

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.01:629.01

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ НИЗЬКОРАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ПРИ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В. О. Попов, А. А. Власко

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ НИЗКОРАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В. О. Попов, А. А. Власко

THE MODELING OF STRESS-CONDITION OF SAFETY ANTI-RADIATION CONTAINERS AT THE ACCIDENT SITUATIONS

V. Popov, A. Vlasko

У статті удосконалено метод моделювання напружено-деформованого стану металевих захисних контейнерів під дією динамічних навантажень, що виникають при падінні дном на жорстку поверхню; на прикладі захисного контейнера місткістю 15 т, засобами "Lira 9.6" розроблена відповідна математична та скінченноелементна модель з врахуванням особливостей поведінки сталі і крихкого заповнення під дією динамічних навантажень; визначено форму деформацій контейнера та небезпечні ділянки з точки зору міцності; доведена висока ймовірність розвитку тріщин у зварних швах контейнера стандартної конструкції; запропоновані рекомендації щодо удосконалення конструкції контейнера.

Ключові слова: моделювання, напружено-деформований стан, динамічні навантаження, деформація, зварний шов, контейнер, радіація, відходи, аварія.

В статье усовершенствован метод моделирования напряженно- деформированного состояния металлических защитных контейнеров под действием динамических нагрузок, возникающих при падении дном на жесткую поверхность; на примере защитного контейнера емкостью 15 т, средствами "Lira 9.6" разработана соответствующая математическая и конечно-элементная модель с учетом особенностей поведения стали и хрупкого заполнения под действием динамических нагрузок; определена форма деформаций контейнера и опасные участки с точки зрения прочности; доказана высокая вероятность развития трещин в сварных швах контейнера стандартной конструкции; предложены рекомендации по совершенствованию конструкции контейнера.

Ключевые слова: моделирование, напряженно-деформированное состояние, динамические нагрузки, деформация, сварной шов, контейнер, радиация, отходы, авария.

In this article has been modernized the method of modeling the tensely-strained condition of metallic safety container under the dynamic load to the bottom of container from hard basis as an example of 15-tons capacity safety container, have been done super-elements model on PC program Lira 9.6 which considers peculiarity of work of fragile aggregate and steel under the dinamic forces; have been determined geometrical form of container's deformation and overtension parts, have been proved the probability of making cracks of welds of standard metal container, have been offered recommendations to improve the construction of container.

Keywords: modeling, stress-strain state, dynamic loading, deformation, weld, container, radiation, waste accident.

Вступ

Сьогодні в країнах світу, де використовується ядерна енергетика, постала проблема утилізації її відходів і, відповідно, збільшується попит на якісне, надійне пакувальне обладнання. На цей час існують два типи упаковки для перевезення радіоактивного брухту: залізобетонні та металеві контейнери. Питаннями розроблення ефективних конструкцій таких ємностей та їх оптимізації займаються такі відомі вчені, як В. І. Гавриленко, Є. М. Бабич, В. В. Сакало, В. Р. Сердюк, А. М. Бамбура, О. Б. Гурковський, В. А. Огородников [3]. У роботах цих науковців описані ефективні методики розрахунку контейнерів під дією статичних і ударних впливів. Ударні динамічні впливи можуть виникати при аварійних ситуаціях, пов'язаних з дорожньо-транспортними пригодами та при перевантаженні конструкцій. Аналіз наукових праць цих вчених доводить, що для зменшення впливу ударних навантажень необхідно вводити додаткові демпфери. Не зважаючи на це сучасні конструкції захисних контейнерів, що на даний момент використовуються на практиці, таких енергопоглинальних елементів не містять. В цій роботі розглянуто в основному вплив динамічних навантажень на конструкцію металевого контейнера, що виникають при аварійній ситуації – падінні контейнера на дно [9].

