

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

# ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ISSN: 2707-3068

## Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини

Випуск №28



Одеса 2024

ISSN: 2707-3068

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

---

СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ  
З МЕТАЛУ ТА ДЕРЕВИНИ

---

Випуск № 28

ОДЕСА 2024

# СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ З МЕТАЛУ ТА ДЕРЕВИНИ

ISSN: 2707-3068

Випуск № 28, 2024 р.

Збірник наукових праць видається з 1992 р., періодичність – 1 раз на рік.

Засновник і видавець – Одеська державна академія будівництва та архітектури (ОДАБА).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 16172-4644Р від 02.12.2009

**Збірник наукових праць входить до переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт. Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020 року (категорія Б).**

**Збірник наукових праць включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.**

У збірнику представлені результати наукових і експериментально-теоретичних досліджень будівельних конструкцій з металу та деревини. Призначений для наукових працівників, спеціалістів проектних установ та виробничих підприємств будівельної галузі, аспірантів та магістрів навчальних закладів.

**Головний редактор – Ковров А.В.**, к.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, ректор ОДАБА, віце-президент Академії енергетики України, голова територіального відділення Академії будівництва України;

**Відповідальний редактор – Клименко Є.В.** – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

**Редакційна колегія:**

**Білик С.І.** – д-р техн. наук, проф., Київський національний університет будівництва і архітектури;

**Вировой В.М.** – д-р техн. наук, проф., заслужений діяч науки і техніки України, ОДАБА;

**Гібаленко О.М.** – д-р техн. наук, проф., Приазовський державний технічний університет;

**Голоднов О.І.** – д-р техн. наук, проф., Національний авіаційний університет;

**Гомон С.С.** – д-р техн. наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування;

**Махінько А.В.** – д-р техн. наук, проф., лауреат премії Президента України, Національний авіаційний університет;

**Пічугін С.Ф.** – д-р техн. наук, проф., Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Заслужений діяч науки і техніки України, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка;

**Суханов В.Г.** – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

**Яковенко І.А.** – д-р техн. наук, проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Aniskin Aleksej** – Ph.D., Assistant Professor University North, Хорватія.

**Технічна редакція:**

**Відповідальний технічний редактор – Гілодо О.Ю.** – к-т техн. наук, доц., завідувач кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій ОДАБА, член-кореспондент Інженерної академії України.

**Арсирій А.М.** – к-т техн. наук, доц., ОДАБА.

**Сьоміна Ю.А.** – к-т техн. наук, доц., ОДАБА.

Рекомендовано до видання Вченою радою ОДАБА

Протокол № 9 від 29.05.2024 р.

Свідоцтво КВ 16172-4644Р від 02.12.2009 р.

Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020 р. (категорія Б).

**ISSN: 2707-3068**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
ODESA STATE ACADEMY  
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS**

---

**MODERN STRUCTURES OF METAL AND WOOD**

---

**Issue № 28**

**ODESA 2024**

## **MODERN STRUCTURES OF METAL AND WOOD**

**ISSN: 2707-3068**

Issue № 28, 2024.

Collection of scientific works has been published since 1992, frequency – 1 per year.

Founder and publisher – Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (OSACEA).

Certificate of state registration KB № 16772-4644P, 02 December, 2009.

**Collection of scientific works enters the list of scientific editions of Ukraine**, in which thesis results can be published. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 409, 17 May, 2020 (category B).

**Collection of scientific works is included into International scientometric base of the Index Copernicus.**

Results of scientific and experimental-theoretical researches of building structures of metal and wood. It is assigned for scientific workers, specialists of design organizations and manufacturing enterprises of construction domain, postgraduates, masters of educational institutions.

**Editor-in-chief – Kovrov A.V.** – Ph.D., Honored worker of science and technology of Ukraine, rector of the OSACEA, vice-president of the Academy of Energy of Ukraine, head of the territorial branch of the Academy of Civil Engineering of Ukraine;

**Executive editor – Klymenko Y.V.** – Sc., Professor, OSACEA;

### **Editorial Board:**

**Bilyk S.I.** – D.Sc., Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

**Vyrovoy V.N.** – D.Sc., Professor, merits of science and technology worker of Ukraine, OSACEA;

**Gibalenko O.M.** – D.Sc., Professor, Pryazovskyi State Technical University;

**Holodnov O.I.** – D.Sc., Professor, National Aviation University;

**Gomon S.S.** – D.Sc., Professor, National University of Water and Environmental Engineering;

**Makhinko A.V.** – D.Sc., Professor, laureate of the Presidential Prize of Ukraine National Aviation University;

**Pichugin S.F.** – D.Sc., Professor, laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»;

**Sukhanov V.G.** – D.Sc., Professor, OSACEA;

**Yakovenko I.A.** – D.Sc., Professor, National university of life and environmental sciences of Ukraine;

**Aniskin Aleksej** – Ph.D., Assistant Professor University North, Croatia.

### **Technical editorship:**

**Executive technical editor – Gilodo A.Y.** – Ph.D., Head of the Department of Metal, Wood and Plastic Structures OSACEA, Corresponding Member of the Engineering Academy of Ukraine.

**Arsirii A.M.** – Ph.D., Associate Professor, OSACEA;

**Somina Yu.A.** - Ph.D., Associate Professor, OSACEA.

Recommended for publication by the Academic Board of the OSACEA

Protocol № 9, 29 May, 2024.

Certificate KB № 16172-4644P, 02 December, 2009.

Order of Ministry of Education and Science of Ukraine № № 409, 17 May, 2020 (category B).

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОСИЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ПІДЗЕМНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ

**Бакулін Є.А.**, к.т.н., доцент,

bakulin959@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0238-5384

**Усенко М.В.**, к.т.н., ст. викладач

usenkonick201084@gmail.com, ORCID: 0009-0001-1969-1265

**Бакуліна В.М.**, ст. викладачка

bakulina88@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0849-9697

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ*

**Анотація.** Досить часто, у реальних умовах експлуатації, підземні резервуари призначені для зберігання рідких матеріалів, втрачають експлуатаційну придатність за короткий термін експлуатації. Найбільша кількість дефектів пов'язана з втратою місцевої стійкості оболонок резервуару. У роботі проведено аналіз напружено-деформованого стану типового резервуару об'ємом  $75,0 \text{ м}^3$  з циліндричної двошарової оболонки. Визначені причини втрати місцевої стійкості оболонок та надані відповідні рекомендації.

Метою роботи є визначення напружено-деформаційного стану резервуара для виявлення причин деформацій корпусу та надання відповідних рекомендацій щодо його зміцнення. Працює в реальних умовах експлуатації за фактичного навантаження.

**Ключові слова:** підземний резервуар, циліндрична двошарова оболонка, чисельне моделювання, напружено-деформований стан, дефекти, стійкість, експлуатація, посилення.

**Постановка проблеми.** У реальних умовах експлуатації, підземні резервуари призначені для зберігання рідких матеріалів, втрачають експлуатаційну придатність за короткий термін експлуатації. Найбільша кількість дефектів пов'язана з втратою місцевої стійкості оболонок резервуару.

У роботі досліджувався підземний резервуар, призначений для зберігання паливних матеріалів, об'ємом  $75,0 \text{ м}^3$ . Резервуар складається з циліндричної двошарової оболонки, звареної із повздовжніх листів та двох боковин еліптичної форми. Зовнішній діаметр резервуару складає  $3,24 \text{ м}$ ; внутрішній діаметр –  $3,22 \text{ м}$ ; довжина резервуару –  $9,68 \text{ м}$ ; товщина зовнішньої стінки –  $4 \text{ мм}$ ; внутрішньої –  $5 \text{ мм}$ . П'ять кілець жорсткості складаються із кутика  $75 \times 75 \times 5 \text{ мм}$  та смугової сталі товщиною  $5 \text{ мм}$ .

