

УДК 514.18

О.А. КРИСЬКО<sup>1</sup>, А.В. НАЙДИШ<sup>2</sup>, Д.В. СПІРІНЦЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
<sup>2</sup>Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

## ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЙСНОЇ ПОВЕРХНІ ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК ТЕХНІЧНИХ ФОРМ

*В роботі проведено аналіз сучасного стану питання геометричного моделювання дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм та зроблено висновок про актуальність обраної теми і необхідність проведення запропонованих досліджень в галузі прикладної геометрії. Обґрунтовано вибір математичного апарату БН-числення для геометричного моделювання дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм. Запропоновано універсальний розрахунковий алгоритм, який дозволяє визначити дійсну поверхню тонкостінної оболонки інженерної споруди з урахуванням недосконалостей геометричної форми.*

*Ключові слова: тонкостінні оболонки технічних форм, недосконалості геометричної форми, прикладна геометрія, БН-числення, розрахунковий алгоритм.*

A.A. KRYSKO<sup>1</sup>, A.V. NAYDYSH<sup>2</sup>, D.V. SPIRINTSEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture  
<sup>2</sup>Melitopol State Pedagogical University named after Bogdan Khmelnytsky

## GEOMETRICAL MODELLING OF DESIGNS OF THIN-WALLED COVERS TECHNICAL FORMS

### Annotation

*In this work the problem of geometrical modeling of designs of thin-walled covers of engineering constructions taking into account imperfections of a geometrical form is considered. Research objective is carrying out the analysis of an existing condition of a question, its updating and development of universal settlement algorithm for creation of geometrical model of the valid surface of thin-walled covers of technical forms by means of mathematical apparatus of BN-calculation.*

*In work the analysis of references on the basis of which the conclusion is drawn on relevance of a case in point is carried out. The choice of mathematical apparatus of BN-calculation for creation of geometrical model of the valid surface of thin-walled covers of technical forms is reasonable. The geometrical model of a surface on the example of a wall of the vertical cylindrical tank is created. The universal settlement algorithm for creation of geometrical model of designs of thin-walled covers of engineering constructions taking into account imperfections of a geometrical form is offered.*

*Thus, we have an opportunity not only analytically to define the valid surface of a cover on the basis of discretely set massif of points received in any way including NLS, and to investigate it under the influence of various loadings, but also to model by means of the COMPUTER of change of the valid surface of a cover when carrying out possible measures for elimination of imperfections of a geometrical form. It will allow to estimate and prove effectively by means of computer modeling need of work on elimination of imperfections of a design.*

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

**Постановка проблеми.** Під час транспортування, монтажу та експлуатації на тонкостінні оболонки інженерних споруд впливають об'єктивні та суб'єктивні фактори, змінюючи її первинну геометричну форму. Для врахування недосконалостей геометричної форми при розрахунку на міцність і стійкість такої оболонки, потрібний аналітичний опис її дійсної поверхні. Тому в роботі запропоновано універсальний розрахунковий алгоритм для геометричного моделювання дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм, який дозволяє визначити геометричну модель тонкостінної оболонки інженерної споруди з урахуванням недосконалостей геометричної форми.

**Аналіз останніх досліджень.** Більшість наукових досліджень з цього питання можна класифікувати на два типи.

1. Дослідження, недосконалостей геометричної форми тонкостінних оболонок, виконані фахівцями з галузей науки суміжних із прикладною геометрією, а іноді і взагалі далеких від неї, таких як: будівельна механіка [1]; будівельні конструкції, будівлі і споруди [2]; залізничний транспорт [3]; будівництво і експлуатація нафтогазопроводів, баз і сховищ [4]; динаміка, міцність машин, приладів і апаратури [5] і т.п.

