

УДК 624.95:514.18

**А. А. КРЫСЬКО, Е. В. КОНОПАЦКИЙ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЕНКИ СТАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА С НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ**

В работе предложен расчетный алгоритм геометрической модели стенки стального вертикального цилиндрического резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов с учетом несовершенств. Такая модель позволяет изучить влияние искажений геометрической формы стенки резервуара на его прочность и устойчивость.

**БН-исчисление, геометрическая модель, стальной вертикальный цилиндрический резервуар, геометрические несовершенства**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Резервуары вертикальные стальные цилиндрические предназначены для приема, хранения, выдачи нефти и нефтепродуктов. Объем их колеблется в широких пределах – от 100 до 50 000 м<sup>3</sup>.

При транспортировке, монтаже и эксплуатации резервуары принимают форму, отличающуюся от идеального цилиндра. В связи с этим возник вопрос об изучении влияния искажений геометрической формы резервуаров на их прочность. Для учета несовершенств геометрии при расчете на прочность и устойчивость цилиндрической стенки резервуара необходимо аналитическое описание её действительной поверхности. Поэтому предлагается геометрическая модель стенки стального вертикального цилиндрического резервуара с несовершенствами, которая является исходными данными для расчета резервуара на прочность и устойчивость.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Проблема расчета стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов с учетом несовершенств была рассмотрена в литературе достаточно детально, например в работах [1, 2]. Но в этих работах либо рассматриваются только местные искажения, без учета общей геометрии стенки, либо для моделирования несовершенств используются ряды Фурье, которые громоздки в использовании и в результате дают достаточно большие погрешности.

Определение общей геометрической модели стенки вертикального цилиндрического резервуара с учетом несовершенств рассматривается впервые. Для геометрического моделирования стенки резервуара используется математический аппарат «БН-исчисление» [3].

### **ЦЕЛИ**

Разработать расчетный алгоритм геометрической модели стенки стального вертикального цилиндрического резервуара с учетом несовершенств.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Рассмотрим более подробно условие задачи и исходные данные. Геометрическая модель строится для резервуара объемом 1 000 м<sup>3</sup>. Основные геометрические размеры резервуара:  $R = 5\,215$  мм и  $h = 11\,920$  мм. В горизонтальной плоскости резервуар разбит осями на четыре равные части с опорными точками  $A, B, C, D$  (рис.). По вертикали резервуар разбит на 6 поясов, значит, количество точек

© А. А. Крысько, Е. В. Конопацкий, 2013

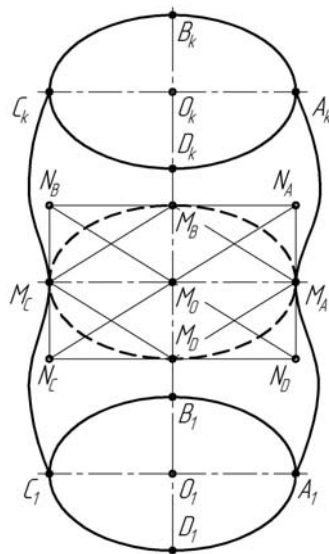


Рисунок – Геометрическая схема поверхности резервуара.

по вертикали, для которых промерены отклонения стенки от вертикали, равняется 7, т. е., в данном случае,  $k = 7$ .

Геометрическая модель поверхности резервуара будет состоять из четырёх опорных линий:  $A_1A_k$ ,  $B_1B_k$ ,  $C_1C_k$  и  $D_1D_k$ , которые будут формироваться как непрерывные выпуклые обводы первого порядка гладкости [3] в зависимости от направления и величины, полученных в результате промера, отклонений от вертикальной оси. Образующая линия поверхности будет состоять из четырёх дуг:  $M_A M_B$ ,  $M_B M_C$ ,  $M_C M_D$  и  $M_D M_A$ , которые, в свою очередь, образуют замкнутый обвод первого порядка гладкости [3] или комбинацию из четырёх симплексов:  $M_A N_A M_B$ ,  $M_B N_B M_C$ ,  $M_C N_C M_D$  и  $M_D N_D M_A$ .

