

УДК 62-971-98

В.Ю. Попов, аспирант, **В.И. Кочетов**, д-р техн. наук, профессор,
С.И. Лазарев, д-р техн. наук, проф., **И.В. Котельникова**, аспирант
 Тамбовский государственный технический университет, Россия
 Тел./Факс: +(4752)630370; E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО АППАРАТА ПЛОСКОКАМЕРНОГО ТИПА

В статье рассмотрена инженерная методика расчета оптимальных конструктивных параметров фланца электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа. Проведен расчет фланца мембранного аппарата методом конечных элементов (МКЭ). Расхождения между рабочими и расчетными значениями по геометрическим параметрам и массе фланца не превысили 5%.

Ключевые слова: Электробаромембранный аппарат, фланец, мембрана, методика расчета.

Введение

Мембранные процессы, где затраты энергии сведены к минимально-термодинамической используемой только на разрыв межмолекулярных связей, характеризуется безреагентностью, малой энерго и металлоемкостью и простотой конструктивного оформления [1,2]. В промышленности нашли широкое применение плоскокамерные мембранные аппараты ввиду простоты конструктивного оформления. Одним из основных элементов плоскокамерного электробаромембранного аппарата является фланец, который является несущим элементом и к нему предъявляются повышенные требования жесткости и прочности, в связи с тем, что рабочее давление в аппарате может достигать 10МПа [2].

Основное содержание и результаты работы

Рассмотрим задачу определения оптимальных конструктивных параметров фланца электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа, исходя из условий получения конструкции минимальной массы (объема) при заданной прочности и жесткости [3-5].

Предлагаемая расчетная схема фланца (рис. 1), представляет собой прямоугольную в плане плиту, усиленную по краям балками постоянной жесткости, опертую по углам и нагруженную по центральной прямоугольной выемке равномерно-распределенным давлением P [МПа].

Задача оптимизации фланца электробаромембранного аппарата формулируется следующим образом: требуется найти вектор управляемых параметров $\bar{h} = (h_1, h_2, \dots, h_n)$, который минимизирует целевую функцию, характеризующую расход материала на конструкцию (массу, объем):

$$M(h) = \sum_i^N M_i(h), \quad (1)$$

где N - число элементов подконструкции,

M - масса конструкции.

При этом должны выполняться ограничения по прочности:

$$\sigma_{\max}^{(i)} \leq [\sigma] \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

ограничения по жесткости:

© Попов В.Ю., Кочетов В.И., Лазарев С.И., Котельникова И.В.; 2013

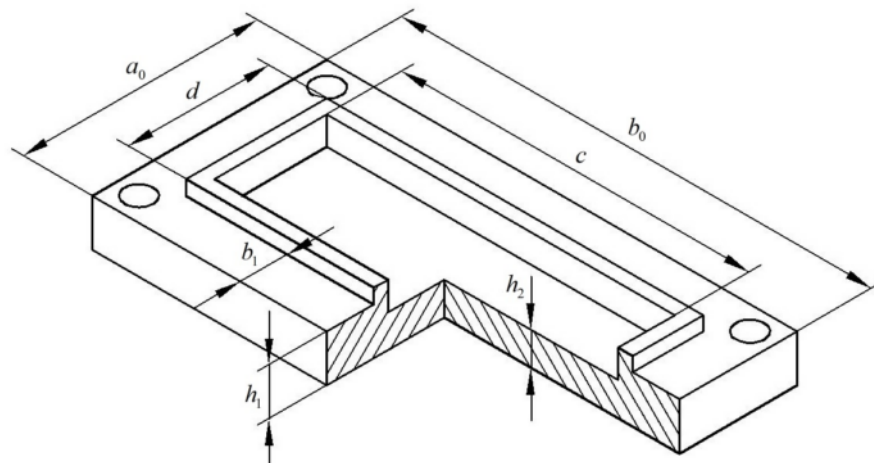


Рис. 1. Общий вид фланца

$$f_{\max}^{(i)} \leq [f]' (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

и ограничения на геометрические параметры:

$$h_{i\min} \leq h_i \leq h_{i\max} (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

где $\sigma_{\max}^{(i)}$ - максимальное напряжение в i -ом элементе фланца,

$[\sigma]'$ - допускаемое напряжение,

$f_{\max}^{(i)}$ - максимальный прогиб фланца,

$[f]'$ - допустимый прогиб фланца.