Постановка проблеми

Мета даної роботи – оцінити міцність сталевого контейнера та визначити найбільш небезпечні ділянки при аварійних ситуаціях, пов'язаних з падінням з транспортної платформи висотою 0,6 м [7]. Для виконання поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- побудувати математичну та скінченноелементну моделі контейнера;
- визначити оцінні значення внутрішніх напружень у елементах контейнера від прикладених динамічних навантажень;
- визначити форму деформацій;
- визначити небезпечні ділянки;
- розробити раціональні засоби з їх підсилення.

Основна частина

Вихідною характеристикою для проектування контейнерів та розроблення їх моделі є його корисна ємність [7]. Контейнери бувають ємністю від 3 до 15 т. Найбільші контейнери з транспортних міркувань проектують у формі полого паралелепіпеда розмірами 2400×1650×1620 мм. Пропонується виготовляти несучі елементи з високоефективної будівельної сталі С390. На основі сучасного інженерного досвіду кришка такого контейнера приварюється до корпусу із забезпеченням жорсткого з'єднання її із стінками (рис. 1, а). Оціночна маса контейнера, що заповнений відходами, рівна $m = 1,50 \cdot 10^4$ кг [7]. Моделювання контейнера такої ємності було виконано методом скінченних елементів. Модель контейнера розроблена у фізично нелінійній постановці, з врахуванням особливостей поведінки сталі і крихкого заповнення під дією комплексу динамічних навантажень [10].

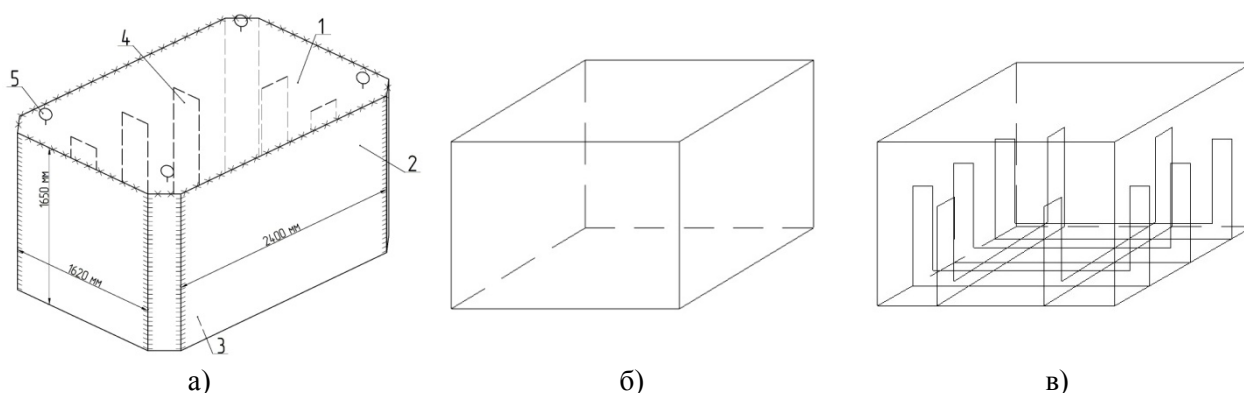


Рис. 1. Контейнер: а – загальний вигляд, де 1 – кришка, 2 – стінка, 3 – дно, 4 – ребра жорсткості, 5 – рим-болт; б – схема контейнера без ребер жорсткості (стандартне рішення); в – схема контейнера з ребрами жорсткості (пропонується)

Метод розрахунку та скінченноелементна модель конструкції відповідають вимогам чинних норм [7]. При падінні на дно енергія витрачається на пружно-пластичні деформації, руйнування елементів та зміну форми контейнера (а саме, на деформації стінок, вигин кришки і дна), а також на руйнування внутрішнього наповнення, у вигляді затверділого бетонного розчину [11, 12]. Як ми бачимо з (рис. 2, а, б), без підсилення виникають значні деформації, які зосереджені біля дна контейнера, що призведуть до розривів та тріщин у зварних швах металевих захисного контейнера [3].

