

УДК 624.046:621.642:004.942

## ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

**Є.А. Єгоров<sup>1</sup>,**

д-р техн. наук, професор

**О.Є. Кучеренко<sup>2</sup>,**

канд. техн. наук, старший науковий співробітник

**Ю.В. Івченко<sup>1</sup>,**

канд. техн. наук, доцент

<sup>1</sup>ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро<sup>2</sup>Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, Дніпро

DOI: 10.32347/2410-2547.2026.116.366-372

Розглядається проблема оцінки живучості тонкостінних оболонкових конструкцій в умовах вибухового впливу. Проводиться методологічний аналіз питання, визначається необхідність модифікації підходу до оцінки живучості конструкцій. Розглядається задача класифікації вибухового навантаження з огляду на його тривалість. Пропонується графічний критерій до визначення імпульсних та квазістатичних впливів. Як приклад, наводяться скінченно-елементні моделі пошкоджень стінки оболонкової конструкції від дії вибухової хвилі. Пропонується міцнісний критерій для оцінки живучості конструкції.

**Ключові слова:** живучість, тротильовий еквівалент, вибух, імпульсне навантаження, надлишковий тиск, моделювання, оболонка.

**Вступ.** Оболонкові конструкції у вигляді тонкостінних сталевих резервуарів місткістю 1000÷50000 м<sup>3</sup> широко використовуються в промисловості для зберігання різноманітних речовин, зокрема нафти та нафтопродуктів. Здебільшого вони є частиною критичної інфраструктури і вважаються стратегічними об'єктами. Це робить їх привабливими цілями для атак різного рівня. З погляду на це, оцінка та забезпечення їхньої живучості при дії вибухових навантажень є питанням на часним.

Термін живучості в [1] визначається як властивість конструкції протистояти руйнівним ударам, пожежам та вибухам без виникнення пошкоджень, непропорційних до причини, що їх викликала. Найімовірніше, під пропорційністю тут мається на увазі доцільність економічна. Якщо розглядати свідомі дії, спрямовані на пошкодження об'єктів (наприклад, у разі бомбардування), то у більшості випадків вартість “причин” (дії) буде набагато нижчою за заподіяні ними збитки і “пропорційність” в таких випадках може бути досягнута тільки шляхом затратного проєктування нових конструкцій та зведенням захисних споруд для наявних. Отже, виникає методологічна проблема забезпечення живучості багатьох важливих об'єктів, бо умова пропорційності однозначно порушується. На цей факт звертається увага і в [2] при оцінці стійкості захисних споруд для ангарів під літаки.

В [3] рекомендується виконувати розрахунки конструкцій шляхом зведення вибухових навантажень до квазістатичного (еквівалентного) рівномірно розподіленого тиску від 100 кПа до 500 кПа в залежності від класу відповідальності будівлі чи споруди. Для відстані від об'єкту до центру наземного вибуху в межах 25 м такі значення тиску відповідають масі тротильового еквіваленту від 400 до 3500 кг. Якщо розглядати ці рекомендації стосовно тонкостінних сталевих резервуарів, для яких співвідношення радіуса  $r$  до товщини стінки  $h$  знаходиться в межах 500-2500, то, по-перше, нормативно прийняті значення тиску є занадто великими для цих конструкцій. Для порівняння зауважимо, що тримальна здатність циліндричної стінки сталевих резервуарів при дії зовнішнього тиску за умовою міцності складає 150÷200 кПа, а критичні значення зовнішнього тиску за умовою стійкості знаходяться в межах 0.80-2.50 кПа. По-друге, відомі джерела з досліджень вибухових навантажень [4-8] і досвід експлуатації свідчать про те,

що зведення вибухового навантаження до квазістатичного рівномірного тиску принципово спотворює реальну картину наслідків таких впливів, що для просторових тонкостінних оболонкових конструкцій є значущим фактором.

Отже, можна стверджувати, що живучість сталевих резервуарів зазначеного вище типу доцільно розглядати в іншій інтерпретації. Необхідно виходити з того, що повноцінну живучість цих конструкцій відповідно до [1] забезпечити практично неможливо. Але важливо мати можливість оцінювати спроможність резервуарів (проте, це відноситься до будь-яких споруд) чинити опір зазначеним вище факторам, виявляти на цій основі найбільш ефективні конструктивні рішення, а також розробляти захисні засоби, дотримуючись при цьому економічної доцільності. Саме така концепція лежить в основі цієї статті.