В качестве параметров h_i принимаются толщины плиты и балок фланца.

Таким образом, для конструкции фланца имеем вектор управляемых параметров $\bar{h} = (h, h_1, h_2)$, который минимизирует целевую функцию массы фланца:

$$M = [2a_0b_1h_1 + 2(b_0 - 2b_1)h_2 + cdh - 4\frac{\pi d^2}{4}h_1]\rho, \quad (5)$$

где a_0, b_0 - размеры плиты в плане,

c, d - размеры выемки,

h - толщина плиты,

h_1, h_2 - толщины балок,

b_1 - ширина балок,

d - диаметр отверстий,

ρ - плотность материала.

Ограничения по прочности будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{6M_x}{h^2} \leq [\sigma]' \\ \sigma_{\max \delta_1} &= \frac{6M_{\delta_1}}{h_1^2} \leq [\sigma]' \\ \sigma_{\max \delta_2} &= \frac{6M_{\delta_2}}{h_2^2} \leq [\sigma]' \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где $M_x = D \left[\frac{\pi}{a^2} (\delta_1 + \delta_2) \right] + \mu \frac{\pi^2}{b^2} (\delta_1 + \delta_3)$ - изгибающий момент пластины,

$M_{\delta_1} = EJ_1 \delta_2 \frac{\pi^2}{a^2}$ - изгибающий момент в первой балке,

$M_{\delta_2} = EJ_2 \delta_3 \frac{\pi^2}{b^2}$ - изгибающий момент во второй балке,

D - цилиндрическая жесткость,

E - модуль упругости материала,

J_i - момент инерции балок ($i=1, \dots, 2$),

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ - произвольные параметры, которые находятся из условия минимума полной потенциальной энергии системы и нагрузки $\Pi = -[\iint p w dx dy - V]$, где p - давление на пластину, w - прогиб пластины, V - упругая энергия пластины и энергия изгиба балок, ограничения по жесткости:

$$\left. \begin{aligned} f_{\max} &\leq [f]' \\ f_{\max \delta_1} &\leq [f_{\delta}]' \\ f_{\max \delta_2} &\leq [f_{\delta}]' \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Решение поставленной задачи реализуется на ПЭВМ с использованием метода барьерных функций (МБФ) [6].

Исходные данные для расчета имеют следующий вид:

$a_0=130\text{мм}$; $b_0=120\text{мм}$; $a=100\text{мм}$; $b=90\text{мм}$; $[f]'=[f_{\delta}]'=0,6\text{мм}$; $[f]=[f_{\delta}]=1,35\text{мм}$; $[\sigma]'=20\text{МПа}$; $[\sigma]=45\text{МПа}$; $\mu=0,34$; $\rho=1,1 \cdot 10^{-6} \text{кг} / \text{м}^3$; материал фланца - капролон.

В качестве проектных параметров фланца принимаем: h - толщина плиты, h_1 - толщина первой балки, h_2 - толщина второй балки.

Ограничения на проектные параметры:

$$\left. \begin{aligned} 25\text{мм} &\leq h \leq 28\text{мм} , \\ 25\text{мм} &\leq h_1 \leq 35\text{мм} , \\ 25\text{мм} &\leq h_2 \leq 35\text{мм} . \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Система уравнений (6) с учетом исходных данных и ограничений (8) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} &\frac{0.3907 \cdot 10^{-5}}{h^3} - \frac{0.3096 \cdot 10^6}{h^3} \left[3.065 \cdot \frac{3.05}{h} \left(\frac{h_2}{h} \right)^3 - \frac{0.223 + 0.185 \cdot \left(\frac{h_1}{h} \right)^3}{0.537 + 0.727 \cdot \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + 0.395 \left(\frac{h_2}{h} \right)^3 + 0.387 \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + \left(\frac{h_2}{h} \right)^3} \right] \leq 20 \\ &- \frac{0.101 \cdot 10^{-5}}{h^3} + \frac{0.3096 \cdot 10^6}{h^3} \left[8.535 \cdot \frac{8.436}{h} \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 \right] \cdot \frac{0.223 + 0.185 \cdot \left(\frac{h_1}{h} \right)^3}{0.537 + 0.727 \cdot \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + 0.395 \left(\frac{h_2}{h} \right)^3 + 0.387 \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + \left(\frac{h_2}{h} \right)^3} \leq 20 \\ &\frac{0.3096 \cdot 10^{-5}}{h^3} \cdot \frac{0.223 + 0.185 \cdot \left(\frac{h_1}{h} \right)^3}{0.537 + 0.727 \cdot \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + 0.395 \left(\frac{h_2}{h} \right)^3 + 0.387 \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + \left(\frac{h_2}{h} \right)^3} \leq 20 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В результате решения данной задачи с использованием МБФ на ПЭВМ при начальных значениях $h_{1min} = 20$, $h_{2min} = 20$ и точности поиска $\varepsilon = 10^{-3}$ получим оптимальные проектные параметры фланца: $h_{1min} = 25$, $h_{2min} = 25$, $h_{min} = 34,96$ (рис. 2 и 3). При этом масса фланца $M_{min} = 0,942$ кг.

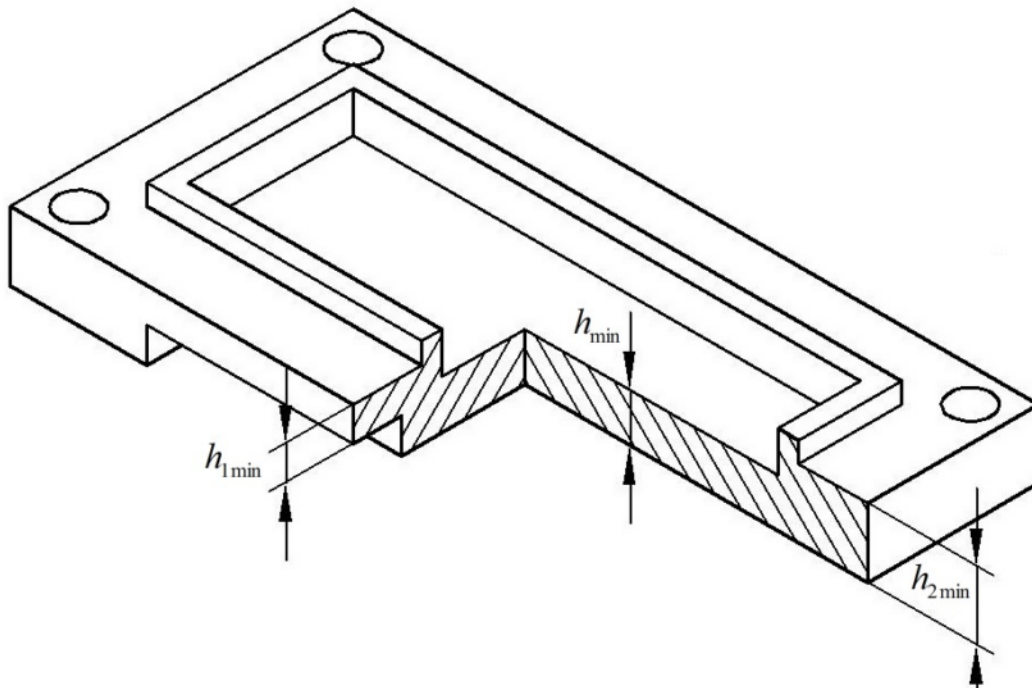


Рис. 2. Фланец с оптимальными размерами (вид сверху)