Повна потенційна енергія статичної деформації згідно з [3, 11]:

$$U_{ст} = U_{\phi} + U_V + U_{внутр} \approx (1 - 2\mu) \cdot \int_V \frac{\sigma_{экв}^2}{6 \cdot E} dV + (1 + \mu) \cdot \int_V \frac{\sigma_{экв}^2}{3 \cdot E} dV \quad (1)$$

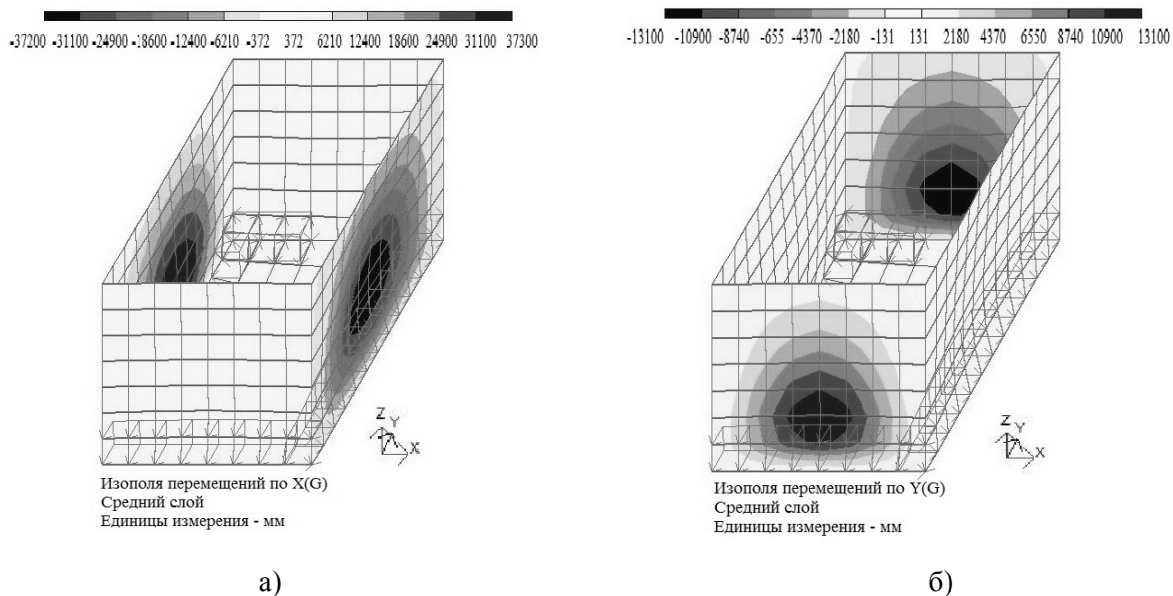


Рис. 2. Деформації елементів контейнера при падінні дном на жорстку поверхню без підсилення: а – по осі X; б – по осі Y

Можливим варіантом підсилення є збільшення товщини елементів до 80-100 мм [3, 7, 8], що є не економічним, тому пропонується підсилити його за допомогою ребер жорсткості (рис. 3, а, б, в).