Резервуар встановлений на заглиблений залізобетонний фундамент на якому встановлено два ложемета з кутом обхвату циліндричної оболонки у  $120^\circ$  та фіксацією резервуара сталевими поясами. Низ (днище) резервуара знаходиться на позначці –  $4,74 \text{ м}$ , верх на позначки –  $1,50 \text{ м}$  від поверхні землі. Налив палива здійснюється через люк (горловину) діаметром  $800 \text{ мм}$ , що знаходиться у верхній центральній частині резервуару. З метою запобігання забрудненню оточуючого середовища паливними матеріалами, по периметру фундаменту влаштована дренажна система з накопичувальною ємкістю та геомембранним захистом.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Діюча нормативна база у галузі проектування сталевих резервуарів [1–3], розроблена на ще початку ХХІ століття, потребує удосконалення з урахуванням актуальних розробок провідних наукових шкіл України [4–6] та ін.

Нормативне забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд [7], раціональний захист території забудови [8], реалізовані проєктні рішення тощо – на жаль не завжди забезпечує належну експлуатацію будівельних конструкцій будівель та інженерних споруд [9, 10] і спонукає інженерів та науковців постійно підвищувати власний рівень підготовки із урахуванням сучасних досягнень у галузі [4, 11].

Розроблені критерії надійності [5] та ризиків [6] під час визначення дійсного технічного стану будівельних конструкцій із урахуванням наявних дефектів [12, 13 та ін.], корозійно-механічних руйнувань [14], наявності складних інженерно-геологічних умов забудови [15] (у тому числі із урахуванням дії сейсмічних навантажень [16, 17]), необхідності проведення реконструкції у складних умовах щільної забудови [18], методи влаштування підпірних стінок [8, 19], – далеко не весь перелік викликів, які постають під час проектування, зведення, монтажу та безпечної надійної експлуатації об'єктів будівництва.

Аналіз будівельної нормативної бази розділяє резервуари на дві основні групи: **вертикальні** циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів [1] та сталеві резервуари **горизонтальні** [2]. У роботі [20] наведені принципи конструювання та особливостей розрахунку вертикального циліндричного сталевих резервуару (ємністю 5 тис. м<sup>3</sup>) відкритого типу із урахуванням появи крайового ефекту. Класифікація сталевих резервуарів, відображена авторами у [21] дозволила розробити загальний алгоритм розрахунку сталевих резервуарів для зберігання вуглеводнів, а також представити типологію та основні характеристики існуючих резервуарів. Науковцями [16] систематизовані проблемні питання будівництва та експлуатації нафтових вертикальних сталевих резервуарів у складних інженерно-геологічних умовах. Отже, проведений аналіз наводить лише поодинокі випадки наукових розробок щодо проектування, технологій виготовлення, безпечної експлуатації та посилення сталевих резервуарів заритого типу.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення напружено-деформованого стану резервуару, який працює у реальних умовах експлуатації від фактичного навантаження для виявлення причин деформацій корпусу та надання відповідних рекомендацій щодо його посилення.

Основним навантаженням на підземний резервуар є зовнішній тиск ґрунту. Аналітичний розрахунок резервуару виконується як горизонтальної циліндричної оболонки із еліптичними боковинами на дію зовнішнього тиску у відповідності до СОУ МПП 71.120-217:2009 [22].

**Основний матеріал і результати.** Чисельне моделювання виконувалося у тривимірній постановці за допомогою ПК «ЛІРА САПР» із урахуванням особливостей, наведених у роботі [23]. Загальний вигляд 3D моделі резервуару (рис. 1) та його просторової скінчено-елементної моделі, представлений на рис. 2.

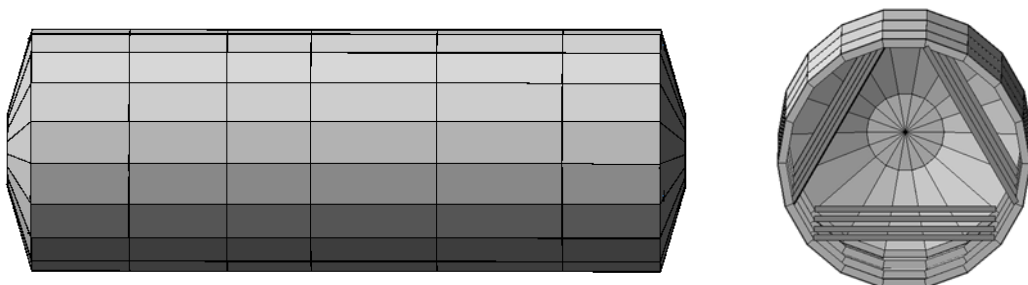


Рис. 1. Тривимірний чисельний 3D модель резервуару

Розглянуто наступний розрахунковий випадок: резервуар без продукту повинен витримувати тиск ґрунту. Аналітичні формули наведені для випадку дії зовнішнього тиску, постійного як за довжиною, так і за колом оболонки. Основні характеристики жорсткості конструктивних елементів резервуару представлені у табл. 1.

Чисельне моделювання підземного резервуару проводилося на сполучення зусиль середнього тиску, який є еквівалентним тиску ґрунту, що визначається із урахуванням [22] за наступними залежностями:

$$P_{cp} = 0,7(P_z + P_g); \quad (1)$$

$$P_g = \gamma_f \cdot \gamma_0 \cdot (H + 0,15D_n); \quad (2)$$

$$P_z = \gamma_f \cdot \gamma_0 \cdot (H + 0,5D_n) \cdot \lg^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (3)$$

де:  $P_{cp}$  – середній тиск ґрунту;  $P_e$  – інтенсивність вертикального тиску ґрунту;  $P_z$  – інтенсивність горизонтального (бічного тиску ґрунту);  $\gamma_f = 1,3$  – коефіцієнт надійності за навантаженням від тиску ґрунту;  $\gamma_0 = 1,73 \text{ тс/м}^3$  – питома вага ґрунту;  $H$  – висота засипки до верху резервуара;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту;  $D_n$  – зовнішній діаметр резервуара;  $k = 2,4$  – коефіцієнт запасу стійкості.

Таблиця 1

### Характеристики жорсткості конструктивних елементів резервуара

Типи жорсткості	Найменування елементів	Параметри (перерізи, жорсткість, розподілене навантаження)
1	пластина Н 5 мм	$E=2.1e+007 \text{ тс/м}^2$ , $V=0.2$ , $H=0.5 \text{ см}$ , $R_0=7.85 \text{ тс/м}^3$
2	кутик 75мм×75мм×5мм	$q=0.00579879$
		$EF=15523.5 \text{ тс}$ , $E_{Iy}=8.3 \text{ тс} \times \text{м}^2$
		$E_{Iz}=8.3 \text{ тс} \times \text{м}^2$ , $G_{Ik}=0.0576 \text{ тс} \times \text{м}^2$
		$Y_1=0.976 \text{ мм}$ , $Y_2=2.65 \text{ мм}$ , $Z_1=0.976 \text{ мм}$ , $Z_2=2.65 \text{ мм}$ , $RU \ Y=0 \text{ рад.} \times 1000$ , $RU \ Z=0 \text{ рад.} \times 1000$
3	пластина Н 4 мм	$E=2.1e+007 \text{ тс/м}^2$ , $V=0.2$ , $H=0.4 \text{ см}$ , $R_0=7.85 \text{ тс/м}^3$

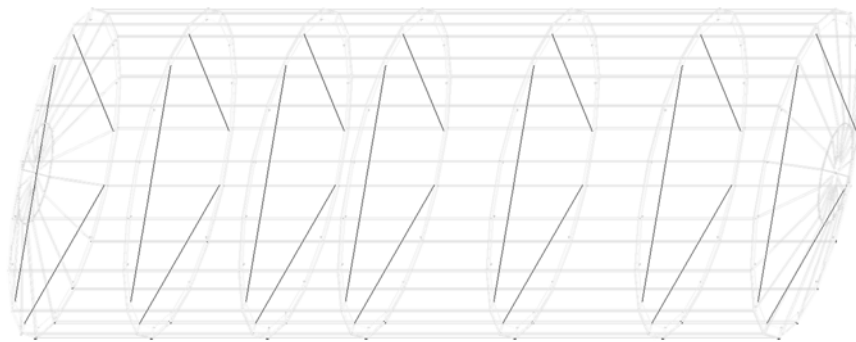


Рис. 2. Загальний вигляд скінчено-елементної моделі резервуара

Епюра природнього тиску ґрунту змінюється від  $2,25 \text{ тс/м}^3$  на позначці  $-1,50 \text{ м}$  від поверхні землі до  $9,72 \text{ тс/м}^3$  на рівні фундаменту резервуара, рис. 3.