**1. Постановка задачі.** В статті досліджується питання живучості тонкостінних оболонок вертикальних сталевих циліндричних резервуарів в умовах дії імпульсних навантажень від наземного вибуху. Вважається, що маса тротилового еквіваленту заряду вибухового пристрою набуває таких значень: 25, 50, 100, 500 та 1000 кг, що відповідає можливостям сучасних безпілотних літальних апаратів та крилатих ракет. Обговорюється узагальнений критерій живучості оболонкових конструкцій.

**2. Особливості вибухових навантажень.** Принципові особливості імпульсних навантажень неодноразово розглядалися в технічних джерелах [9-13] і зводяться до наступного:

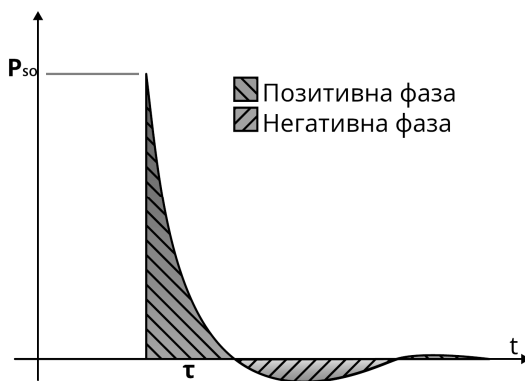


Рис. 1. Зміна тиску від вибухової хвилі у часі з чергуванням фаз

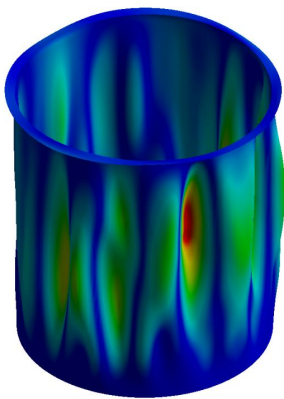


Рис. 2. Перехідні процеси в циліндричній оболонці стінки резервуара місткістю 1000 м<sup>3</sup> після дії імпульсного навантаження

1. Тривалість дії імпульсних навантажень мала, активна фаза таких навантажень триває мілісекунди. Такі впливи можуть спричинити виникнення помітних інерційних сил, які треба враховувати в розрахунках на міцність і стійкість конструкцій.

2. Імпульсне навантаження від вибухової хвилі має позитивну і негативну фази (стиснення та розрідження) (рис. 1). Впродовж останньої на конструкції діятимуть сили всмоктування.

3. Впродовж цих фаз в поведінці конструкцій можуть простежуватися перехідні - коливальні - процеси, які певним чином можуть впливати на ступінь пошкодження конструкції (рис. 2).

З наведеного випливає, що наслідки імпульсних впливів залежать не тільки від характеру навантаження, але і від властивостей конструкцій, на які воно діє. Це стосується будь-яких конструкцій, які піддаються подібним навантаженням. Для тонкостінних оболонок ступінь таких взаємодій може значно підвищуватися, оскільки навіть незначні зовнішні впливи спричиняють значні поверхневі деформації, що суттєво впливає на загальний напружено-деформований стан.

Рішення щодо врахування імпульсних навантажень визначається відношенням тривалості  $\tau$  дії навантаження до головного періоду  $T$  власних коливань конструкції [4, 6]. Якщо виконується наступна умова

$$\frac{\tau}{T} \leq 0.25, \quad (1)$$

то навантаження вважається імпульсним. При довготривалих впливах навантаження можна вважати квазістатичним.

Параметр  $\tau$  (в сек) визначається за наступною формулою [4]:

$$\tau = 1.7 \cdot 10^{-3} R^{1/2} W^{1/6}, \quad (2)$$

де  $W$  — маса тротилового еквіваленту, кг;  $R$  — відстань від центра вибуху, м.