Для опорных линий в качестве дуги обвода будут использованы дуги кривой Безье 2-го и 3-го порядка [4]. Рассмотрим конструирование опорных линий на примере линии  $A_1A_k$ . Точное уравнение дуги обвода для первого и последнего поясов имеют следующий вид:

$$M_{A_1} = A_1 \bar{u}^2 + 2N_2^- u \bar{u} + A_2 u^2, \quad M_{A_k} = A_{k-1} \bar{u}^2 + 2N_{k-1}^+ u \bar{u} + A_k u^2, \quad (1)$$

где  $\bar{u} = 1 - u$ .

Для промежуточных поясов (со 2 до  $k-1$  пояса) точное уравнение дуги обвода имеет следующий вид:

$$M_{A_i} = A_i \bar{u}^3 + 3N_{A_i}^+ \bar{u}^2 u + 3N_{A_{i+1}}^- u^2 \bar{u} + A_{i+1} u^3, \quad i = 2, 3, \dots, k-2. \quad (2)$$

Опорные точки  $N_{A_i}^+$  и  $N_{A_i}^-$  определяются следующими точечными уравнениями:

$$N_{A_i}^+ = (A_{i+1} - A_{i-1}) \frac{|A_i A_{i+1}|}{2|A_{i-1} A_{i+1}|} + A_i, \quad i = 2, 3, \dots, k-1, \\ N_{A_i}^- = (A_{i-1} - A_{i+1}) \frac{|A_i A_{i-1}|}{2|A_{i-1} A_{i+1}|} + A_i, \quad i = 2, 3, \dots, k-1. \quad (3)$$

Аналогичным образом получаем все четыре опорных линии.

Переходим к образующим линиям. Учитывая, что идеальный резервуар (без деформаций), представляет собой прямой цилиндр, а основание резервуара не изменяет свою форму под воздействием нагрузки и представляет собой окружность  $A_1 B_1 C_1 D_1$ , то в качестве образующей линии выберем дугу эллипса. Точное уравнение дуги кривой второго порядка [5] в симплексе  $M_A N_A M_B$  имеет следующий вид:

$$M = (M_A - N_A) \frac{f_c \bar{v}^2}{f_c (1-2v)^2 + 2v\bar{v}} + (M_B - N_A) \frac{f_c v^2}{f_c (1-2v)^2 + 2v\bar{v}} + N_A. \quad (4)$$

Вершина симплекса  $N_A$  определяется следующим уравнением:

$$N_A = M_A \frac{r_D}{r_D + p_D} + M_B + M_C \frac{r_D}{r_D + p_D}, \quad (5)$$

где  $p_D = \frac{S_{M_B M_C M_D}}{S_{M_A M_B M_C}}, r_D = \frac{S_{M_A M_B M_D}}{S_{M_A M_B M_C}}$  – отношения ориентированных площадей в симплексе  $M_A M_B M_C$ .

Вычислим необходимые площади треугольников через проекции треугольника на координатные плоскости:

$$\begin{aligned} S_x^{M_A M_B M_C} &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} y_{M_B} - y_{M_A} & z_{M_B} - z_{M_A} \\ y_{M_C} - y_{M_A} & z_{M_C} - z_{M_A} \end{vmatrix}, \\ S_y^{M_A M_B M_C} &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{M_B} - x_{M_A} & z_{M_B} - z_{M_A} \\ x_{M_C} - x_{M_A} & z_{M_C} - z_{M_A} \end{vmatrix}, \\ S_z^{M_A M_B M_C} &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{M_B} - x_{M_A} & y_{M_B} - y_{M_A} \\ x_{M_C} - x_{M_A} & y_{M_C} - y_{M_A} \end{vmatrix}, \\ S_{M_A M_B M_C} &= \sqrt{(S_x^{M_A M_B M_C})^2 + (S_y^{M_A M_B M_C})^2 + (S_z^{M_A M_B M_C})^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для остальных дуг образующей линии уравнения будут аналогичными, изменятся только точки симплекса.