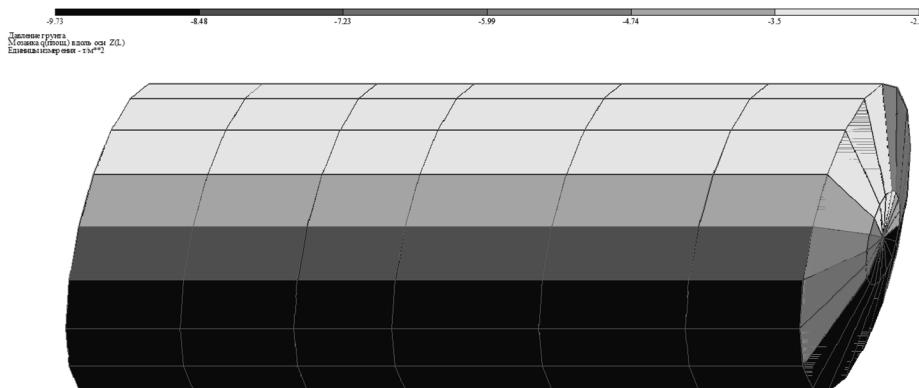


Рис.3. Мозаїка навантажень від тиску ґрунту

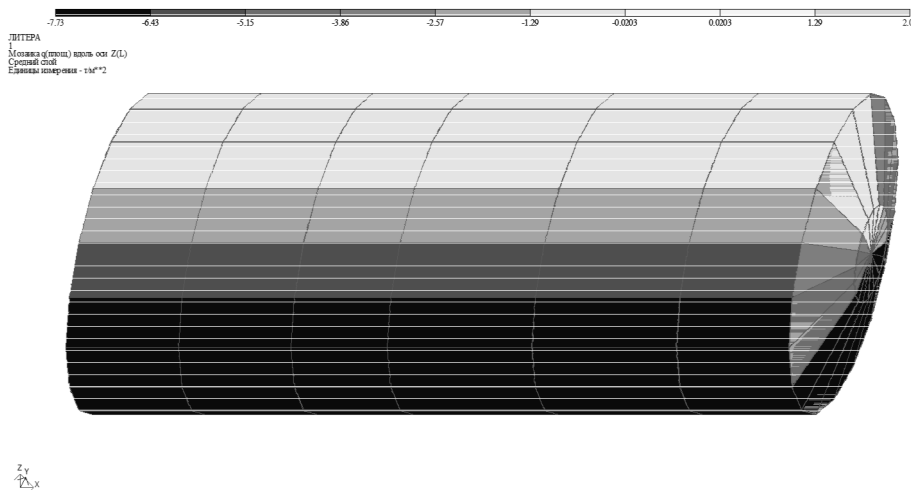


Рис. 4. Мозаїка навантажень від першого основного сполучення завантажень (власна вага, паливо, ґрунт)

Мінімальна допустима товщина стінки резервуара, без врахування кілець жорсткості, розраховуємо за формулами [22]:

$$t_{\min} = \max \left\{ 1,06 \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p \cdot L}{10^{-5} \cdot E \cdot D} \right)^{0,4} \right\} =$$

$$= 1,06 \frac{10^{-2} \cdot 3,24}{2,57} \cdot \left( \frac{9,72 \cdot 9,68}{10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 3,24} \right)^{0,4} = 0,095 \text{ м},$$

де

$$B = \max \left\{ 1; 0,47 \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \right)^{0,067} \cdot \left( \frac{L}{D} \right)^{0,4} \right\} =$$

$$= \max \left\{ 1; 0,47 \left( \frac{9,72}{10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^7} \right)^{0,067} \cdot \left( \frac{9,68}{3,24} \right)^{0,4} \right\} = 2,57,$$

$p$  – значення розрахункового тиску ґрунту (у даному випадку – середній тиск ґрунту становить  $9,72 \text{ тс/м}^2$ );  $L$  – довжина обичайки у м;  $E$  – модуль пружності сталі у  $\text{тс/м}^2$ .

Результати чисельних розрахунків підземного резервуару, призначений для зберігання паливних матеріалів дозволили отримати ізополі переміщень вздовж осі  $OZ$  від першого основного сполучення навантажень (рис. 5), деформовану схему споруди резервуару (рис. 6),

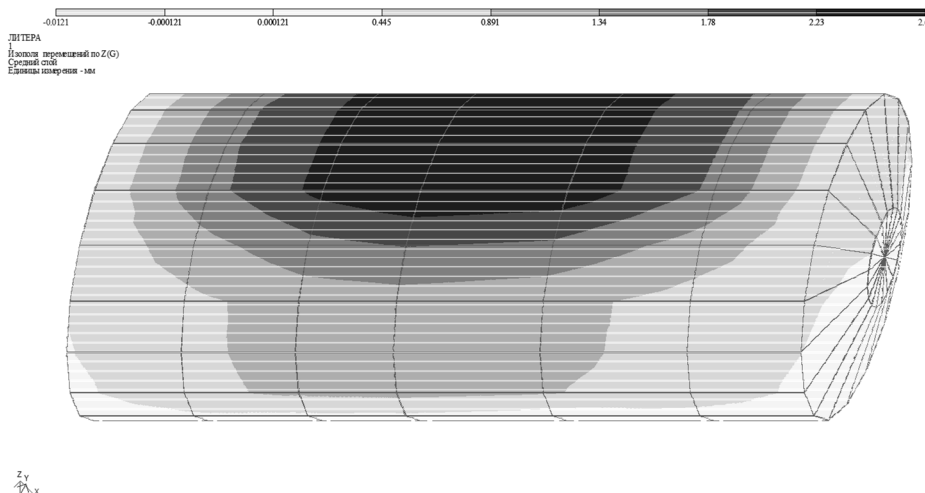


Рис. 5. Ізополі переміщень вздовж осі  $OZ$  від першого основного сполучення навантажень

форму втрати стійкості стінки резервуару із урахуванням коефіцієнту 0,25 (рис. 7), повздовжні зусилля «розтягу-стиску» у стержневих елементах кілець посилення (рис. 8), ізополя головних напружень  $N_1$  (рис. 9) та  $N_3$  (рис. 10) у пластинах обичайки резервуару, ізополя еквівалентних напружень розтягу  $NE$  у пластинах обичайки резервуару (рис. 11).

