

УДК 624.953:624.046.03

ОЦІНКА НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ СТАЛЕВИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ПРИ ВІТРОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Івченко Ю. В., к. т. н.

Державний вищий навчальний заклад

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Аналіз стану питання. На практиці сталеві вертикальні циліндричні резервуари найбільш часто застосовуються як нафтоховища наземного типу. У вітчизняній номенклатурі об'єм резервуарів розглянутого типу становить 100...75 000 м³. Геометричні параметри резервуарів змінюються в досить широкому діапазоні: $l/r=0,6\div 2,5$; $r/t=600\div 3800$ (l, r, t – довжина, радіус і товщина циліндричної стінки резервуару). З наведених співвідношень видно, що циліндрична стінка резервуарів відноситься до класу вельми тонкостінних оболонок [1; 2]. При експлуатації на резервуар діє цілий комплекс навантажень: тиск від продукту, що зберігається, надлишковий тиск в газовому просторі резервуара, власна вага конструкцій стінки і покриття, снігове навантаження, вакуум, вітрове навантаження. На особливу увагу заслуговує дія вітрового навантаження на резервуари.

Постановка задачі. Згідно норм проектування [3] вітрове навантаження на споруди циліндричної форми представлене у вигляді нерівномірно розподіленого по колу тиску і рівномірно розподіленого навантаження на покриття. У розрахунках міцності резервуарів вітрове навантаження не враховується, оскільки напруження від вітрового тиску за знаком будуть зворотними напруженням від основного навантаження для резервуарів – гідростатичного тиску від ваги збереженої рідини; а також з огляду на невелику величину напружень від вітрового навантаження. При розрахунку резервуарів на стійкість розглядається тільки вітрове навантаження на корпус резервуара без урахування навантаження на покриття. При цьому, згідно вітчизняних норм проектування [4], нерівномірний вітровий тиск на циліндричну стінку замінюється рівномірним тиском з однаковим для резервуарів всіх об'ємів коефіцієнтом приведення, що дорівнює 0,5. З огляду на вищевикладене, була поставлена задача дослідити особливості поведінки циліндричної стінки сталевих резервуарів при вітровому тиску з урахуванням його фактичного розподілу.

Зміст досліджень. Дослідження проводилися чисельним методом (МСЕ) з використанням програмного комплексу «ЛІРА». Розглядалися циліндричні оболонки постійної товщини, геометричні параметри яких приймалися близькими до геометрії реальних резервуарів: $r/t=1500\div 3000$, $l/r=0,6\div 2,5$. У якості навантаження було прийнято розподіл вітрового тиску по колу оболонки згідно норм проектування [3]. При призначенні граничних умов було розглянуто два варіанти закріплення обох торців оболонки: 1) шарнірне обпирання; 2) жорстке затиснення.

Дослідження виконувалися в такій послідовності. На першому етапі виконувався аналіз напружено-деформованого стану оболонок при вітровому тиску. На наступних етапах виконувалася нелінійний аналіз деформування і розрахунок стійкості оболонок при вітровому навантаженні.

Статичний розрахунок показав, що у всіх випадках величина кільцевих напружень не перевищувала 12...18 МПа, а еквівалентних напружень – 17...20 МПа. Як і слід було очікувати, розглянуті оболонки мають великий запас за міцністю, а вітрове навантаження є небезпечним з позицій стійкості.

Аналіз деформативного стану оболонок при вітровому навантаженні показав, що на поверхні оболонок (особливо в зоні дії активного вітрового тиску) виникають хвильові радіальні відхилення, які є наслідком неоднорідного характеру навантаження. Величина

таких відхилень невелика, проте довжина їх близька довжині хвиль випинання власної форми втрати стійкості оболонок.

На наступному етапі досліджень виконувався нелінійний аналіз деформованого стану оболонок при вітровому навантаженні. В результаті розрахунку були отримані граничні значення вітрового тиску (верхнє $q_{cr,w}^{up}$ і нижнє $q_{cr,w}^l$ значення), деформовані схеми оболонок. Аналіз отриманих результатів вказує на те, що істотні розбіжності між лінійним і нелінійним аналізом деформованого стану починають проявлятися при досягненні вітровим тиском величини $q_w = 0,8 \cdot q_{cr,w}^{up}$. При цьому істотно збільшуються радіальні переміщення оболонок і згинальні напруження кільцевого напрямку.

На третьому етапі досліджень виконувався лінійний аналіз стійкості циліндричних оболонок при вітровому тиску. В результаті розрахунку отримані критичні значення вітрового тиску $q_{cr,w}$. Необхідно відзначити, що, якщо досягнення граничних значень вітрового тиску $q_{cr,w}^{up}$, $q_{cr,w}^l$ і супроводжується істотним зростанням деформацій оболонок, то досягнення навантаженням критичного значення $q_{cr,w}$ пов'язано з повною втратою стійкості оболонки, що є неприпустимим для резервуарів, що знаходяться в експлуатації.

З аналізу отриманих даних встановлено, що для розглянутих циліндричних оболонок верхні граничні значення $q_{cr,w}^{up}$ трохи вище критичних значень $q_{cr,w}$, але в цілому вони близькі. Співвідношення між нижнім граничним навантаженням $q_{cr,w}^l$ і верхнім $q_{cr,w}^{up}$ становить 0,6 - 0,8 в залежності від геометричних параметрів і умов обпирання торців оболонок. Так, для оболонки з $r/t=1500$, $l/r=1$ вказане відношення становить:

$$\frac{q_{cr,w}^u}{q_{cr,w}^b} = \frac{1,98}{3,18} = 0,62$$

. Відповідні величини відносних радіальних прогинів $\bar{f} = \frac{f}{t}$ цієї оболонки складають: при $q_{cr,w}^{up} = 3,18$ кПа – $\bar{f} = 0,9 \div 2,6$; при $q_{cr,w}^l = 1,98$ кПа – $\bar{f} = 5 \div 20$.

Висновки

1. Аналіз отриманих даних показує, що для розглянутих циліндричних оболонок верхнє граничне значення вітрового тиску $q_{cr,w}^{up}$, отримане з рішення нелінійної задачі деформування, і критичне значення вітрового тиску $q_{cr,w}$, отримане з рішення задачі стійкості, дуже близькі.

2. Процес деформування циліндричних оболонок при вітровому тиску має в цілому стійкий характер, а саме по собі вітрове навантаження не представляє небезпеки для загальної втрати стійкості оболонки.

3. В інженерних розрахунках оцінки стійкості резервуарів в якості граничного значення вітрового навантаження рекомендується приймати нижнє граничне навантаження $q_{cr,w}^{up}$, що також попередить розвиток надмірно великих прогинів, які можуть супроводжуватися пластичними деформаціями.

Список використаних джерел

1. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. Москва : Наука, 1967. 984 с.
2. Койтер В. Т. Устойчивость и закритическое поведение упругих систем. Механика : сб. пер. иностр. статей. 1960. № 5 (63). С. 99–100.
3. ДБН В.1.2-2-2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. 75 с.
4. ВБН В 2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Київ : Державний Комітет України по нафті і газу, 1994. 95 с.