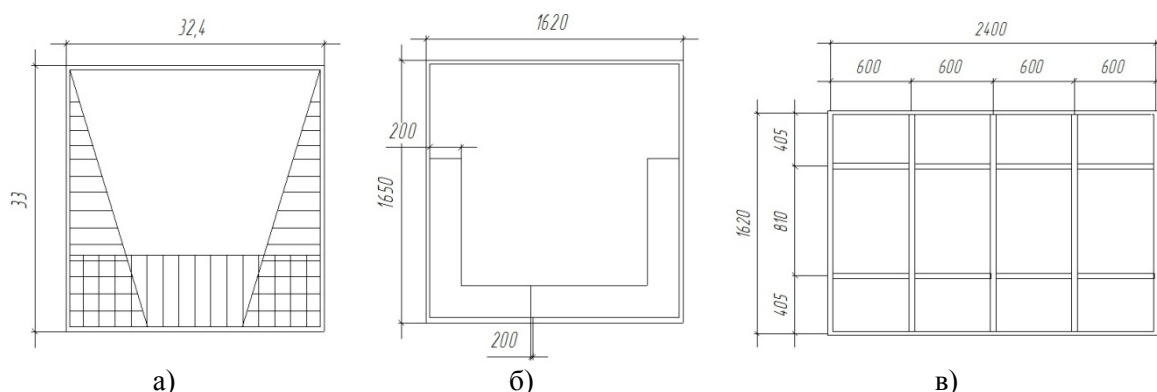


Рис. 3, а – розподілення гідростатичного тиску від радіоактивної речовини; б – переріз з ребрами жорсткості; в – схема розміщення ребер жорсткості в плані

Після підсилення контейнер також значно здеформує (рис. 5, а, б; рис. 6, а, б), але тріщин та розривів при цьому не відбудеться (не порушиться герметичність). Це забезпечується тим, що еквівалентні напруження менші за допустимі (рис. 4, а, б).

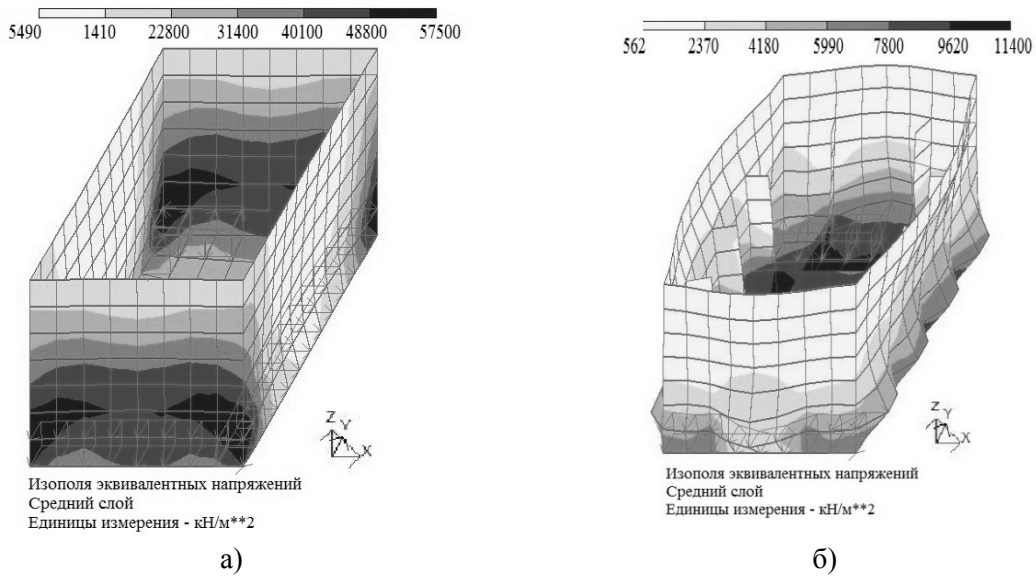


Рис. 4. Еквівалентні напруження в стійках контейнера при падінні дном на жорстку поверхню за енергетичною теорією міцності Губера-Хенкі-Мізеса: а – без підсилення; б – з ребрами жорсткості

