

УДК 629.3.02:004.94

Василь Антонюк, асп.; Микола Шашків, к.т.н., доц.; Іван Брошчак, к.с-г.н, доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НАПІВПРИЧЕПА-ЦИСТЕРНИ З ДІАГНОСТИКОЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ТРІЩИН

Анотація. У роботі досліджено характерні особливості конструкцій та умов експлуатації напівпричепів – цистерн. Розроблено цифрову модель напівпричіпа – цистерни з комбінованою несучою системою (напіврамного типу). Методом скінчених елементів визначено характер розподілу еквівалентних напружень у чотирисекційній цистерні під дією гідростатичного тиску для двох режимів експлуатаційного навантаження. Встановлено критичні зони концентрації напружень, які є потенційними місцями ініціювання експлуатаційних тріщин.

Ключові слова: напівпричіп-цистерна, несуча конструкція, умови експлуатації, метод скінчених елементів, напружено-деформований стан, експлуатаційна тріщина.

Vasyl Antoniuk, Mykola Stashkiv, Ivan Broshchak

THE SEMI-TRAILER TANKER STRESS-STRAIN STATE ANALYSIS WITH OPERATIONAL CRACKS DIAGNOSTICS

Abstract. The paper investigates the characteristic features of the structures and operating conditions of semi-trailers tankers. A digital model of a semi-trailer tanker with a half-frame type supporting system has been developed. The finite element method has been used to determine the nature of the distribution of equivalent stresses in a four-section tanker under the action of hydrostatic pressure for two operating load modes. Critical stress concentration zones have been established, which are potential sites of fatigue crack initiation.

Keywords: semi-trailer tanker, supporting structure, operating conditions, finite element method, stress-strain state, operational crack.

Напівпричепи-цистерни відіграють ключову роль у транспортуванні рідких, газоподібних і сипких вантажів практично в усіх галузях виробництва. В умовах зростання вимог до безпеки, економічності та екологічності перевезень питання технічного стану, надійності та довговічності цих транспортних засобів набувають особливої наукової і практичної ваги.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучих конструкцій напівпричепів – цистерн є фундаментальним завданням механіки деформівного твердого тіла та галузевого машинобудування. Проблема ускладнюється тим, що реальні умови навантаження цих об'єктів є суттєво нестаціонарними, а конструктивна різноманітність типів і виконань напівпричепів – цистерн робить їх аналіз вкрай складним.

Тип несучої конструкції напівпричепа-цистерн є однією з найбільш важливих класифікаційних ознак. У сучасному виробництві розрізняють наступні типи несучих конструкцій напівпричепів – цистерн.

Рамні (з окремою несучою конструкцією) – у таких цистернах резервуар встановлений на повноцінній металевій рамі, яка сприймає основні експлуатаційні навантаження. Цистерна ж у цьому випадку менш навантажена і виконує роль ємності для вантажу. Така несуча конструкція є дуже міцною та підходить для важких умов експлуатації. Основний недолік – більша власна вага у порівнянні з іншими типами несучих конструкцій.

Безрамні (без окремої несучої конструкції) – у таких цистернах сам корпус резервуара виконує роль несучої конструкції. Він кріпиться безпосередньо до шасі або підвіски і сприймає всі експлуатаційні навантаження. Така конструкція дозволяє значно зменшити вагу напівпричепа. Такі напівпричепа – цистерни ефективніші за вантажопідйомністю, але більш вимогливі до розрахунків міцності. Застосовуються переважно в сучасних легких та паливних цистернах.

Напіврамні (комбіновані) – поєднують елементи рамної та безрамної конструкції. Частина навантажень передається на раму, а частина – на корпус цистерни. Це компроміс між міцністю, масою та довговічністю. Такі конструкції часто використовуються у спеціалізованих або посиленних моделях напівпричепів – цистерн та забезпечують кращий баланс між жорсткістю та вагою.

Модель типового напівпричепа – цистерни такої конструкції показано на рис. 1.