В соответствии с [5], чтобы дуга  $M_A M_B$  была дугой эллипса, необходимо выполнить следующее условие  $0,5 < f_C < 1$ . Для основания резервуара, когда эллипс имеет одинаковые полуоси равные  $2R$ , получим окружность  $A_1 B_1 C_1 D_1$ . Вычислим значение параметра  $f_C$  из условия, что  $A_1 B_1 C_1 D_1$  – окружность. Параметр  $f_C$  – это отношение на медиане  $M_A M_B$  треугольника  $M_A N_A M_B$ . Учитывая это, имеем:

$$f_C = \frac{R\sqrt{2} - R}{\frac{R\sqrt{2}}{2}} = 2 - \sqrt{2} \approx 0,59. \quad (7)$$

Теоретические основы для геометрического моделирования поверхности резервуара получены. Переходим к написанию вычислительного алгоритма.

Вычислительный алгоритм.

1. Вводим все необходимые исходные данные.
2. Присваиваем координатам точек соответствующие значения.
3. Определяем четыре опорных контура  $A, B, C, D$ . Для этого сначала составляем массивы длин соответствующих отрезков для определения опорных точек и определяем опорные точки выпуклых обводов по уравнению (3).
4. Записываем точечные уравнения дуг обвода первого и последнего поясов для каждого из опорных контуров, уравнение (1).
5. Записываем точечные уравнения дуг обвода промежуточных поясов для каждого из опорных контуров, уравнение (2).
6. В соответствии с (6) определяем площади треугольников  $M_A M_B M_C, M_B M_C M_D$  и  $M_A M_B M_D$ .
7. Определяем точки  $N_A, N_B, N_C$  и  $N_D$  в соответствии с выражением (5).
8. В соответствии с (4) записываем уравнения четырех дуг эллипса и получаем геометрическую модель поверхности резервуара для хранения нефтепродуктов.
9. Организовываем вывод данных в необходимой для инженера форме.

## ВЫВОДЫ

В работе предложен расчетный алгоритм геометрической модели стенки стального вертикального цилиндрического резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов с учетом несовершенств. Данная модель позволяет изучать влияние искажений геометрической формы на прочность и устойчивость для резервуаров любого объема.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров, Е. А. Комплексный анализ, оценка и управление надежностью стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов [Текст] : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Егоров Евгений Аркадьевич. – Д. : ПГАСА, 2004. – 337 с.

2. Тюрин, Д. В. Моделирование вертикальных стальных резервуаров с несовершенствами геометрической формы [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Тюрин Дмитрий Владимирович. – Тюмень, 2003. – 175 с.
3. Балюба, И. Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении [Текст] : дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Балюба Иван Григорьевич. – Макеевка : МИСИ, 1995. – 227 с.
4. Балюба, И. Г. Конструювання плоских і просторових алгебраїчних кривих системою лінійних точкових рівнянь [Текст] / І. Г. Балюба, Є. В. Конопацький, Ж. В. Старченко // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь : ТДАТА, 2002. – Т. 17, Вип. 4 : Прикладна геометрія та інженерна графіка. – С. 66–67.
5. Поліщук, В. І. Побудова просторової дуги кривої третього порядку [Текст] / Є. В. Конопацький, В. І. Поліщук // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2009. – Вип. 2009-5(79) : Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Т. 2. – С. 169–172.

Получено 11.04.2013

О. А. КРИСЬКО, Є. В. КОНОПАЦЬКИЙ  
ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІНКИ СТАЛЕВОГО  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРА З  
НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

В роботі запропоновано розрахунковий алгоритм геометричної моделі стінки резервуара для зберігання нафти та нафтопродуктів з урахуванням недосконалостей. Отримана модель дозволяє досліджувати вплив недосконалостей геометричної форми стінки резервуара на його міцність і стійкість.

**BN-числення, геометрична модель, сталевий вертикальний циліндричний резервуар, геометричні недосконалості**

ALEXANDRA KRYSKO, YEVGEN KONOPATSKY  
GEOMETRICAL DESIGN OF WALL OF STEEL VERTICAL CYLINDRICAL  
TANKS WITH IMPERFECTIONS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The calculation algorithm of the geometrical model of wall of steel vertical cylindrical tanks is in-process offered for storage of oil and oil products taking into account imperfections. Such model will allow to explore influences of distortion the geometrical form of wall tanks on its durability and stability.

**BN-calculation, geometrical model, steel vertical cylindrical tank, geometrical imperfections**