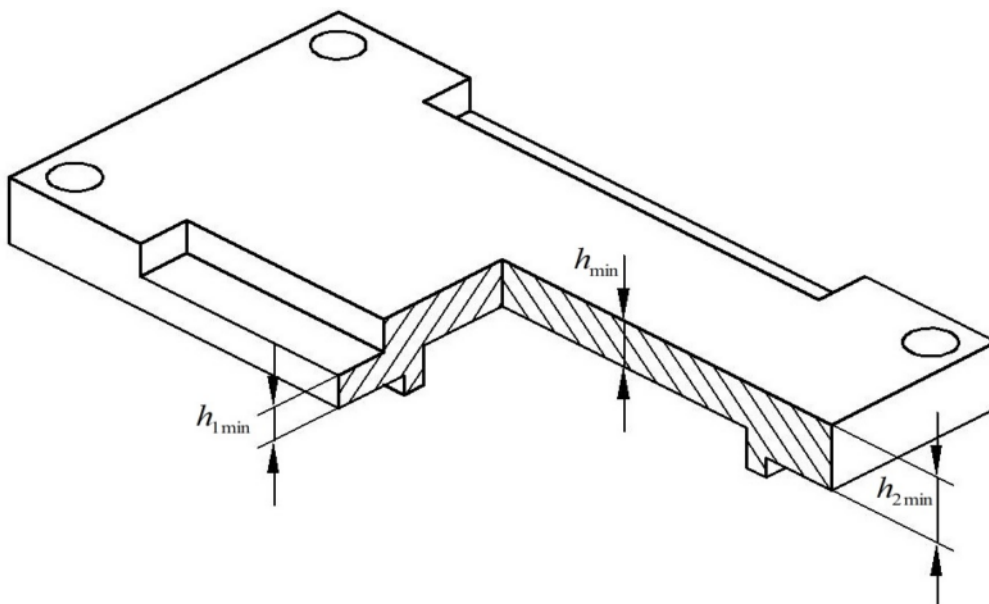


Рис. 3. Фланец с оптимальными размерами (вид снизу)

Заключение

Для подтверждения инженерной методики расчета фланца было произведено исследование НДС методом конечных элементов (МКЭ). Результаты расчета по определению проектных параметров по МКЭ подтвердили достаточно точное

совпадение значений геометрических параметров фланца, полученных при оптимизации по МБФ. Расхождения по геометрическим параметрам и массе не превысили 5%.

Работа выполнена при поддержке федерально-целевых программ «Повышение научного потенциала высшей школы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Список литературы:

1. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы / Ю.И. Дытнерский // Теория и расчет. – М.: Химия, 1986. - 272 с.
2. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа: патент С 1 2403957 RU B01D61/42, B01D61/46. / Ковалев С.В., Лазарев С.И., Чепеняк П.А., Данилов А.Ю., Лазарев К.С. владелец патента ГОУ ВПО ТГТУ. - № 2009108996/12; Заявл. 11.03.2009.
3. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин / С.В. Бояршинов. - Изд- во Машиностроение, 1973. – 456 с.
4. Кочетов В.И. Оптимальное проектирование процессов для производства полимерных и резинотехнических изделий / В.И. Кочетов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2000. - №4. – с. 20-22.
5. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди. - М: Радио и связь, 1988. – 280 с.
6. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов. Справочник [Мяченков В.И., Мальцев В.П., Майборода В.П. и др.]. - М: Машиностроение, 1989. – 520 с.

Надійшла до редакції 05.12.2012.

**В.Ю. Попов, В.І. Кочетов, С.І. Лазарєв,
І.В. Котельникова.**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ЕЛЕМЕНТІВ
ЕЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО АПАРАТУ
ПЛОСКОКАМЕРНОГО ТИПУ**

У статті розглянута інженерна методика розрахунку оптимальних конструктивних параметрів фланця електробаромембранного апарату плоскокамерного типу. Проведено розрахунок фланця мембранного апарату методом кінцевих елементів (МКЕ). Розбіжності між робітниками і розрахунковими значеннями по геометричним параметрам і масі фланця не перевищили 5%.

Ключові слова: електробаромембранный аппарат, фланець, мембрана, методика розрахунку.

**V.Y. Popov, V.I. Kochetov, S.I. Lazarev,
I.V. Kotelnikova.**

**TECHNOLOGICAL AND DESIGN
PARAMETERS OPTIMIZATION OF THE
ELECTROBAROMEMBRANE APPARATUS
ELEMENTS**

The article presents the engineering method of optimum design parameters of flange of flat-chamber type of apparatus. We calculated the flange of the membrane apparatus by finite element method (FEM). Discrepancies between the workers and the calculated values for the geometry and mass of the flange does not exceed 5%.

Keywords: Electromembrane apparatus, flange, membrane, calculation methods.