

УДК 514.18

**ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ТЕХНИЧЕСКИХ  
ФОРМ МЕТОДАМИ БН-ИСЧИСЛЕНИЯ**

*Крысько Александра Анатольевна,*

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
г.Макеевка (Украина),*

*ассистент кафедры «Специализированные информационные технологии и  
системы».*

**Аннотация**

В работе проведен анализ современного состояния вопроса геометрического моделирования действительной поверхности тонкостенных оболочек технических форм. Обоснован выбор математического аппарата БН-исчисление для геометрического моделирования действительной поверхности тонкостенных оболочек технических форм. Предложен универсальный расчетный алгоритм, который позволяет определить действительную поверхность тонкостенной оболочки инженерного сооружения с учётом несовершенств геометрической формы.

**Ключевые слова:** тонкостенные оболочки технических форм, несовершенства геометрической формы, БН-исчисление, расчетный алгоритм.

**GEOMETRICAL MODELLING OF DESIGNS OF THIN-WALLED COVERS  
TECHNICAL FORMS BN-CALCULATION**

*Krys'ko Alexandra Anatolievna,*

*The Donbas National Academy of Building and Architecture, Makeyevka (Ukraine),*

*Assistant of the department "Specialized Information Technologies and Systems".*

## **Abstract**

In work the analysis of a current state of a question of geometrical modeling of the valid surface of thin-walled covers of technical forms is carried out. The choice of mathematical apparatus BN-calculation for geometrical modeling of the valid surface of thin-walled covers of technical forms is reasonable. The universal settlement algorithm which allows to define the valid surface of a thin-walled cover of an engineering construction taking into account imperfections of a geometrical form is offered.

**Keywords:** thin-walled covers of technical forms, geometrical form is offered, BN-calculation, settlement algorithm.

Исследования, посвящённые влиянию несовершенств геометрической формы на прочность и устойчивость тонкостенных оболочек, являются одной из актуальных, сложных и до конца не решенных проблем теории прочности оболочек.

Отдельным видом таких оболочек, являются стальные тонкостенные оболочки вращения, которые нашли самое разнообразное применение в инженерной практике: газгольдеры для хранения и распределения газов; бункеры и силосы для хранения и перегрузки сыпучих материалов; трубопроводы больших диаметров; дымовые и вентиляционные трубы, водонапорные башни, градирни; специальные конструкции металлургической, химической и других отраслей промышленности; различные баки и контейнеры для транспортировки жидких и газообразных веществ, в том числе и вагоны-цистерны. Также к таким сооружениям относятся и стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов.

Имеющиеся случаи разрушения приведенных выше инженерных сооружений привели к необходимости периодического мониторинга их состояния в течение всего периода эксплуатации.

Например, основным конструктивным элементом вертикального цилиндри-

дрического резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов является цилиндрическая стенка. Она представляет собой тонкостенную оболочку, на которую воздействуют объективные и субъективные факторы, изменяя её первоначальную геометрическую форму [1,2]. К объективным факторам можно отнести целый комплекс нагрузок: собственный вес конструкций, гидростатическое давление жидкости в резервуаре, вакуум, ветровая и снеговая нагрузки. К субъективным факторам относятся погрешности связанные с транспортировкой и монтажом стенки резервуара, а также нарушение условий эксплуатации резервуара.

Характерными геометрическими несовершенствами стенки стальных резервуаров являются:

- отклонения стенки от вертикальной прямолинейной образующей;
- локальные выпучины или вмятины различной формы и расположения;
- выпучивание поясов между сварными швами.

Эти же несовершенства геометрической формы характерны и для других тонкостенных оболочек инженерных конструкций. Для учета несовершенств геометрической формы при расчете на прочность и устойчивость такой оболочки необходимо аналитическое описание её действительной поверхности.

Во время мониторинга инженерных сооружений рассматриваемых конструкции, наряду с традиционными инструментами (рулетка, измерительное колесо, отвес и т.д.), используется технология наземного лазерного сканирования, которая позволяет получить цифровую модель действительной поверхности тонкостенной оболочки технической формы.

В своих работах автор статьи рассматривает различные способы получения исходных данных. Например, в работе [3] разработан расчетный алгоритм обработки данных, для удаления избыточной информации, полученной НЛС для дальнейшего создания геометрической модели. В работах [4-6] разработаны расчетные алгоритмы геометрической модели стенки стального резервуара на основании натуральных обмеров существующего резервуара выполненных тради-

ционными способами и инструментами.

Для геометрического моделирования конструкций тонкостенных оболочек инженерных сооружений с учётом несовершенств геометрической формы автором используется математический аппарат БН-исчисления [7-9]. Этот аппарат, позволяет получить аналитические зависимости, описывающие действительную поверхность тонкостенных оболочек инженерных сооружений. Такой подход позволит не только аналитически описать действительную поверхность оболочки на основе дискретного массива точек, полученного любым способом (в том числе и наземным лазерным сканированием – НЛС), и исследовать её под действием различных нагрузок, но и моделировать с помощью ЭВМ изменение действительной поверхности оболочки при проведении предполагаемых мер по ликвидации несовершенств геометрической формы. Это позволит эффективно оценить и обосновать с помощью компьютерного моделирования необходимость проведения работ по ликвидации несовершенств конструкции.