**3. Результати досліджень.** Зважаючи на умову (1) та розрахункову формулу (2), для будь-якої конструкції можна побудувати такі залежності (рис. 3), де кожна точка буде визначати межу між імпульсним і квазістатичним характером навантаження в залежності від частоти

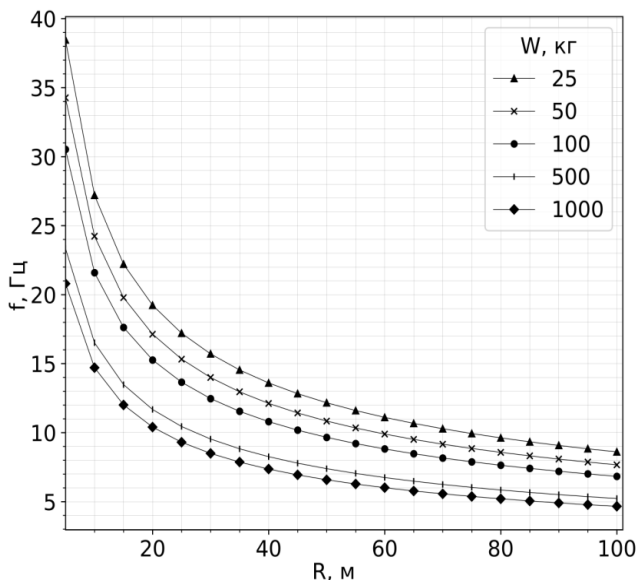


Рис. 3. Криві відповідності

головної форми коливань конструкції  $f$ , відстані  $R$  і маси тротилового еквіваленту  $W$  — тобто відповідає умові (1). Такі залежності дозволяють за параметрами  $f$ ,  $R$  і  $W$  визначити, за яким класом навантажень - квазістатичним або імпульсним, слід виконувати розрахунки. Наприклад, якщо  $f=15$  Гц,  $R=50$  м і  $W=100$  кг, то така контрольна точка буде розташована вище відповідної кривої для  $W=100$  кг, що означає, що при зазначених вихідних даних навантаження можна розглядати як квазістатичне. Якщо ж контрольна точка буде розташовуватися нижче відповідної кривої (наприклад, при  $f=8$  Гц,  $R=50$  м,  $W=100$  кг), то навантаження необхідно класифікувати як імпульсне.

В обох випадках (імпульсного чи квазістатичного навантаження) найбільш важливим показником вибухового навантаження є значення тиску  $P_{so}$  на фронті ударної хвилі. Для обчислення значення цього надлишкового тиску використовують емпіричні формули, отримані на основі експериментів, які наведено, наприклад, у роботах [1, 14]. Найбільші значення  $P_{so}$  (в МПа) дає така формула [4]:

$$P_{so} = 0.1 \frac{W^{1/3}}{R} + 0.43 \frac{W^{2/3}}{R^2} + 1.4 \frac{W}{R^3}. \quad (3)$$

**4. Обговорення.** На рис. 4 наведено моделі можливих пошкоджень циліндричної оболонки стінки резервуара місткістю  $20000 \text{ м}^3$  при дії вибухової хвилі, які отримано при динамічному скінченно-елементному моделюванні.

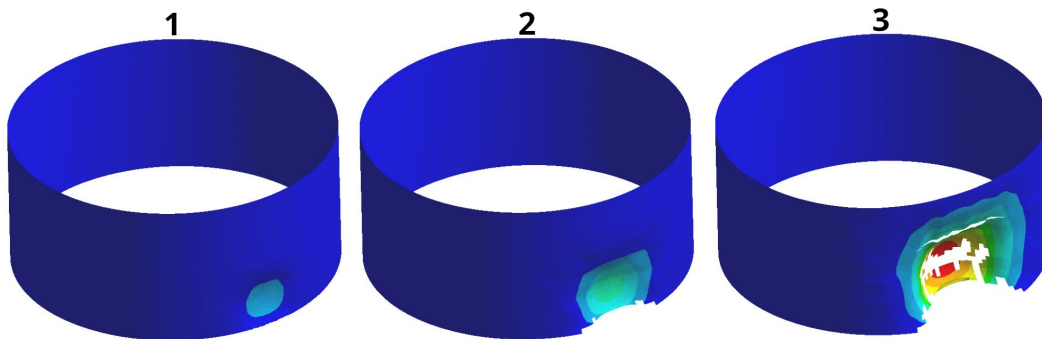


Рис. 4. Якісні моделі пошкодження циліндричної оболонки стінки резервуара місткістю  $20000 \text{ м}^3$  при дії вибухової хвилі