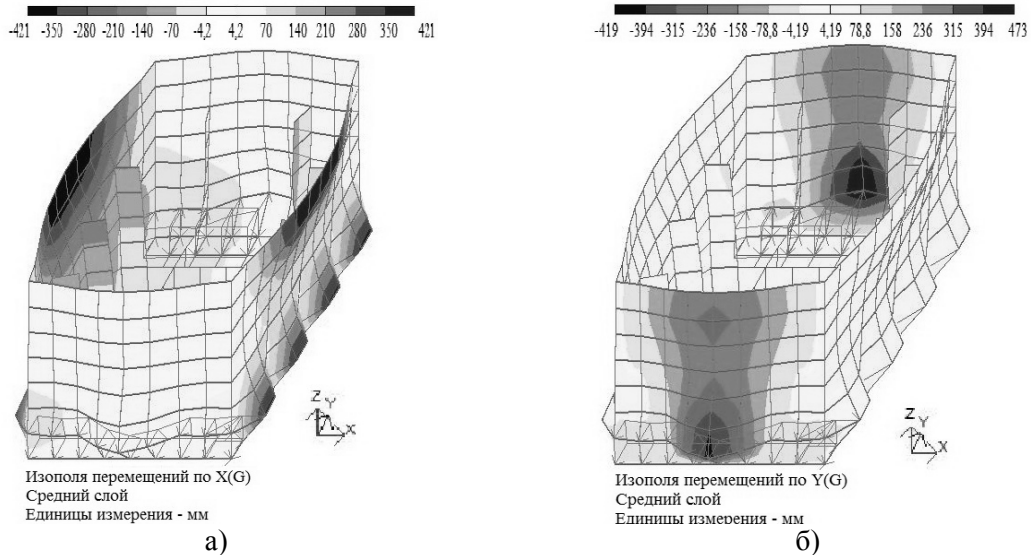


Рис. 5. Деформації елементів контейнера при падінні дном на жорстку поверхню з ребрами жорсткості: а – по осі X; б – по осі Y

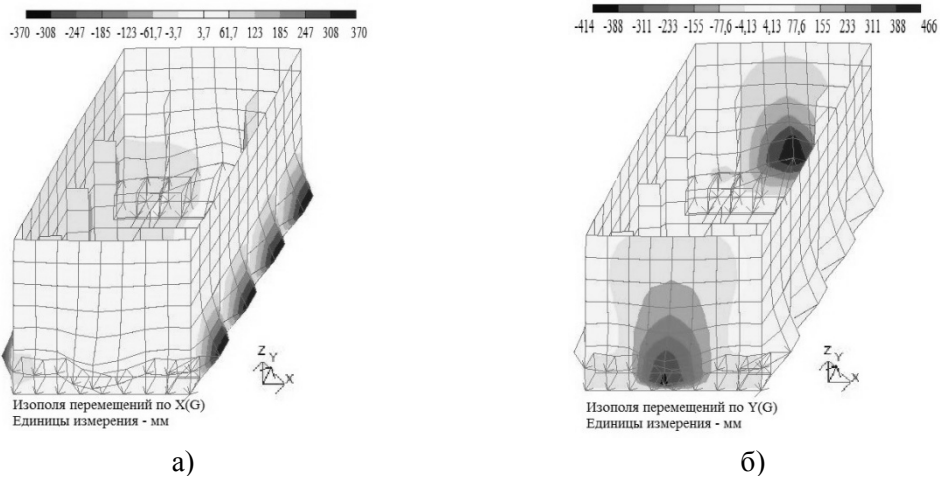


Рис. 6. Деформації елементів контейнера при падінні дном з ребрами жорсткості: а – по осі X; б – по осі Y