Сформируем геометрическую схему поверхности резервуара (рисунок 1). Точки на поверхности резервуара обозначены  $A_{ij}$ , где  $i$  – порядковый номер опорного контура, который изменяется от 1 до  $m$ ;  $j$  – порядковый номер точки на опорном контуре, который изменяется от 1 до  $n$ . Количество опорных контуров зависит от количества поясов:  $m=k+1$ , где  $k$  – количество поясов. Также необходимо определить количество точек, для которых было промерено горизонтальное отклонение вертикальной стенки резервуара при его обследовании. С геометрической точки зрения модель поверхности резервуара – это замкнутый сегмент поверхности, который образован дугами выпуклых обводов первого порядка гладкости [7]. Линии опорных контуров этого сегмента поверхности формируются как замкнутые обводы первого порядка гладкости.

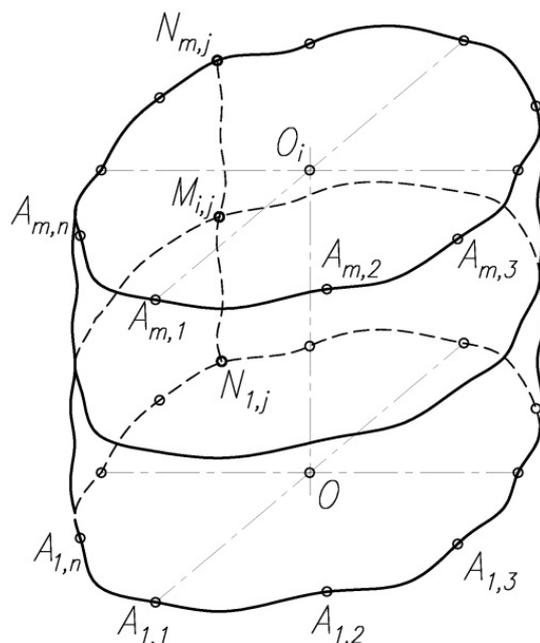


Рисунок 1 – Геометрическая схема поверхности резервуара с несовершенствами

Алгоритм формирования линий опорного контура следующий:

1. Формируем цикл для  $j$  (от 1 до  $n$ ).
2. Определяем длину отрезка  $A_{i,j}A_{i+1,j}$ :

$$|A_{i,j}A_{i+1,j}| = \sqrt{(x_{A_{i+1,j}} - x_{A_{i,j}})^2 + (y_{A_{i+1,j}} - y_{A_{i,j}})^2 + (z_{A_{i+1,j}} - z_{A_{i,j}})^2}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, m.$$

Принимаем  $A_{1,j} = A_{m+1,j}$ .

3. Определяем длину отрезка  $A_{i,j}A_{i+2,j}$ :

$$|A_{i,j}A_{i+2,j}| = \sqrt{(x_{A_{i+2,j}} - x_{A_{i,j}})^2 + (y_{A_{i+2,j}} - y_{A_{i,j}})^2 + (z_{A_{i+2,j}} - z_{A_{i,j}})^2}, \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, m.$$

Принимаем  $A_{2,j} = A_{m+2,j}$ .

4. Определяем точки  $B_{i+1,j}$ :

$$B_{i+1,j} = \frac{|A_{i+1,j}A_{i+2,j}| \left( (A_{i+2,j} - A_{i,j}) + 2A_{i+1,j} |A_{i,j}A_{i+2,j}| \right)}{2|A_{i,j}A_{i+2,j}|}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Принимаем  $B_{1,j} = B_{m+1,j}$ .

5. Определяем точки  $C_{i+1,j}$ :

$$C_{i+1,j} = \frac{|A_{i,j}A_{i+1,j}|(A_{i,j} - A_{i+2,j}) + 2A_{i+1,j}|A_{i,j}A_{i+2,j}|}{2|A_{i,j}A_{i+2,j}|}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Принимаем  $C_{1,j} = C_{m+1,j}$ .

**6.** Определяем дуги линий  $j$ -го опорного контура:

$$N_{i,j} = A_{i,j}\bar{u}^3 + 3B_{i,j}\bar{u}^2u + 3C_{i,j}u^2\bar{u} + A_{i+1,j}u^3, \quad (5)$$

где  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $\bar{u} = 1 - u$ ;  $0 \leq u \leq 1$ .

**7.** Увеличиваем  $j$  на единицу, возвращаемся к первому пункту и повторяем все операции до значения  $j=n$ .

Таким образом, получаем  $n$  замкнутых линий опорных контуров, которые состоят из дуг кривых третьего порядка. Затем определяем образующую линию поверхности резервуара, как дугу обвода первого порядка гладкости.