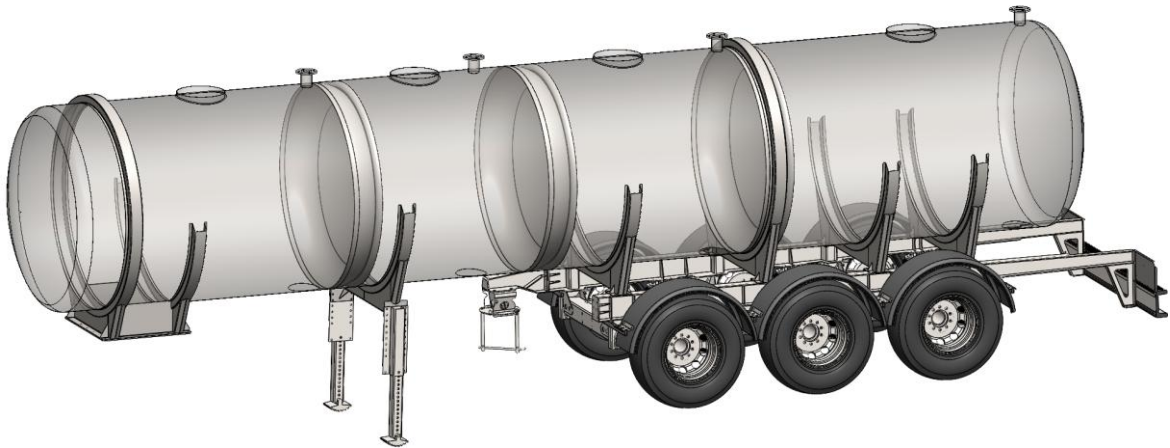


Рисунок 1 – Модель напівпричепа – цистерни з напіврамною несучою конструкцією

Багатосекційні напівпричепа-цистерни характеризуються рядом особливостей, що принципово відрізняють їх від однорідних тонкостінних оболонок як об'єктів механічного аналізу. Внутрішні поперечні перегородки (декелі, баффли, антислошингові перегородки) поділяють корпус на 2–6 відсіків, у кожному з яких можуть перевозитися різні продукти або один продукт у різній кількості. Це породжує асиметричне навантаження, яке суттєво відрізняється від симетричного розподілу тисків у однорідно заповненій цистерні.

З точки зору класичної механіки оболонок, корпус цистерни є тонкостінною циліндричною або еліптичною оболонкою кінцевої довжини, підкріпленою шпангоутами і поздовжніми стрингерами. Для такої системи аналітичне рішення задачі НДС у загальному випадку нерівномірного тиску і зосереджених сил є надзвичайно складним і, як правило, зводиться до чисельного рішення.

Метод скінчених елементів (МСЕ) є на сьогодні домінуючим інструментом аналізу НДС корпусів транспортних цистерн. Типова процедура МСЕ-аналізу напружено-деформованого стану цистерни передбачає такі кроки: параметрична побудова 3D-моделі цистерни; дискретизація моделі (створення сітки скінчених елементів); задання граничних умов та навантажень; лінійний та неліній статичний (чи інший) аналіз; аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану; оцінка коефіцієнту запасу міцності конструкції.

На рис. 2 показано розподіл еквівалентних напружень у цистерні для транспортного та стоянкового режимів експлуатації напівпричепа з багатосекційною цистерною об'ємом 30 м^3 під дією гідростатичного тиску від ваги рідкого матеріалу.