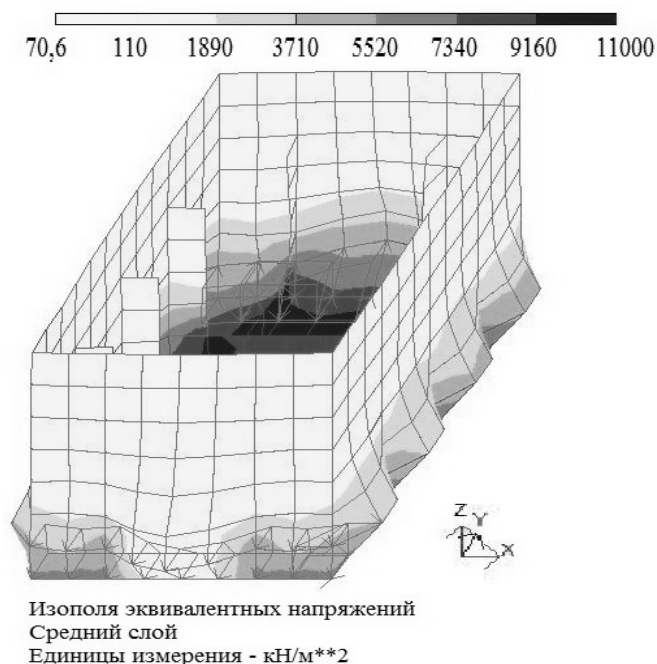


Рис. 7. Еквівалентні напруження в стійках контейнера при падінні дном з ребрами жорсткості за енергетичною теорією міцності Губера-Хенкі-Мізеса

Висновки

Виходячи з результатів оцінювання міцності сталевго контейнера, можна зробити такі висновки:

- Побудовано математичну та скінчено-елементну модель контейнера, яка враховує динамічний вплив навантажень при ударі дном об жорстку поверхню;
- Для інженерних потреб проведено аналіз конструкцій, що знаходяться в найбільш невідгданому стані. Виявлено, що це – середня частина стінок;
- Оптимізовано конструкцію контейнера шляхом введення ребер жорсткості подібних до шпангоутів і рангоутів човнів;

Виконані дослідження дозволили підвищити надійність конструкції контейнера у порівнянні з класичною конструкцією та зменшити матеріаломісткість на 30 %.

Використана література

1. НП 306.6.124-2006. Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006). Державний комітет ядерного регулювання. Київ, 2006 – 144 с.
2. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 79 с.
3. Расчет на динамическую и статическую прочность транспортно-защитного контейнера КТЗ-3,0 ТУ У 13306137.006-99 и резервуара из нержавеющей стали. Научно-внедренческое инновационное предприятие «Струм». г. Винница, 2000. – 33 с.
4. ГОСТ 16327-88. Комплекты упаковочные для радиоактивных веществ. Общие технические условия. Введ. 01.07.1990. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 24 с.
5. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. – 2005. – 121 с.
6. Розпорядження від 19 серпня 2009 р. № 990-р Київ – Про схвалення Стратегії поводження з радіоактивними відходами в Україні. – 14 с.
7. ТУ У 34.2-22921083-001:2007. Контейнер для транспортування, хранения и захоронения низкоактивных и среднеактивных твердых радиоактивных отходов КТЗ-3,6. Технические условия – Зарегистрировано 15.06.2007 в Держстандарт України; введ. 30.09.2007. – 33 с.
8. Металеві конструкції. [Підручник. Частина 1] / В. Д. Свердлов, І. П. Середюк, В. Ф. Середюк, Л. О. Жарко. – В. : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 263 с.
9. Наказ 21.09.2010 № 121 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 жовтня 2010 р. за

- № 950/18245 – Про затвердження Вимог та умов безпеки (ліцензійних умов) під час провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання у радіоізотопній дефектоскопії, – 18 с.
10. Попов В. О. Моделювання напружено-деформованого стану залізобетонного контейнера при штабелюванні для раціонального проектування / Попов В. О., Байда Д. М. // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: НДІБК, 2007. – Випуск 67. – С. 703-714.
11. Строительная механика. Под ред. А. В. Даркова. Учебник для вузов / Дарков А. В., Клейн Г. К., Кузнецов В. И., Лужин О. В. и др. – М. : «Высшая школа», 1976. – 600 с.
12. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. – К.: “Наукова думка”, 1975. – 705 с.

Попов Володимир Олексійович – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Власко Анна Анатоліївна – студентка Вінницького національного технічного університету.

Попов Владимир Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Винницкого национального технического университета.

Власко Анна Анатольевна – студентка Винницкого национального технического университета.

Vladimir Popov – Ph.D., docent of department of industrial and civil construction of Vinnytsia National Technical University.

Vlasko Anna – student Vinnytsia National Technical University.