2. Дослідження фахівців з прикладної геометрії в області оболонок конструкцій не пов'язані з недосконалістю геометричної форми. Це роботи в першу чергу Київської школи прикладної геометрії: Михайленко В.С., Обухової В.С., Підгірного О.Л., результатом якої стала праця "Формоутворення оболонок в архітектурі" [6]. Дослідження в цій області були продовжені їх учнями. Наприклад, Холмурзаєв А.А., науковими керівниками якого були Михайленко В.С. і Дехтяр А.С., займався формоутворенням і оптимальним проектуванням оболонок на жорстко-пластичній основі [7]. Абдуллаєв А.А., науковим керівником якого був Підгірний О.Л., займався моделюванням поверхонь мембранних і мембранно-вантових покриттів [8]. Питання дискретного моделювання поверхонь оболонок з

урахуванням сукупності геометричних і статичних формують чинників були досліджені Грищенком В.Г. [9], науковим керівником якого був Ковальов С.М.

Питання геометричного моделювання дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм були також розглянуті автором у попередніх роботах [12-16].

**Формулювання цілей.** Провести аналіз існуючого стану питання, розглянути актуальність обраної теми і необхідність проведення запропонованих досліджень в галузі прикладної геометрії. Розробити універсальний розрахунковий алгоритм побудови геометричної моделі тонкостінної оболонки інженерної споруди з урахуванням недосконалостей геометричної форми.

**Основна частина.** Дослідження, присвячені впливу недосконалостей геометричної форми на міцність і стійкість тонкостінних оболонок, є одними з актуальних, складних і до кінця нерозв'язаних проблем теорії міцності оболонок.

Окремим видом таких оболонок, є сталеві тонкостінні оболонки обертання, які знайшли найрізноманітніше застосування в інженерній практиці: газгольдери для зберігання і розподілу газів; бункери і силоси для зберігання і перевантаження сипких матеріалів; трубопроводи великих діаметрів; димові і вентиляційні труби, водонапірні вежі, градирні; спеціальні конструкції металургійної, хімічної та інших галузей промисловості; різні баки і контейнери для транспортування рідких і газоподібних речовин, у тому числі і вагони-цистерни. Також до таких споруд відносяться і сталеві вертикальні циліндричні резервуари для зберігання нафти і нафтопродуктів.

Як показує проведений нами аналіз літературних джерел, питаннями недосконалостей геометричної форми тонкостінних оболонок займалися непрофесійні геометри, а фахівці з тих областей науки, в яких виникали проблеми дослідження цих недосконалостей та їх впливу на роботу інженерних споруд. У зв'язку з цим, при математичному моделюванні дійсної поверхні оболонки використовувалися не спеціалізовані інструменти прикладної геометрії, а загальновідомі методи. Такий підхід не дає можливості оцінити вплив тієї чи іншої недосконалості на всю конструкцію в цілому, а отже і пропозиції з необхідності усунення таких недосконалостей не завжди є оптимальними і економічно обґрунтованими.

Для геометричного моделювання конструкцій тонкостінних оболонок інженерних споруд з урахуванням недосконалостей геометричної форми в цій роботі пропонується використати математичний апарат БН-числення [10, 11]. Цей апарат, дозволяє отримати аналітичні залежності, за допомогою яких можна визначити дійсну поверхню тонкостінних оболонок інженерних споруд. Такий підхід дозволяє не лише аналітично визначити дійсну поверхню оболонки на основі дискретно заданого масиву точок, отриманого будь-яким способом, у тому числі і НЛС, і досліджувати її під дією різних навантажень, але і моделювати за допомогою ЕОМ зміну дійсної поверхні оболонки при проведенні можливих заходів з ліквідації недосконалостей геометричної форми. Це дозволяє ефективно оцінити і обґрунтувати за допомогою комп'ютерного моделювання необхідність проведення робіт з ліквідації недосконалості конструкції.

Сформуємо геометричну схему моделювання поверхні резервуару (рисунок 1). Для визначення точок на поверхні резервуару прийняті наступні позначення:  $A_{i,j}$ , де  $i$  – порядковий номер опорного контуру, який змінюється від 1 до  $m$ ;  $j$  – порядковий номер точки на опорному контурі, який змінюється від 1 до  $n$ . Кількість опорних контурів залежить від кількості поясів:  $m=k+1$ , де  $k$  – кількість поясів. Також необхідно визначити кількість точок, для яких було промірено горизонтальне відхилення вертикальної стінки резервуару під час його обстеження.