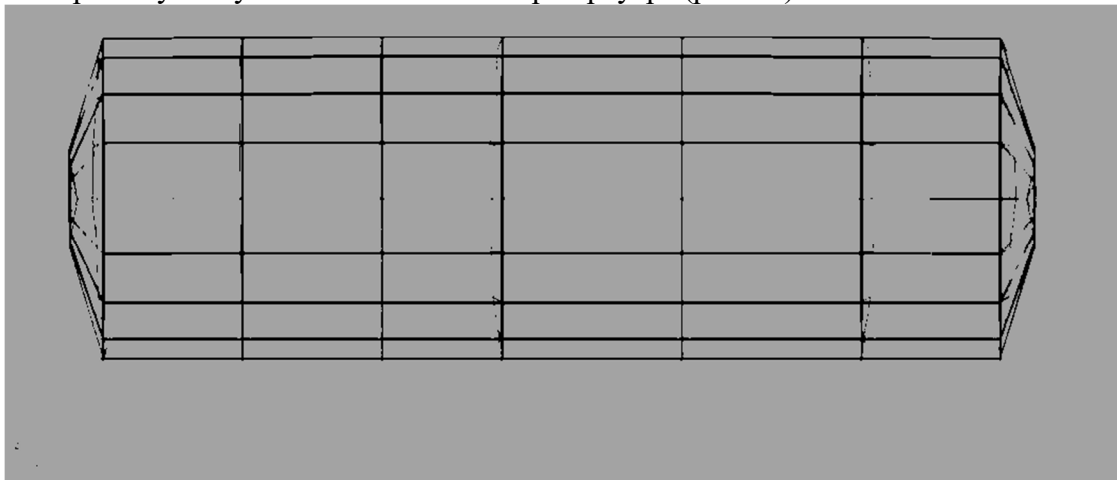


Рис. 6. Деформована схема резервуару

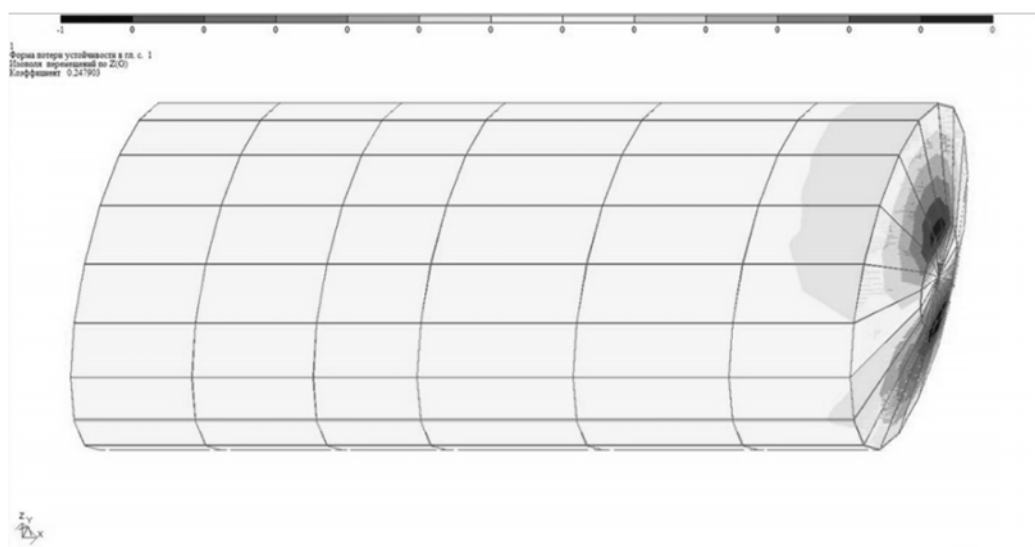


Рис. 7. Форма втрати стійкості стінки резервуару. Коефіцієнт  $0.25 < 1$

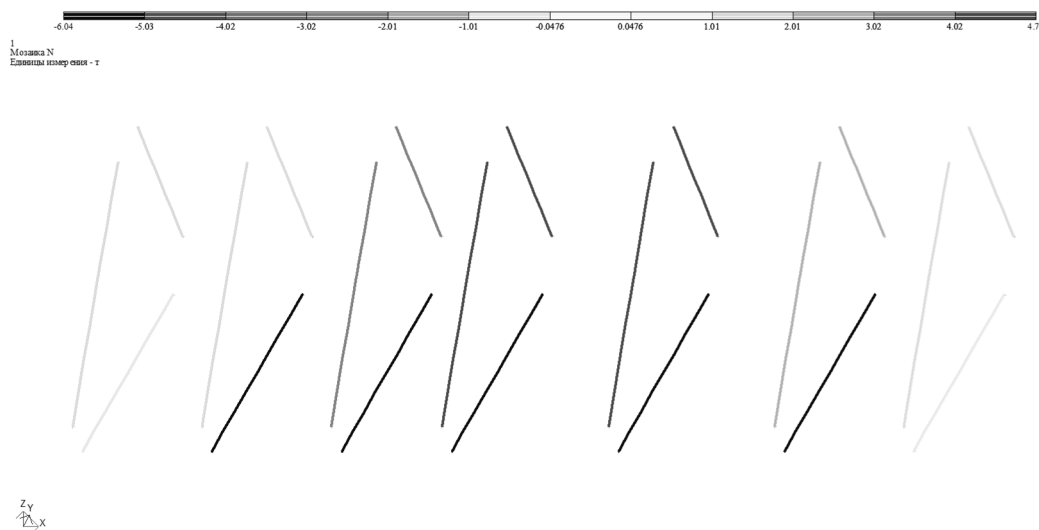


Рис. 8. Повздовжні зусилля в стержневих елементах кілець підсилення

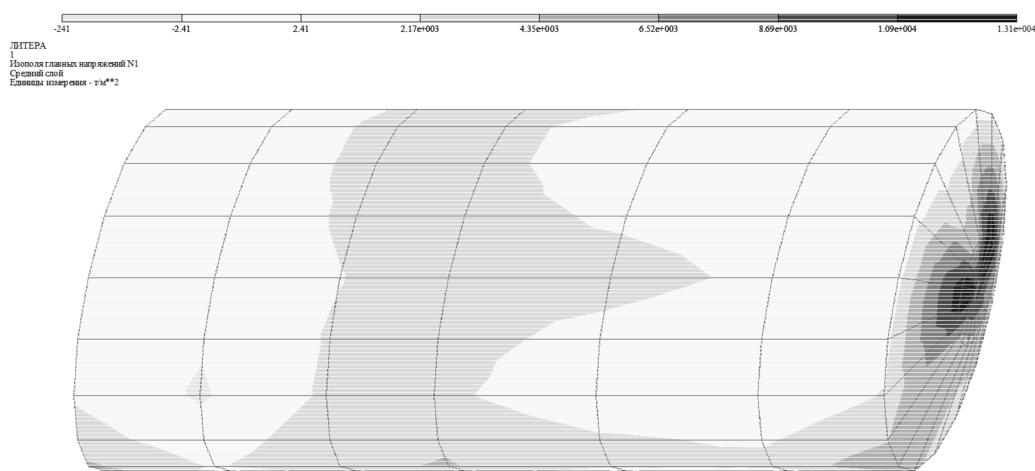


Рис. 9. Ізополя головних напружень  $N_1$  у пластинах обичайки резервуара

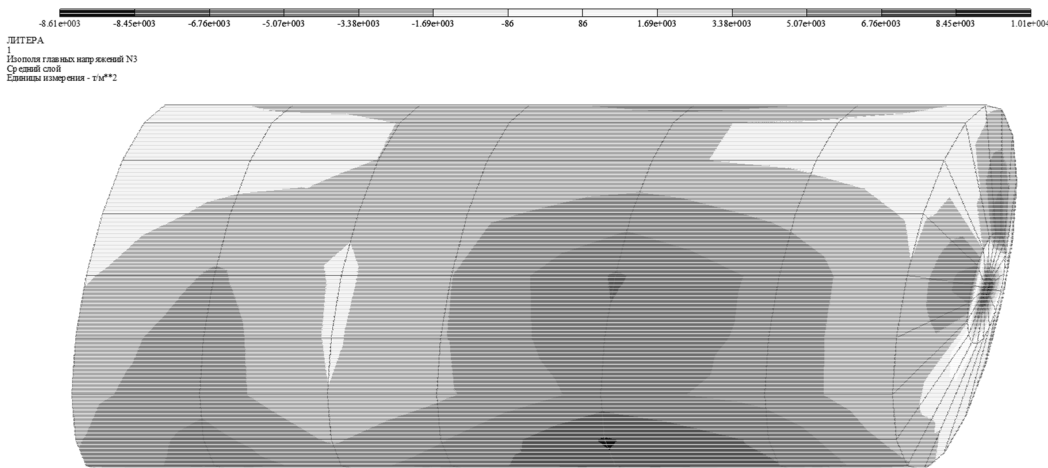


Рис. 10. Ізополя головних напружень  $N_3$  у пластинах обичайки резервуара

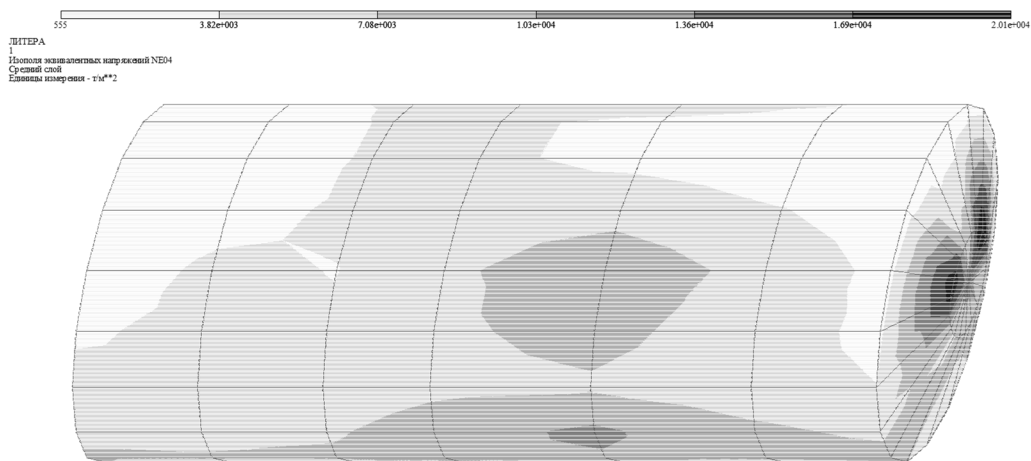


Рис. 11. Ізополя еквівалентних напружень  $NE$  (розтяг) у пластинах обичайки резервуара

