \frac{\sigma_R}{m_R} = \frac{50}{500} = 0,1$; $A_q = \frac{\sigma_q}{m_q} = \frac{0,2}{2} = 0,1$.

После вычислений $K_{сф} = 177$.

Для кольца $H = 0,99$; гауссовский уровень надежности $\gamma_{кольца} = 2,326$.

Коэффициент $K_{кольца}$ определялся по формуле

$$K_{кольца} = \frac{m_R(1 - \gamma_{кольца}^2 A_R^2)}{m_q(1 + \gamma_{кольца} \sqrt{A_R^2 + A_q^2 - \gamma_{кольца}^2 A_R^2 A_q^2})},$$

$K_{кольца} = 178,54$.

Площадь сечения кольца определялась при различных значениях $R_{сф}$, при этом рассматривались прямоугольные сечения с соотношением сторон $B/b = 2$.

При определении коэффициента $K_{сф}$ использовалось также выражение для максимальных напряжений

$$K_{сф} = \frac{R_{сф}}{2h} + \frac{1 + \frac{\cos \theta}{1 - \nu} \cdot \frac{2h}{bB}}{1 + \frac{12\sqrt{2}h^2\sqrt{h}\sqrt{\sin \theta}}{bB^3\rho^3} + \frac{12h^4}{b^2B^4\rho^4}} \cdot \frac{3(1 - \nu)}{\rho^2 h \sin \theta},$$

а для кольца

$$K_{кольца} = \frac{R_{сф} R_{кольца} \cos \theta}{2A_{кольца}},$$

где ν – коэффициент Пуассона; $A_{кольца} = Bb$ – площадь поперечного сечения кольца; $\rho = \sqrt[4]{3(1 - \nu^2)}$.

Для определения толщины стенки сферы h при различных значениях $R_{сферы}$ были решены следующие алгебраические уравнения:

$$y^{10} - 0,02184y^8 + 0,01978y^7 - 0,000432y^5 - 0,000028y^2 - 0,00000168 = 0;$$

$$y^{10} - 0,0113y^8 + 0,0176y^7 - 0,000199y^5 - 0,0000028y^2 - 0,000000085 = 0;$$

$$y^{10} - 0,00799y^8 + 0,0172y^7 - 0,0001374y^5 - 0,000000799y^2 - 0,000000011 = 0;$$

$$y^{10} - 0,00653y^8 + 0,02186y^7 - 0,000143y^5 - 0,000000334y^2 - 0,000000018 = 0;$$

$$y^{10} - 0,00585y^8 + 0,00543y^7 - 0,0000318y^5 - 0,00000001y^2 - 1,69982 \cdot 10^{-10} = 0.$$

Наибольшая ошибка при решении уравнений составила $f(y) = 3,571366 \cdot 10^{-6}$.

Толщина сферической крышки была получена для различных значений $R_{сф} = 7,73; 4; 2,83; 2,31; 2,07; 2$ м и равнялась, соответственно, $h = 7,75; 3,82; 2,41; 2,15; 1; 0,57$ см.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Таблица 1

$R_{сф}, \text{ м}$	$R_{кольца}, \text{ м}$	$A_{кольца}, \text{ м}^2$	$b, \text{ м}$	$B, \text{ м}$
7,73	2	0,0418	0,145	0,29
4	2	0,0194	0,0985	0,197
2,83	2	0,0112	0,075	0,15
2,31	2	0,00647	0,0804	0,1608
2,07	2	0,003	0,039	0,078
2	2	0	0	0

Проведенные исследования позволили получить удобные для практического применения соотношения, определяющие толщину стенки сферы h и площадь поперечного сечения опорного кольца $A_{кольца}$.

Литература

1. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982.
2. Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. – М.: Машгиз, 1960.

Получено 11.10.2002 г.