Для першої моделі характерна наявність незначних пластичних деформацій з локальною втратою стійкості. Друга модель демонструє помітні остаточні деформації і початок руйнування стінки. Третя модель показує значне руйнування фронтальної частини резервуара - принципово така схема руйнування збігається з реальним процесом, який має місце при наземному вибуху (рис. 5).

Моделювання проводилося з різними параметрами  $R$  і  $W$ . Очевидно, що саме перша модель повністю відповідає поняттю живучості, адже за прийнятих параметрах зберігається працездатний стан резервуара. Модель побудовано за умови обмеження еквівалентних напружень за Мізесом  $\sigma_{eqv}$  в основному пружною роботою матеріалу:

$$\max \sigma_{eqv} \leq \sigma_y, \quad (4)$$

де  $\sigma_y$  — межа плинності. Отже, живучість оболонкової конструкції буде забезпечено (вона не втрачає працездатності), якщо в будь-якій точці корпусу резервуара еквівалентні напруження не виходять за межі плинності. З позицій міцності ця умова автоматично обумовлює виконання всіх фізичних умов живучості, наведених вище. Опосередковано таким чином обмежуються і умови втрати стійкості. Але в даному контексті останнє потребує подальших досліджень.

Загалом, питання забезпечення живучості при дії вибухових впливів зводиться до визначення критичних параметрів  $R_{CR}$  і  $W_{CR}$ , за яких виконується умова (4). Живучість конструкції буде забезпечено, якщо зазначені параметри відповідають умовам:

$$W_{CR} \geq W_{EF}, \quad R_{CR} \leq R_{EF}, \quad (5)$$

де  $W_{EF}$ ,  $R_{EF}$  розрахункові значення відповідних параметрів, які призначаються в проектних аваріях [1].

### Висновки

1. Живучість наявних тонкостінних оболонкових конструкцій не може бути забезпечена так, як це розуміється в [1].

2. Скінченно-елементний аналіз дозволяє визначати наслідки (від збереження працездатності до руйнування) від дії вибухових навантажень при будь-яких параметрах і властивостях досліджуваних конструкцій.

3. Комп'ютерне моделювання дозволяє аналізувати перехідні процеси в оболонці за дії імпульсу вибухової хвилі і визначити критичні параметри вибуху, за яких оболонка зберігає свою працездатність.

4. Якщо живучість розглядати як властивість конструкції зберігати свою працездатність, то реалізація такої умови може бути досягнута шляхом обмеження еквівалентних напружень за Мізесом пружною стадією.

5. Шляхом порівняння критичних параметрів  $W_{CR}$  і  $R_{CR}$  при скінченно-елементному моделюванні можна виявляти найбільш ефективні конструктивні рішення тонкостінних оболонкових конструкцій і засоби їхнього захисту.