Отримані результати перевірки кілець жорсткості, виконаних із кутика за граничними станами першої групи (рис. 12) зроблені у відповідності до діючих будівельних норм [1–3 та ін.] із використанням розрахункового сполучення навантажень у ПК «ЛІРА САПР» [23].

Виконані також розрахунки щодо перевірки кілець жорсткості за граничними станами другої групи (рис. 13) та перевірені їхня спроможність на місцеву стійкість (рис. 14).

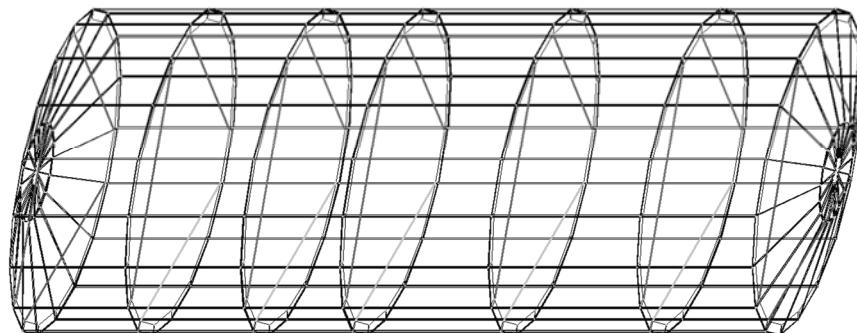
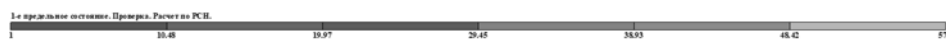


Рис. 12. Результати перевірки кілець жорсткості за граничними станами першої групи

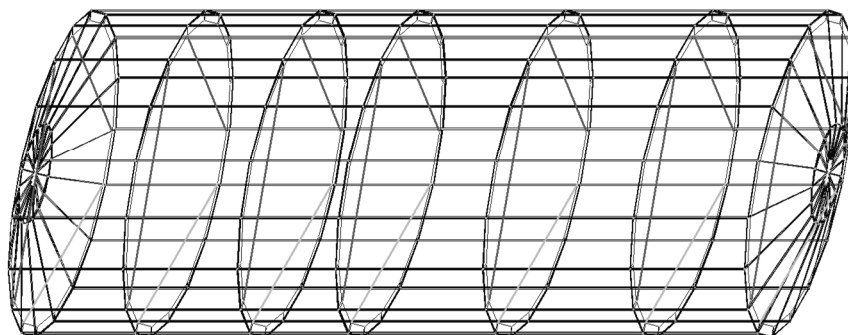
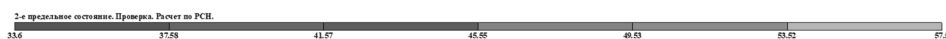


Рис. 13. Результати перевірки кілець жорсткості за граничними станами другої групи

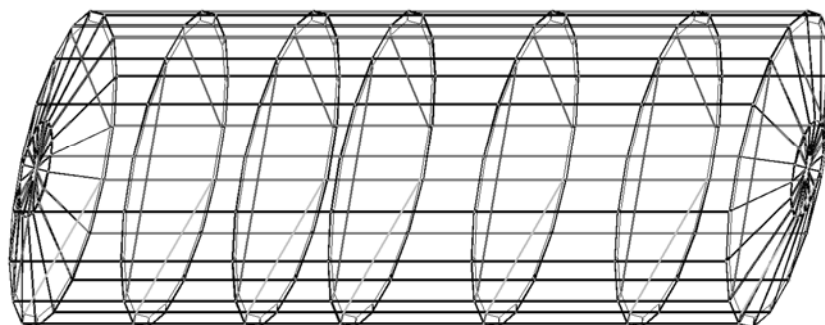


Рис. 14. Результати перевірки кілець жорсткості на місцеву стійкість

Виконаний порівняльний аналіз реальних деформацій двошарової оболонки циліндричного сталевго резервуару із чисельно-аналітичною моделлю у ПК «ЛІРА САПР» [23], який показує схожі місця утворення та розповсюдження дефектів і деформацій оболонки, рис. 15.

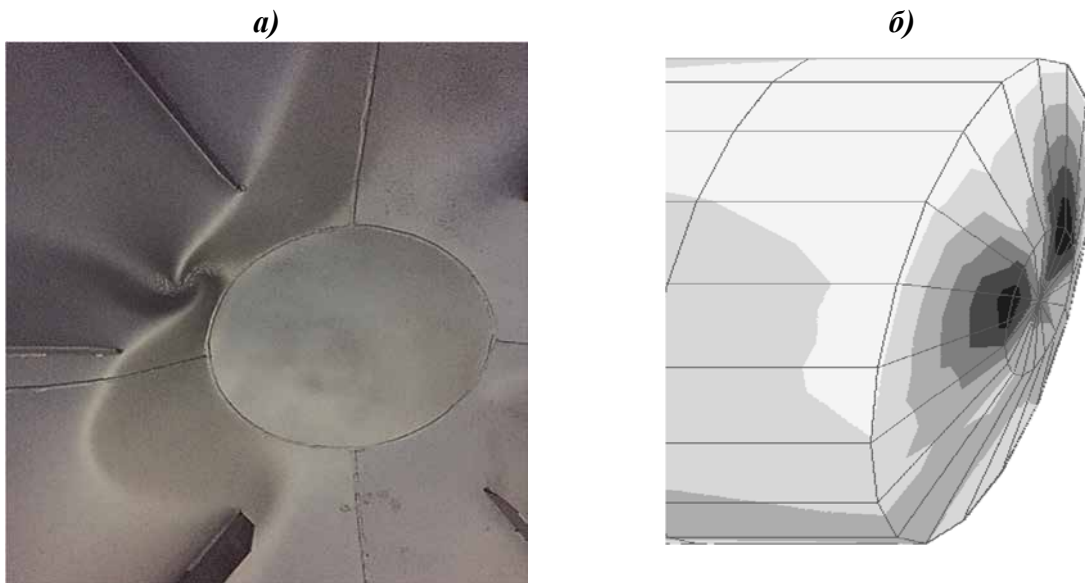


Рис. 15. Порівняльний аналіз реальних деформацій циліндричного резервуару (а) із чисельно-аналітичною моделлю (б)

Це підтверджує можливість застосування чисельних моделей будівель та інженерних споруд у складних, неординарних інженерних задачах і створює додаткові передумови до поліпшення існуючої нормативної бази у галузі будівництва.

**Висновки.** У роботі проведено аналіз напружено-деформованого стану типового резервуару об'ємом  $75,0 \text{ м}^3$  з циліндричної двошарової оболонки. Визначені причини втрати місцевої стійкості оболонок та надані відповідні рекомендації.

Реальні деформації сталевго резервуару об'ємом  $75,0 \text{ м}^3$  (рис. 15, а) та результати розрахунку чисельної моделі резервуару (рис. 15, б) мають схожий характер.

Резервуар може використовуватись із умов збільшення товщини зовнішньої обичайки до  $10,0 \text{ мм}$  та усуненню виявлених дефектів.