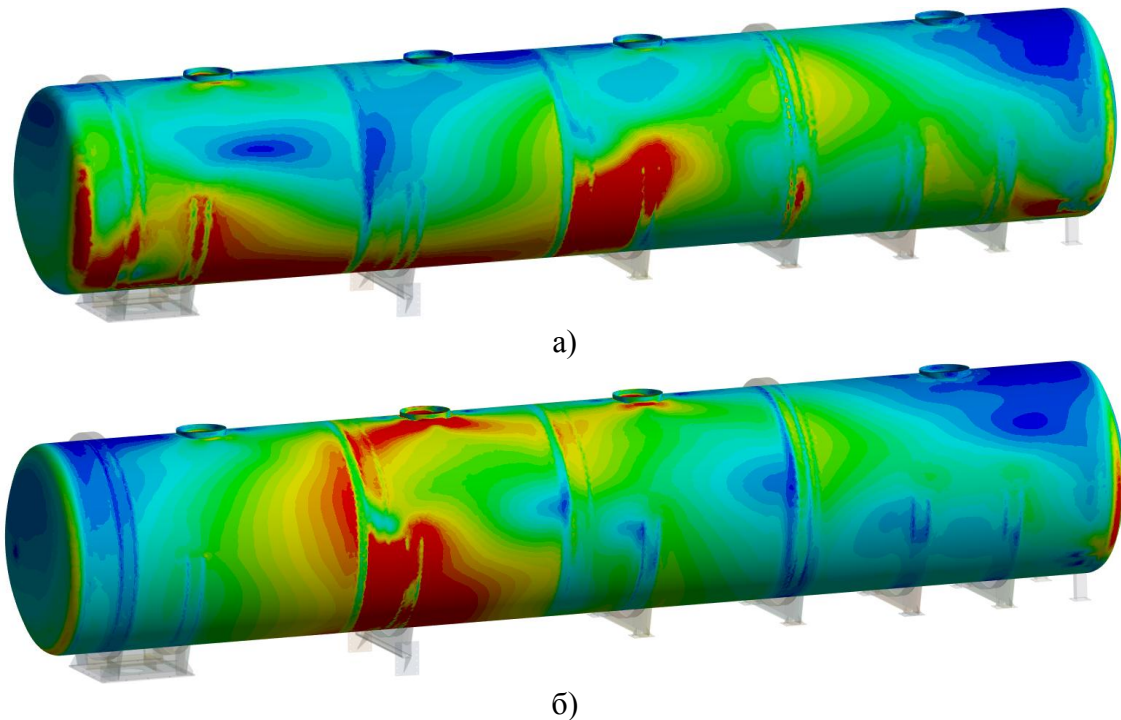


Рисунок 2 – Розподіл еквівалентних напружень у цистерні в транспортному (а) та стоянковому (б) режимах

Аналіз результатів моделювання (рис. 2) показує, що найбільша концентрація напружень на корпусі цистерни спостерігається у зонах опорних ложементів, в місцях кріплення декелів та поблизу заливних горловин. Ці зони є потенційними місцями ініціювання експлуатаційних тріщин. Це підтверджується і результатами експлуатаційних спостережень. Зокрема, на рис. 3 показано експлуатаційні тріщини в зоні кріплення внутрішньої перегородки цистерни та в опорі кріплення цистерни.

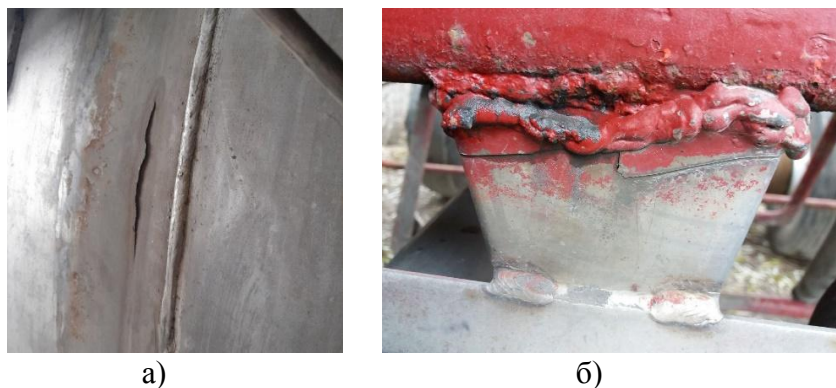


Рисунок 3 – Експлуатаційні тріщини в корпусі (а) та опорі (б) цистерни

Отже, особливості будови напівпричепів – цистерн та умови їх експлуатації безпосередньо визначають характер напружено-деформованого стану та довговічність їх несучої конструкції. Найбільш небезпечними експлуатаційними факторами є гідродинамічне навантаження від ваги вантажу, що зумовлює локальні концентрації напружень, які, в свою чергу, є місцями зародження та розвитку тріщин. Все це зумовлює необхідність застосування чисельного моделювання НДС несучих конструкцій та впровадження систем моніторингу технічного стану напівпричепів-цистерн.