З геометричної точки зору, модель поверхні резервуару – це замкнутий сегмент поверхні, який утворено дугами опуклих обводів першого порядку гладкості [10]. Лінії опорних контурів цього сегменту поверхні формуються як замкнуті обводи першого порядку гладкості.

Алгоритм формування ліній опорного контуру наступний:

1. Формуємо цикл для  $j$  від 1 до  $n$ .
2. Визначаємо довжину відрізка  $A_{i,j}A_{i+1,j}$ :

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

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

Приймаємо  $A_{1,j} = A_{m+1,j}$ .

3. Визначаємо довжину відрізка  $A_{i,j}A_{i+2,j}$ :

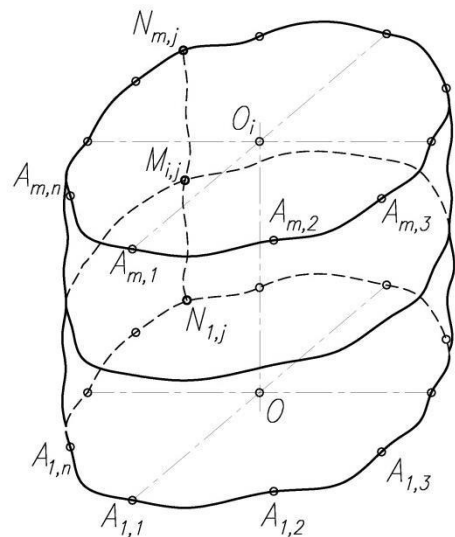


Рис. 1. Геометрична схема поверхні резервуару з недосконалостями

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

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

Приймаємо  $A_{2,j} = A_{m+2,j}$ .

4. Визначаємо точки  $B_{i+1,j}$ :

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

Приймаємо  $B_{1,j} = B_{m+1,j}$ .

5. Визначаємо точки  $C_{i+1,j}$ :

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

Приймаємо  $C_{1,j} = C_{m+1,j}$ .

6. Визначаємо дуги ліній  $j$ -ого опорного контуру:

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

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

7. Збільшуємо  $j$  на одиницю, повертаємося до першого пункту і повторюємо всі операції доки  $j = n$ .

Таким чином, отримаємо  $n$  замкнутих ліній опорних контурів, які складаються з дуг кривих третього порядку. Далі визначимо твірну лінію поверхні резервуару, як дугу обводу першого порядку гладкості.

Алгоритм формування твірних ліній наступний:

1. Формуємо цикл для  $i$  від 1 до  $m$ .

2. Визначаємо довжини відрізків:

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

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

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

3. Визначаємо точки  $P_{i,j}$  та  $Q_{i,j}$ :

$$P_{i,j} = (A_{i,j+1} - A_{i,j-1}) \frac{|A_{i,j}A_{i,j+1}|}{2|A_{i,j-1}A_{i,j+1}|} + A_{i,j}, \quad j = 2, 3, \dots, n-1,$$

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

4. Визначаємо дуги обводу для першого і останнього поясів:

$$M_{i,1} = N_{i,1}\bar{v}^2 + 2Q_{i,2}v\bar{v} + N_{i,2}v^2,$$

$$M_{i,n} = N_{i,n-1}\bar{v}^2 + 2P_{i,n-1}v\bar{v} + N_{i,n}v^2.$$
(8)

5. Формуємо дуги твірних ліній для проміжних поясів:

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

6. Збільшуємо значення  $i$  на одиницю, повертаємося до першого пункту і повторюємо всі операції доки  $i = m$ .

**Висновки.** В роботі проведено аналіз існуючого стану питання на підставі якого можна зробити висновок про актуальність обраної теми і необхідність проведення запропонованих досліджень в галузі прикладної геометрії. Для геометричного моделювання дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм обрано математичний апарат БН-числення, на основі якого запропоновано універсальний розрахунковий алгоритм, який дозволяє визначити геометричну модель тонкостінної оболонки інженерної споруди з урахуванням недосконалостей геометричної форми.