### Література

1. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів. Загальні технічні умови : ДСТУ Б В.2.6-183:2011. [Чинний з 2012–10–01]. – К. : Мінгеріон України, 2012. – 99 с. – (Національний стандарт України).
2. Настанова. Резервуари сталеві горизонтальні для нафтопродуктів. Конструкції і розміри: ДСТУ-ЗТ Б В.2.6-103:2010. – [Чинний від 2010-03-03]. – (Національний стандарт України).
3. Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище  $93,3 \text{ кПа}$ : ВБН В.2.2-58.1-94. – [Чинні від 1994-04-01; Зміна №1 затверджена наказом Держнафтогазпрому України від 24. 12. 1999 № 136-а і введена в дію з 01 січня 2000 року]. – (Відомчі будівельні норми України).
4. Гордєєв В.М. Українська науково-технічна школа дослідження та проектування сталевих будівельних конструкцій / В.М. Гордєєв, А.В. Перельмутер, О.В. Шимановський; під заг. ред. д.т.н., проф. О. В. Шимановського. – К. : Сталь, 2022. – 444 с.
5. Пічугін С.Ф. Сучасні проблеми надійності в будівництві: навч. посібн. (теоретична частина курсу) / С.Ф. Пічугін. – Полтава: НУ ПП, 2023. – 254 с.

6. Семко О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій : монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.

7. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14:2018. – [Чинний від 2019-01-01]. – К.: УкрНДПроектстальконструкція, 2018. – 60 с. – (Державні будівельні норми України).

8. Bakulin Y.A. Engineering protection and prepatation of territories : study guide; under the editorship of cand tech. science Ye.A. Bakulin / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. – 205 p.

9. Бакулін Є.А. Визначення параметрів напружено-деформованого стану споруди башти силосу та її конструктивних елементів за наслідками руйнування / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, В.М. Бакуліна // Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention : collective monograph. – Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. – Р. 1–43.

10. Бакулін Є.А. Наслідки руйнування та надання комплексної оцінки можливості подальшої експлуатації будівлі корівника у смт. Немішаєво / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко // Збірник тез доповідей ХХІ Міжнародної онлайн-конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування конструювання та дизайн» (25–26 березня 2021 р.), – К. : НУБіП України, 2021. – С. 67–69.

11. Гілодо О. Ю. Металеві конструкції у питаннях та відповідях : навч. посіб. / О.Ю. Гілодо. – Одеса : Астропринт, 2019. – 120 с.

12. Бакулін Є.А. Критерії надійності та ризиків при оцінюванні технічного стану експлуатованих будівель / Є.А. Бакулін // Будівництво України. – 2013. – №1. – С. 2–4.

13. Колесніченко С.В. Визначення залишкового ресурсу будівельних сталевих конструкцій за показниками індексу надійності / С.В. Колесніченко, Ю.В. Селютін, Д.Ф. Оболонков, О.С. Карабанов // Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини : зб. наук. праць. – 2021. – Вип. № 25. – С. 48–55.

14. Макаренко В. Підвищення спротиву корозійно-механічному руйнуванню зварних оболонкових ємностей водонапірних башт / [Макаренко В., Білик С., Хомутецька Т. та ін.] // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2022. – Вип. 39. – С. 33–43.

15. Гольшев А.Б. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях: монография / А.Б. Гольшев, Вл. И. Колчунов, И.А. Яковенко. – К. : «Талком», 2015. – 371 с.

16. Зоценко М.Л. Особливості проектування нафтових резервуарів у складних інженерно-геологічних умовах при сейсмічних впливах / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Вінніков, М.О. Харченко, І.І. Ларцева // Academic journal. Series Industrial Machine Building. Civil Engineering. – 2017. – Т.1(48). – С. 175–182.

17. Emelyanov, S., Nemchinov, Y., Kolchunov, V., & Yakovenko, I. (2016). Details of large-panel buildings seismic analysis. Enfoque UTE, 7(2), pp. 120 – 134.

18. Kaliukh I., Kosheleva N., Yakovenko I., Dzhalalov M., Kotlyar M. and Bashkirov G. Monitoring and mathematical modelling of the pit construction impact on the subway tunnels during reconstruction of the Postal Square // 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2021, Volume 2021, p.1 – 5.

19. Бакулін Є.А. Методи розрахунку підпірних стін / Є.А. Бакулін, В.М. Бакуліна, Н.О. Костира // Науковий Вісник НУБіП. Серія Техніка та Енергетика. – 2017. – Вип. 262. С. 72 – 87.

20. Бойко А.В. Конструирование и расчет цилиндрических резервуаров емкостью 5 тыс. м<sup>3</sup> / А.В. Бойко. // Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини : зб. наук. праць. – 2015. – Вип. № 19. – С. 3–9.

21. Чичулін В.П. Проектування сталевих резервуарів для зберігання вуглеводнів / В.П. Чичулін, К.В. Чичуліна // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. –2019. – Т. 30 (69). – № 1, ч. 2. – С. 133–137.

22. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови : СОУ МПП 71.120-217:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К. : Мінпромполітики України, 2009. – 193 с. – (Стандарт Міністерства промислової політики України).

23. Барабаш М.С. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій: навч. посіб. / М.С. Барабаш, С.В. Козлов, Д.В. Медведенко. – К. : НАУ, 2012. – 572 с.

## References

- [1] *Rezervuary vertykalni tsylindrychni stalevi dlia nafty ta naftoproduktiv. Zahalni tekhnichni umovy*, DSTU B V.2.6-183:2011, Natsionalnyi standart Ukrainy, 2012.
- [2] *Nastanova. Rezervuary stalevi horyzontalni dlia naftoproduktiv. Konstruktsii i rozmyry*, DSTU-3T B V.2.6-103:2010, Natsionalnyi standart Ukrainy, 2010.
- [3] *Proektuvannia skladiv nafty i naftoproduktiv z tyskom nasychenykh pariv ne vyshche 93,3 kPa*, VBN V.2.2-58.1-94, Vidomchi budivelni normy Ukrainy, 1994.
- [4] V.M. Hordeiev, A.V. Perelmuter, O.V. Shymanovskyi, *Ukrainska naukovo-tekhnichna shkola doslidzhennia ta proektuvannia stalevykh budivelnykh konstruktsii*, prof. O.V. Shymanovskyi, Ed. Kyiv: Stal, 2022.
- [5] S.F. Pichuhin, *Suchasni problemy nadiinosti v budivnytstvi (teoretychna chastyna kursu)*. Poltava: NU PP, 2023.
- [6] O.V. Semko, O.P. Voskobiinyk, *Keruvannia ryzykamy pry proektuvanni ta ekspluatatsii stalezalizobetonnykh konstruktsii*. Poltava: PoltNTU, 2012.
- [7] *Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel, sporud, budivelnykh konstruktsii ta osnov*, DBN V.1.2-14:2018, Derzhavni budivelni normy Ukrainy, 2018.
- [8] Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina, *Engineering protection and prepatation of territories*, Ye.A. Bakulin, Ed. Kyiv : NULES of Ukraine, 2022.
- [9] Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina, “*Vyznachennia parametriv napruzhenodeformovanoho stanu sporudy bashty sylosu ta yii konstruktyvnykh elementiv za naslidkamy ruinuvannia*”, in Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention. Riga: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. pp. 1–43. Available at:
- [10] Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, “*Naslidky ruinuvannia ta nadannia kompleksnoi otsinky mozhyvosti podalshoi ekspluatatsii budivli korivnyka u smt. Nemishaievo*” in *Proc. XXI In. Conf. Problems and Prospects of technical and bioenergy systems development for nature Environment: Construction and Design*, Kyiv, 2021, pp. 67–69.
- [11] O.Yu. Hilodo, *Metalevi konstruktsii u pytanniakh ta vidpovidiakh*. Odesa: Astroprint, 2019.
- [12] Ye.A. Bakulin, “*Kryterii nadiinosti ta ryzykiv pry otsiniuvanni tekhnichnoho stanu ekspluatovanykh budivel*”, *Construction of Ukraine*, no 1, pp. 2–4, 2013.
- [13] S.V. Kolesnichenko, Yu.V. Seliutin, D.F. Obolonkov, O.S. Karabanov, “*Vyznachennia zalyshkovoho resursu budivelnykh stalevykh konstruktsii za pokaznykamy indeksu nadiinosti*”, *Modern structures of metal and wood*, iss. 25, pp. 48–55, 2021. Available at:
- [14] V. Makarenko, S. Bilyk, T. Khomutetska & oth., “*Pidvyshchennia sprotyvu koroziiomekhanichnomu ruinuvanni zvarnykh obolonkovykh yemnostei vodonapirnykh basht*”, *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, vol. 39, pp. 33–43, 2022.
- [15] A.B. Golyshev, Vl.I. Kolchunov, I.A. Yakovenko, *Soprotivleniye zhelezobetonnykh konstruktsiy, zdaniy i sooruzheniy, vozvodimykh v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh*. Kyiv: Talkom, 2015.
- [16] M.L. Zotsenko, Yu.L. Vinnikov, M.O. Kharchenko, I.I. Lartseva, “*Osoblyvosti proektuvannia naftovykh rezervuariv u skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh pry seismichnykh vplyvakh*”, *Academic journal. Series Industrial Machine Building. Civil Engineering*, vol. 1, iss. 48, pp.175–182, 2017.