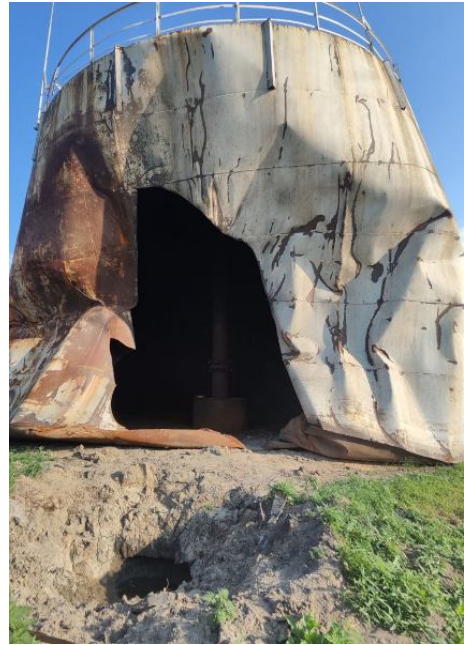


Рис. 54. Руйнування стінки резервуара при наземному вибуху

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 30 с.
2. *Бармін І.* Оцінка стійкості конструкції захисної споруди ангару для літаків при закритичних впливах в Lira-FEM // Innovative Technologies in Construction, Civil Engineering and Architecture: матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф., Дніпро, 20-21 жов. 2025 р. / М-во освіти і науки України, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – Дніпро, 2025. – С. 108–109.
3. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. – Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. – 123 с.
4. *Барштейн М.Ф., Бородачев Н.М., Блюмина Л.Х.* Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. – Москва: Стройиздат, 1981. – 215 с.
5. *Воробьев Ю.С., Колодяжный А.В., Севрюков В.И., Янушин Е.Г.* Скоростное деформирование конструкций. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
6. *Clough R.W., Penzien J.* Dynamics of structures. – New-York: McGraw-Hill Book Company, 1975. – 320 p.
7. *Cullis I.G.* Blast Waves and How They Interact With Structures // BMJ Military Health. – 2001. – 147, No. 1. – P. 16–26.
8. *Isaac O.S., Alshammari O.G., Pickering E.G., Clarke S.D., Rigby S.E.* Blast wave interaction with structures – An overview // International Journal of Protective Structures. – 2022. – 14, No. 4. – P. 584–630.
9. *Filatov G.V.* Optimal Design of Shells Subjected to Impulsive Loading // Int Appl Mech. – 2005. – 41. – P. 917–923.
10. *Jafari A.A., Khalili S.M.R., Azarafza R.* Transient dynamic response of composite circular cylindrical shells under radial impulse load and axial compressive loads // Thin-Walled Structures. – 2005. – 43, No. 11. – P. 1763–1786
11. *Karlos V., Solomos G.* Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. – 50 p.
12. *Kirkpatrick S.W., Holmes B.S.* Structural response of thin cylindrical shells subjected to impulsive external loads // AIAA Journal. – 1988. – 26, No. 1. – P. 96–103.
13. *Lugovoi P.Z., Sirenko V.N., Skosarenko Y.V.* Dynamics of a Discretely Reinforced Cylindrical Shell Under a Local Impulsive Load // Int Appl Mech. – 2017. – 53. – P. 173–180.
14. *Catovic A., Kljuno E.* Comparison of Analytical Models and Review of Numerical Simulation Method for Blast Wave Overpressure Estimation after the Explosion // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – 2021. – 6, No. 1. – P. 748–756

## REFERENCES

1. DBN V.1.2-14:2018. Zagalni pryncypy zabezpechennya nadiijnosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud (General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures). – Kyiv: Minregion Ukrainy, 2018. – 30 c.
2. *Barmin I.* Otsinka stiiokosti konstrukttsii zakhysnoi sporudy anharu dlia litakiv pry zakrytychnykh vplyvakh v Lira-FEM (Evaluation of structural stability of aircraft hangar protective structure under supercritical loads in Lira-FEM) // Innovative Technologies in Construction, Civil Engineering and Architecture: materialy XX Mizhnar. nauk.-prakt. konf., Dnipro, 20-21 zhov. 2025 r. / M-vo osvity i nauky Ukrainy, NNI «Prydniprovska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury». – Dnipro, 2025. – С. 108–109.
3. DBN V.2.2-5:2023. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu (Civil protection structures) – Kyiv: Ministerstvo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy, 2023. – 123 c.
4. *Barshtein M.F., Borodachev N.M., Bliumyna L.Kh.* Dynamicheskii raschet sooruzhenii na spetsyalnye vozdeistviya (Dynamic analysis of structures under special impacts). – Moskva: Stroiyzdat, 1981. – 215 s.
5. *Vorobev Yu.S., Kolodiazhny A.V., Sevriukov V.Y., Yaniutyn E.H.* Skorostnoe deformatsiuvannia konstrukttsii (Rapid deformation of structures). – Kiev: Nauk. dumka, 1989. – 192 c.
6. *Clough R.W., Penzien J.* Dynamics of structures. – New-York: McGraw-Hill Book Company, 1975. – 320 p.
7. *Cullis I.G.* Blast Waves and How They Interact With Structures // BMJ Military Health. – 2001. – 147, No. 1. – P. 16–26.
8. *Isaac O.S., Alshammari O.G., Pickering E.G., Clarke S.D., Rigby S.E.* Blast wave interaction with structures – An overview // International Journal of Protective Structures. – 2022. – 14, No. 4. – P. 584–630.
9. *Filatov G.V.* Optimal Design of Shells Subjected to Impulsive Loading // Int Appl Mech. – 2005. – 41. – P. 917–923.
10. *Jafari A.A., Khalili S.M.R., Azarafza R.* Transient dynamic response of composite circular cylindrical shells under radial impulse load and axial compressive loads // Thin-Walled Structures. – 2005. – 43, No. 11. – P. 1763–1786
11. *Karlos V., Solomos G.* Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. – 50 p.
12. *Kirkpatrick S.W., Holmes B.S.* Structural response of thin cylindrical shells subjected to impulsive external loads // AIAA Journal. – 1988. – 26, No. 1. – P. 96–103.
13. *Lugovoi P.Z., Sirenko V.N., Skosarenko Y.V.* Dynamics of a Discretely Reinforced Cylindrical Shell Under a Local Impulsive Load // Int Appl Mech. – 2017. – 53. – P. 173–180.
14. *Catovic A., Kljuno E.* Comparison of Analytical Models and Review of Numerical Simulation Method for Blast Wave Overpressure Estimation after the Explosion // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – 2021. – 6, No. 1. – P. 748–756