**Література**

1. Иванов В.И. Геометрические исследования, формообразование, разработка методов расчета и численный анализ напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек сложной формы с системой плоских координатных линий: Дис... д-ра техн. наук: 05.23.17 / Иванов Вячеслав Николаевич – Москва, 2006. – 394с.
2. Егоров Е.А. Комплексный анализ, оценка и управление надежностью стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов: Дис... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Егоров Евгений Аркадьевич – Д.: ПГАСА, 2004. - 337 с.
3. Архипов А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния котла цистерны, имеющего геометрические несовершенства: Дисс... канд. техн. наук: 05.22.07 / Архипов Андрей Владимирович – Екатеринбург, 2007. – 146с.
4. Тюрин Д.В. Моделирование вертикальных стальных резервуаров с несовершенствами геометрической формы: автореф. Дисс... канд. техн. наук: 25.00.19 / Д. В. Тюрин – Тюмень, 2003. – 27 с.
5. Алифанов Л.А. Нормирование дефектов формы и ресурса вертикальных цилиндрических резервуаров: автореф. Дисс... канд. техн. наук: 01.02.06 / Алифанов Л. А. – Красноярск, 2003. – 25с.
6. Михайленко В.Е. Формообразование оболочек в архитектуре / В.Е. Михайленко, В.С.Обухова, А.Л.Подгорный. – К.: Будівельник, 1972.– 205 с.
7. Холмурзаев А.А. Формообразование и оптимальное проектирование оболочек на жесткопластическом основании: автореф. Дисс... канд. техн. наук: 05.01.01. / А.А. Холмурзаев– Киев, 1992. – 22с.
8. Грищенко В.Г. Дискретное моделирование поверхностей оболочек с учетом совокупности геометрических и статических формообразующих факторов: Дисс... канд. техн. наук: 05.01.01. / В.Г. Грищенко – Киев, 1984. – 197с.
9. Абдуллаев А.А. Моделирование поверхностей мембранных и мембранно-вантовых покрытий: Дисс... канд. техн. наук: 05.01.01. / А.А. Абдуллаев– Киев, 1984. – 188с.
10. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: дисс...доктора техн. наук: 05.01.01 / Балюба Иван Григорьевич – Макеевка: МИСИ, 1995. – 227 с.
11. Найдиш В.М. Алгебра БН-исчисления / В.М. Найдыш , И.Г. Балюба , В.М. Верещага // Прикладна геометрія та інженерна графіка.– К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С.210-215.
12. Конопацький Є.В. Геометричне моделювання поверхні резервуару для зберігання нафтопродуктів з урахуванням недосконалостей методами БН-числення / А.І. Бумага, Є.В. Конопацький, О.А. Крисько // Матеріали ІІ-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Прикладна геометрія, дизайн та об’єкти інтелектуальної власності”.– К.: ДІЯ, 2013 р. – Вип. 2. – С.118-122.
13. Крисько О.А. Теоретические основы геометрического моделирования поверхности резервуара для хранения нефтепродуктов с несовершенствами / О.А. Крисько // 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.
14. Крисько О.А. Спосіб геометричного моделювання поверхні резервуару будь-якого об’єму для зберігання нафтопродуктів з урахуванням недосконалостей / О.А. Крисько // Будівництво та техногенна безпека. Збірник наукових праць. Сімферополь: НАПКС, 2013. Вип. 48. Доповіді десятої міжнародної кримської науково-практичної конференції “Геометричне та комп’ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн” – С.98-102.
15. Конопацький Є.В. Геометрическое моделирование стенки стального вертикального цилиндрического резервуара с несовершенствами / О.А. Крисько, Є.В. Конопацький // Вісник ДонДАБА “Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій”. Випуск 2013-3(101) – С. 126-129.
16. Крисько О.А. Обробка даних отриманих НЛС для створення геометричної моделі дійсної поверхні тонкостінних оболонок технічних форм / О.А. Крисько // Сучасні проблеми моделювання: – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – Вип. 2. – С.51-56.