- [17] S. Emelyanov, Y. Nemchinov, V. Kolchunov, I. Yakovenko, “Details of large-panel buildings seismic analysis”, *Enfoque UTE*, vol. 7(2), pp. 120 – 134, 2016.
- [18] I. Kaliukh, N. Kosheleva, I. Yakovenko, M. Dzhalalov, M. Kotlyar & G. Bashkirov, “Monitoring and mathematical modelling of the pit construction impact on the subway tunnels during reconstruction of the Postal Square”, in *Proc. 15th Int. Conf. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, 2021, pp. 1–5.
- [19] Ye.A. Bakulin, V.M. Bakulina, N.O. Kostyra “Metody rozrakhunku pidpirnykh stin”, *Scientific Bulletin of NULeS of Ukraine. Machinery & Energetics Series*, vol. 262, pp. 72 – 87, 2017.
- [20] A.V. Boyko, “Konstruirovaniye i raschet tsilindricheskikh rezervuarov emkostyu 5 tys. m<sup>3</sup>”, *Modern structures of metal and wood*, iss. 19, pp. 3–9, 2015.
- [21] V.P. Chychulin, K.V. Chychulina, “Proektuvannia stalevykh rezervuariv dlia zberihannia vuhlevodniv”, *Academic notes of the Tavri National University named by V.I. Vernadskiyi. Series: Technical Sciences*, vol. 30, iss. 69, no 1, p. 2, pp. 133–137, 2019.
- [22] *Posudyny ta aparaty stalevi zvarni. Zahalni tekhnichni umovy*, SOU MPP 71.120-217:2009, Standart Ministerstva promyslovoi polityky Ukrainy, 2009.
- [23] M.S. Barabash, S.V. Kozlov, D.V. Medvedenko, *Kompiuterni tekhnolohii proektuvannia metalevykh konstruksii*. Kyiv: NAU, 2012.

## NUMERICAL MODELLING OF STEEL STRENGTHENING UNDERGROUND CYLINDRICAL TANK

**Bakulin Ye.A.**, Ph.D., Associate Professor,  
bakulin959@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0238-5384

**Usenko M.V.**, Ph.D., Senior Teacher  
usenkonick201084@gmail.com, ORCID: 0009-0001-1969-1265

**Bakulina V.M.**, Senior Teacher  
bakulina88@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0849-9697

**Abstract.** Quite often, underground tanks designed to store liquid materials lose their operational suitability in a short period of operation in real conditions. The largest number of defects is associated with the loss of tank shell local resistance. It was carried out the stress-strain state analysis for a typical tank with a volume of 75.0 m<sup>3</sup> made of a cylindrical two-layer shell. There are determined the reasons for the local stability loss of the shells and the corresponding recommendations are given.

The purpose of the paper is to determine the tank’s stress-deformation state to identify the causes of deformations of the casing and to provide appropriate recommendations for its strengthening. It works in real operating conditions by the actual loading.

The main load on the underground tank is the external pressure of the soil. The calculation of the tank is performed as for a horizontal cylindrical shell with elliptical sidewalls under the action of external pressure.

**The main results.** It is considered following calculation case: the tank without product must withstand the soil pressure. Analytical formulas are given for the case of external pressure, which is constant both along the length and around the circumference of the shell.

The natural pressure curve of the soil varies from 2.25 tf/m<sup>3</sup> at the mark -1.50 m from the surface of the earth to 9.72 tf/m<sup>3</sup> at the level of the foundation of the tank. The numerical calculations results of the underground tank made it possible to obtain: the isofields of movements along the vertical axis: the deformed scheme of the structure; the form of the loss of stability of the tank wall; the longitudinal forces of "tension-compression" in the core elements of the strengthened rings; the isofields of the main and equivalent tensile stresses in the plates of the tank lining.

The obtained results of the verification of the rigidity rings according to the ultimate and serviceability limit states in accordance with the current building regulations using the calculated combination of loads in PC "LIRA FEM". It was verified their capacity for local stability.

It was performed the comparative real deformations analysis for two-layer shell of cylindrical steel tank with a numerical analytical model in PC "LIRA FEM". It shows similar places of formation and distribution of defects and deformations for shell.

**Conclusions.** The paper analyzes the typical tank stress-strain state with a volume of  $75.0 \text{ m}^3$ , which is made of cylindrical two-layer shell. There are determined the reasons for local stability loss for the shells. The corresponding recommendations are given.

The real deformations of steel tank with a volume of  $75.0 \text{ m}^3$  and the calculation results of the tank's numerical model have a similar character.

The tank can be used under the conditions of increasing the thickness of the outer layer to  $10.0 \text{ mm}$  and removing the detected defects.

**Key words:** underground tank, cylindrical two-layer shell, numerical modelling, stress-strain state, defects, stability, operation, strengthening.

## ЗМІСТ

<i>Дзюба С.В., Коробко О.О., Беспалова А.В.,</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОСИЛЕННЯ КОРПУСІВ МЕТАЛЕВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ФІБРОПЛАСТИКОВИМ АРМУВАННЯМ НА ОСНОВІ ВОЛОКОН РІЗНОГО ТИПУ	5
<i>Ковтун В.П., Арсірій О.І., Гілодо О.Ю., Арсірій А.М.</i> ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄМНО - ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ МОБІЛЬНОГО КУПОЛЬНОГО БУДИНКУ З ДЕРЕВИНИ	16
<i>Масляненко Є.В., Коршак О. М.</i> ПОРІВНЯННЯ ЗАГАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ТА ВОГНЕЗАХИСТУ 3D-ОБ'ЄМНИХ МОДУЛІВ ЗІ СТАЛЕВИХ ПРОКАТНИХ ПРОФІЛІВ З ГНУТИМИ ЗВАРЕНИМИ ПРЯМОКУТНИМИ ПРОФІЛЯМИ	24
<i>Сьоміна Ю.А., Горобець О.С.</i> МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ ВИРОБІВ З ПЛАСТИКУ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D ДРУКУ, НА МІЦНІСТЬ ПРИ ЗГІНИ	30
<i>Талавіра Г.М., Візір А.С., Талавіра О.Г.</i> АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТА МЕТАЛЕВИХ МОСТІВ	35
<i>Вожнар А., Чернєва О., Сленчка Л.</i> ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ ПРОМИСЛОВОГО ЦЕХУ НА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ СИТУАЦІЇ - ЗІТКНЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З КОЛОНОЮ КАРКАСУ	46
<i>Вожнар А., Шевчик А.</i> ПРОЕКТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЦЕХІВ ЗІ СТАЛЕВИМ КАРКАСОМ НА ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ СИТУАЦІЇ	55
<i>Бакулін Є.А., Усенко М.В., Бакуліна В.М.</i> ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОСИЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ПІДЗЕМНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ	63
<i>Білик С.І., Білик А.С.,</i> ПОРІВНЯННЯ МЕТОДИК ПРОНИКНЕННЯ ДІЇ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ ПРОТИВНИКА В ЗАЛІЗОБЕТОНІ КОНСТРУКЦІЇ СПОРУД ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	75
<i>Вознюк Л.І., Баб'як В.І., Мазур Д.В., Лейбич С.Р., Кійко С.Ю., Іваськів Я.Я., Мицик О.С.</i> ПРОЄКТ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЦЕНТРУ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ТА	85

