

УДК 624.953-624.07

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ПРИ ВІТРОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ В ЗАДАЧАХ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

Єгоров Є. А.¹, д. т. н., проф., Івченко Ю. В.², к. т. н.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,

¹yehorov.yevhenii@pgasa.dp.ua;

²ivchenko.yuliia@pgasa.dp.ua

Постановка завдання. Сталеві вертикальні циліндричні резервуари найбільш часто використовуються у нафтовій і газовій промисловості як ємкості для зберігання нафтопродуктів та газів. Багато таких споруд на даний час виявилися серйозно пошкодженими, а також локально чи повністю зруйнованими, що викликає гостру необхідність у будівництві нових резервуарів.

При діагностуванні технічного стану резервуарів виникає необхідність індивідуальної оцінки технічного стану цих споруд, що вимагає урахувати конкретні умови навантажень, а також параметри їх геометрії, дефектів і пошкоджень з метою виявлення наявних резервів несучої здатності кожного окремого резервуару. Колектив кафедри металевих і дерев'яних конструкцій ПДАБА активно займається широким колом питань, пов'язаних з розрахунками і проектуванням нових резервуарів, з моніторингом технічного стану сталевих вертикальних циліндричних резервуарів і розробленням проектів з підсилення цих споруд з метою підвищення їх несучої здатності.

Циліндрична стінка резервуарів розглянутого типу відноситься до класу дуже тонкостінних оболонок ($r/t = 600 \div 3800$; $l/r = 0,6 \div 2,5$; тут l , r , t – довжина, радіус і товщина циліндричної стінки), для яких питання стійкості виходять на перший план. Крім того, на вертикальні резервуари у процесі їх експлуатації діє ціла низка стискаючих навантажень, серед яких особливої уваги заслуговує вітрове навантаження. Згідно норм проектування [1] вітрове навантаження на споруди циліндричної форми представлене у вигляді нерівномірно розподіленого за колом тиску. При оцінці стійкості нерівномірний вітровий тиск замінюється рівномірним зовнішнім тиском – еквівалентним вакуумом [2].

Метою роботи є з'ясування обґрунтованості такого підходу і виявлення можливих неточностей в інженерній оцінці стійкості вертикальних резервуарів.

У роботах [3; 4] зазначається, що однією з особливостей таких задач є суттєва моментність початкового напружено-деформованого стану оболонки. З самого початку навантаження в оболонках спостерігаються значні згини. У процесі деформування можливі якісні зміни форми деформування оболонок. Критичні навантаження, визначені у рамках статичного критерію Ейлера як навантаження, при яких спостерігається розгалуження моментних форм рівноваги, можуть при цьому не співпадати з граничними навантаженнями. Величина різниці залежить як від виду навантаження, так і від точності визначення початкового стану оболонок, яке визначається з лінійних, лінеаризованих або нелінійних рівнянь. Таким чином, робота циліндричних оболонок при вітровому тиску досліджується у три етапи: задача деформування у лінійній постановці, задача стійкості і нелінійна задача деформування.

Зміст досліджень. Дослідження проводились методом скінченних елементів. Розрахунки виконувались на величину вітрового тиску, що відповідає значенням вітрового навантаження на території України [1]. Статичний розрахунок оболонок

показав, що для всіх розглянутих оболонок превалюючими є мембранні напруження кільцевого напрямку σ_{2m} , значення яких досягає 17...20 МПа. Другими за величиною є мембранні напруження меридіонального напрямку σ_{1m} , при цьому спостерігається залежність $\sigma_{1m} = \mu \cdot \sigma_{2m}$, тут μ – коефіцієнт Пуассона. Розподіл усіх цих напружень відповідає розподілу вітрового тиску,

Згинальні напруження в оболонці вкрай незначні, при цьому тут також переважаючими виявляються згинальні напруження кільцевого напрямку σ_{2i} . Величина цих напружень досягає значень $0,12 \div 0,20$ МПа. Найбільші згинальні напруження, як і слід очікувати, виникають на ділянках оболонок, прилеглих безпосередньо до країв, тобто, в області крайового ефекту. Головною ж особливістю епюр згинальних напружень є їх яскраво виражений хвильовий характер.

Характеру епюр напружень відповідають епюри радіальних переміщень w і деформовані схеми оболонок, які також мають хвильовий характер. Це вказує на те, що вже при невеликих значеннях вітрового тиску – $(0,12 \div 0,15) \cdot q_{cr,w}$ – по всьому периметру, а, особливо, в зоні дії активного вітрового тиску, на поверхні оболонок утворюються хвильові відхилення. Утворення хвиль на поверхні оболонки в докритичному стані мало місце і при натурних експериментах [5], і може бути обумовлено неоднорідністю навантаження оболонки по периметру. Все це значно ускладнює дійсну поведінку оболонкових конструкцій під навантаженням і може вносити суттєві відхилення від розрахункових оцінок стійкості за діючими нормативними документами.

Висновки. У цілому можна зробити висновок, що для розглянутих оболонок при дії на них вітрового тиску усі компоненти напруженого стану є далекими від граничних з точки зору міцності значень. З позицій стійкості виникнення вже на початку деформування хвильових відхилень поверхні оболонки може сприяти тому, що граничне значення вітрового тиску буде нижчим за його критичну величину. Разом з тим, дуже слабкий прояв хвильових утворень і незначні згинальні напруження не дають можливості однозначно прогнозувати, що ж буде визначальним – граничне чи критичне значення вітрового навантаження. Тому, для одержання надійної оцінки стійкості при технічному діагностуванні сталених вертикальних циліндричних резервуарів, що експлуатуються, бажано у кожному конкретному випадку виконувати нелінійний аналіз НДС їх оболонки (циліндричної стінки) з урахуванням конкретного характеру вітрового тиску і її геометричної форми.

Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2006. 75 с.
2. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. *Відомчі будівельні норми України*. Київ : Держкомнафтогаз, 1994. 98 с.
3. Кабанов В. В., Курцевич Г. И., Михайлов В. Д. Предельное состояние и устойчивость цилиндрической оболочки при неоднородном неосесимметричном давлении. *Известия АН СССР. Механика твердого тела*. 1978. № 4. С. 129–134.
4. Семенюк Н. П. О расчете на устойчивость цилиндрических оболочек при неосесимметричном давлении. *Прикладная механика*. 1980. Т. XVI, № 4. С. 56–62.
5. Маневич А. И. Экспериментальное исследование устойчивости подкрепленных цилиндрических оболочек при внешнем давлении. *Прикладная механика*. 1969. Т. V, вып. 5. С. 35–39.