Єгоров Є.А., Кучеренко О.Є., Івченко Ю.В.

### ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Оболонкові конструкції у вигляді сталевих резервуарів для зберігання нафтопродуктів є частиною критичної інфраструктури і вважаються стратегічними об'єктами. Оцінка та забезпечення їхньої живучості при дії вибухових навантажень є актуальним питанням. Живучість оболонкових конструкцій доцільно розглядати в тій інтерпретації, що їхню повноцінну живучість забезпечити практично неможливо. Але важливо мати можливість оцінювати спроможність резервуарів чинити опір зазначеним вище факторам, виявляти на цій основі ефективні конструктивні рішення, а також розробляти захисні засоби, дотримуючись при цьому економічної доцільності. В статті досліджується питання живучості тонкостінних оболонок вертикальних сталевих циліндричних резервуарів в умовах дії імпульсних навантажень від наземного вибуху, наслідки дії яких залежать не тільки від характеру навантаження, але і від властивостей конструкції. Рішення щодо врахування імпульсних навантажень визначається відношенням тривалості  $\tau$  дії навантаження до головного періоду  $T$  власних коливань конструкції. Для будь-якої конструкції можна побудувати такі графічні залежності, де кожна точка буде визначати межу між імпульсним і квазістатичним характером навантаження в залежності від частоти головної форми коливань конструкції  $f$ , відстані  $R$  і маси тротилового еквіваленту  $W$ . Такі залежності дозволяють за параметрами  $f$ ,  $R$  і  $W$  визначити, за яким класом навантажень - квазістатичним або імпульсним - слід виконувати розрахунки. Наведено скінченно-елементні моделі пошкоджень циліндричної оболонки стінки резервуара місткістю 20000 м<sup>3</sup> при дії вибухової хвилі, які відповідно демонструють наявність незначних пластичних деформацій з локальною втратою стійкості, початок руйнування стінки і значне руйнування фронтальної частини резервуара, що принципово збігається з реальним процесом, який має місце при наземному вибуху. Моделювання проводилося з різними параметрами  $R$  і  $W$ . Очевидно, що саме перша модель повністю відповідає поняттю живучості, адже за прийнятих параметрах зберігається працездатний стан резервуара. Модель побудовано за умови обмеження еквівалентних напружень за Мізесом в основному пружною роботою матеріалу. Отже, живучість оболонкової конструкції буде, якщо в будь-якій точці корпусу резервуара еквівалентні напруження не виходять за межі пластичності. Опосередковано таким чином обмежуються і умови втрати стійкості.