ВETERANІВ ВІЙНИ В М. ЖИТОМИР, ЯКИЙ ЗАЙНЯВ ПЕРШЕ МІСЦЕ В  
АРХІТЕКТУРНОМУ КОНКУРСІ «STEEL FREEDOM»

*Гібаленко О.М., Гібаленко В.А., Терещенко С.А., Ткаченко Є.Ю.*  
ТЕХНОЛОГІЧНІ РИЗИКИ НА ЕТАПІ ДЕМОНТАЖУ КРАНОВИХ  
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

95

*Голоднов О.І., Ткачук І.А.*  
РЕКОНСТРУКЦІЯ ВИРОБНИЧОЇ БУДІВЛІ ЗІ СТАЛЕВИМ КАРКАСОМ

105

*Гомон С.С., Гомон Св.Св., Пугач Ю.В.,*  
ЛОКАЛЬНЕ ТА ГЛОБАЛЬНЕ ПІДСИЛЕННЯ БАЛОК ІЗ ДЕРЕВИНИ ПІД ЧАС  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ

114

*Горюн О.О., Коц І.В.*  
СПОСІБ ІМПУЛЬСНОГО ІМПРЕГНУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ  
КОНСТРУКЦІЙ

121

*Дмитренко Є.А., Андрієвська М.А., Яковенко І.А.*  
ВРАХУВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ ДИСКІВ ПОКРИТТІВ ЗІ ЗБІРНОГО  
ЗАЛІЗОБЕТОНУ У СКЛАДІ ПРОЛІТНИХ ЗГІНАЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ  
КОНСТРУКЦІЙ

128

*Клочко Л.І.,*  
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЛІХТАРЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ  
БУДІВЛІ

140

*Махінько А.В., Махінько Н.О., Склярєнко С.О.*  
СТВОРЕННЯ НАДІЙНИХ ТА ЖИВУЧИХ ЗЕРНОСХОВИЩ В УМОВАХ ВІЙНИ  
ТА СВІТОВОЇ ПРОДОВОЛЬЧОЇ КРИЗИ

149

*Місюра Є.А.*  
ЕФЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ  
БУДІВЛІ

162

*Пічугін С.Ф., Оксененко К.О.,*  
ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ МЕТАЛЕВИХ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВИХ  
СИЛОСІВ

172

*Радчук О.Д., Махінько А.В.*  
АВАРІЇ НА ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУДАХ ХВОСТОСХОВИЩ: АНАЛІЗ  
СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

183

*Шехоркіна С.Є., Мерилова І.О., Нікіфорова Т.Д., Косячевська С.М., Ковтун К.А.,  
Голубєва-Судакіна В.А.*  
БІОПОЗИТИВНА БУДІВЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

192

## CONTENTS

<b><i>Dziuba S.V., Korobko, O.O., Bepalova, A.V.</i></b> EFFECTIVENESS OF STRENGTHENING CASES OF METALLIC CYLINDRICAL TANKS BY FRP REINFORCEMENT BASED ON FIBERS OF DIFFERENT TYPES	5
<b><i>Kovtun V., Arsiriy O., Gilodo O., Arsiriy A.</i></b> SPECIAL FEATURES OF THE SPACE PLANNING SOLUTION OF A MOBILE DOME HOUSE MADE OF WOOD	16
<b><i>Maslyanenko Y.V., Korshak O. M.</i></b> COMPARISON OF GENERAL TECHNICAL PARAMETERS, WORKABILITY AND FIRE PROTECTION OF ROLLED PROFILES VS. RHS STEEL FRAMES OF 3D-VOLUMETRIC MODULES	24
<b><i>Somina Yu.A., Gorobets O.S.</i></b> METHOD OF TESTING PLASTIC PRODUCTS MANUFACTURED USING 3D PRINTING FOR STRENGTH IN BENDING	30
<b><i>Talavira G.M., Vizir A.S., Talavira O.G.</i></b> ANALYTICAL REVIEW OF THE METHODS OF INSPECTION AND PLANNING THE REPAIR OF REINFORCED CONCRETE AND METAL BRIDGES	35
<b><i>Wojnar A., Chernieva O., Śleczka L.</i></b> DESIGN OF INDUSTRIAL HALLS WITH A STEEL STRUCTURE DUE TO AN ACCIDENTAL DESIGN SITUATION - THE IMPACT OF A VEHICLE ON A FRAME COLUMN	46
<b><i>Wojnar A., Szewczyk A.</i></b> DESIGN OF INDUSTRIAL HALLS WITH A STEEL STRUCTURE DUE TO A FIRE DESIGN SITUATION	55
<b><i>Bakulin Ye.A., Usenko M.V., Bakulina V.M.</i></b> NUMERICAL MODELLING OF STEEL STRENGTHENING UNDERGROUND CYLINDRICAL TANK	63
<b><i>Bilyk S.I. Bilyk A.S.</i></b> COMPARISON OF THE METHODS OF PENETRATION OF THE ENEMY'S AIR ATTACK MEANS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES PROTECTION	75
<b><i>Mazur D.V., Leibych S.R., Kiiko S., Ivaskiv Y., Mytsyk O.S.</i></b> PROJECT OF A REHABILITATION CENTRE FOR MILITARY PERSONNEL AND WAR VETERANS IN ZHYTOMYR, WHICH WON FIRST PLACE IN THE «STEEL FREEDOM» ARCHITECTURAL COMPETITION	85

<b>Gibalenko O.M., Gibalenko V.A., Tereschenko S.A., Tkachenko E.Y.</b> TECHNOLOGICAL RISKS IN THE DISMANTLING OF CRANE STEEL STRUCTURES	95
<b>HolodnovO., Tkachuk I.</b> RECONSTRUCTION OF FACTORY BUILDING WITH A STEEL FRAME	105
<b>Gomon S., Homon S., Puhash Y.,</b> LOCAL AND GLOBAL STRENGTHENING OF WOOD BEAMS DURING OPERATION	114
<b>Horiun O.O., Kots I.V.,</b> METHOD OF IMPULSE IMPREGNATION OF TIMBER FOR BUILDING STRUCTURES	121
<b>Dmytrenko Ye.A., Andrievska M.A., Yakovenko I.A.,</b> TAKING INTO ACCOUNT THE JOINT OPERATION OF PRECAST CONCRETE COATING DISKS AS PART OF SPAN BENDING METAL STRUCTURES	128
<b>Klochko L.I.,</b> DEVELOPMENT OF LANTERN DESIGN FOR THE CLIMATE CONTROL SYSTEM OF THE BUILDING	140
<b>Makhinko A.V., Makhinko N.O., Skliarenko S.O., Birko O.O.</b> CREATING RELIABLE AND RESILIENT GRAIN STORAGE FACILITIES IN THE FACE OF WAR AND THE GLOBAL FOOD CRISIS	149
<b>Misiura Ye.A.</b> EFFICIENT STEEL FRAME STRUCTURE OF MULTI-STOREY BUILDING	162
<b>Pichugin S., Oksenenko K.</b> THE RELIABILITY ANALYSIS OF METAL SPIRAL-FOLD SILOS	172
<b>Radchuk O.D., Makhinko A.V.</b> TAILINGS DAM FAILURES: A STATISTICAL DATA ANALYSIS	183
<b>Shekhorkina S.Y., Merylova I.O., Nikiforova T.D., Kosiachevska S.M., Kovtun K.A., Holubieva-Sudakina V.A.,</b> INVESTIGATION OF THE CREEP EFFECT ON THE STRESS-STRAIN STATE ON TIMBER-REINFORCED CONCRETE MULTISTOREY BUILDINGS	192