Алгоритм формирования образующих линий следующий:

**1.** Формируем цикл для  $i$  (от 1 до  $m$ ).

**2.** Определяем длину отрезков:

$$\begin{aligned} |A_{i,j}A_{i,j+1}| &= \sqrt{(x_{A_{i,j+1}} - x_{A_{i,j}})^2 + (y_{A_{i,j+1}} - y_{A_{i,j}})^2 + (z_{A_{i,j+1}} - z_{A_{i,j}})^2}, \\ |A_{i,j-1}A_{i,j+1}| &= \sqrt{(x_{A_{i,j+1}} - x_{A_{i,j-1}})^2 + (y_{A_{i,j+1}} - y_{A_{i,j-1}})^2 + (z_{A_{i,j+1}} - z_{A_{i,j-1}})^2}, \\ |A_{i,j}A_{i,j-1}| &= \sqrt{(x_{A_{i,j-1}} - x_{A_{i,j}})^2 + (y_{A_{i,j-1}} - y_{A_{i,j}})^2 + (z_{A_{i,j-1}} - z_{A_{i,j}})^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

**3.** Определяем точки  $P_{i,j}$  и  $Q_{i,j}$ :

$$\begin{aligned} P_{i,j} &= (A_{i,j+1} - A_{i,j-1}) \frac{|A_{i,j}A_{i,j+1}|}{2|A_{i,j-1}A_{i,j+1}|} + A_{i,j}, \quad j = 2, 3, \dots, n-1, \\ Q_{i,j} &= (A_{i,j-1} - A_{i,j+1}) \frac{|A_{i,j}A_{i,j-1}|}{2|A_{i,j-1}A_{i,j+1}|} + A_{i,j}, \quad j = 2, 3, \dots, n-1. \end{aligned} \quad (7)$$

**4.** Определяем дуги обвода для первого и последнего поясов:

$$\begin{aligned} M_{i,1} &= N_{i,1}\bar{v}^2 + 2Q_{i,2}v\bar{v} + N_{i,2}v^2, \\ M_{i,n} &= N_{i,n-1}\bar{v}^2 + 2P_{i,n-1}v\bar{v} + N_{i,n}v^2. \end{aligned} \quad (8)$$

**5.** Формируем дуги образующих линий для промежуточных поясов:

$$M_{i,j} = N_{i,j} \bar{v}^3 + 3P_{i,j} \bar{v}^2 v + 3Q_{i,j} v^2 \bar{v} + N_{i,j+1} v^3, \quad j = 2, 3, \dots, n-2 \quad (9)$$

6. Увеличиваем значение  $i$  на единицу, возвращаемся к первому пункту и повторяем все операции до значения  $i=m$ .

Предложенный алгоритм дает возможность инженеру построить модель действительной поверхности тонкостенной оболочки технической формы любого объема. Наличие такой модели позволит изучить влияния искажения геометрической формы поверхности сооружения на его прочность и устойчивость.

### Библиографический список:

1. Егоров Е.А. Комплексный анализ, оценка и управление надежностью стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов: дисс... доктора техн. наук: 05.23.01. Д.: ПГАСА, 2004. 337 с.

2. Тюрин Д.В. Моделирование вертикальных стальных резервуаров с несовершенствами геометрической формы: дисс... канд. техн. наук: 25.00.19. Тюмень, 2003. 175 с.

3. Крисько О.А. Обробка даних отриманих НЛС для створення геометричної моделі дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. Вип. 2. С. 51-56.

4. Крисько О.А. Теоретические основы геометрического моделирования поверхности резервуара для хранения нефтепродуктов с несовершенствами // Научная дискуссия: вопросы технических наук. № 8-9(11): сборник статей по материалам XIII-XIV международной заочной научно-практической конференции. М.: Изд. «Международный центр образования и науки», 2013. С. 17-25.

5. Крисько О.А., Конопацкий Є.В. Геометрическое моделирование стенки стального вертикального цилиндрического резервуара с

несовершенствами // Вісник ДонДАБА «Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій». 2013. Випуск 2013-3(101). С. 126-129.

6. Крисько О.А. Спосіб геометричного моделювання поверхні резервуару будь-якого об'єму для зберігання нафтопродуктів з урахуванням недосконалостей // Будівництво та техногенна безпека. Збірник наукових праць. Вип. 48. Доповіді десятої міжнародної кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн». Сімферополь: НАПКС, 2013. С.98-102.

7. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: дисс...доктора техн. наук: 05.01.01. Макеевка: МИСИ, 1995. 227 с.

8. Найдыш В.М., Балюба И.Г., Верещага В.М. Алгебра БН-исчисления // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Міжвідомчий науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2012. Вип. 90. С.210-215.

9. Балюба І.Г., Поліщук В.І., Малютіна Т.П. Основи математичного апарату точкового числення // Таврійська державна агротехнічна академія. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь: ТДАТА, 2005. Т.29. Вип. 4. С. 22-30.