**Ключові слова:** живучість, тротильовий еквівалент, вибух, імпульсне навантаження, надлишковий тиск, моделювання, оболонка.

Yehorov Y., Kucherenko O., Ivchenko Y.

### SURVIVABILITY ASSESSMENT OF SHELL STRUCTURES UNDER BLAST LOADS

Shell structures in the form of vertical steel storage tanks for petroleum products constitute a critical element of modern industrial infrastructure and are designated as strategic facilities. Ensuring their survivability under blast loads represents a pressing engineering challenge. In the context of blast resistance, the notion of survivability should be interpreted with an understanding that the complete preservation of a thin-walled shell structure under extreme impact is practically unattainable. The article regards the survivability of thin-walled vertical steel tanks subjected to impulsive loading generated by a surface blast. The consequences of such loading depend not only on its spatial characteristics but also on the mechanical and geometrical properties of the structures. The classification of the load regime - whether impulsive or quasi-static - is determined by the ratio between the load duration  $\tau$  and the fundamental vibration period  $T$  of the structure. For any mechanical system, it is possible to construct graphical dependencies in which each point defines the decisive boundary between impulsive and quasi-static regimes as a function of the fundamental frequency  $f$ , distance  $R$ , and TNT-equivalent charge mass  $W$ . For given  $f$ ,  $R$ , and  $W$ , such graphs make it possible to determine whether dynamic effects dominate the response. Finite-element models have been developed to simulate potential damage scenarios for the cylindrical shell of a 20000 m<sup>3</sup> tank exposed to blast loading. Three scenarios have been considered: minor plastic strains; the onset of wall fracture; and severe failure of the frontal sector of the tank. The predicted structural response corresponds well to experimentally observed failure modes that occur under surface blast conditions for thin-walled cylindrical shells. Numerical simulations have been conducted for various combinations of  $R$  and  $W$ . Obviously, only the first scenario is fully consistent with the engineering concept of survivability. For this regime, the structural integrity and operability of the tank are preserved, and von Mises stresses remain within or near the elastic limit of the material. Survivability is considered assured if, for any point on the shell surface, the maximum von Mises stress does not exceed the yield stress. This criterion implicitly constrains the possibility of a local buckling.

**Keywords:** survivability, TNT equivalent, blast, impulsive loading, overpressure, modeling, shell.

УДК 624.046:621.642:004.942

Єгоров Є.А., Кучеренко О.Є., Івченко Ю.В. Оцінка живучості оболонкових конструкцій в умовах дії вибухових навантажень // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2026. – Вип. 116. – С. 366-372.

Розглядається питання живучості оболонкових конструкцій в умовах дії вибухових навантажень, пропонується графічний критерій класифікації вибухових впливів, наведено скінченно-елементні моделі пошкоджень циліндричної стінки оболонки.

Іл. 4. Бібліогр. 14 назв.

UDC 624.046:621.642:004.942

Yehorov Y., Kucherenko O., Ivchenko Y. Survivability assessment of shell structures under blast loads // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-&-Technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2026. – Issue 116. – P. 366-372.

The study focuses on the problem of survivability of shell structures under blast loads. A graphic criterion for classification of blast effects is proposed, and finite element models of the damaged cylindrical wall of the shell are presented.

Fig. 4. Ref. 14.

**Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада):** доктор технічних наук, професор, професор кафедри металевих конструкцій ЄГОРОВ Євгеній Аркадійович

**Адреса робоча:** ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова 24а, м. Дніпро, 49005, Україна

**Тел.:** +380679451816

**E-mail:** evg\_egorov@ukr.net

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0009-0003-0242-0260>

**Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук (PhD), старший науковий співробітник КУЧЕРЕНКО Олександр Євгенович

**Адреса робоча:** Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, вул. Лешко-Попеля 15, м. Дніпро, 49005, Україна

**E-mail:** akch7@cryptolab.net

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0009-0008-6534-8178>

**Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій ІВЧЕНКО Юлія Володимирівна

**Адреса робоча:** ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова 24а, м. Дніпро, 49005, Україна

**E-mail:** ivchenko.yuliia@pdaba.edu.ua

**ORCID ID:** <http://orcid.org/0000-0002-1318-991X>