

*Н.О. Ференц, канд.техн.наук, доцент,  
Ю.Е. Павлюк, канд.техн.наук, доцент, В.В. Ковба  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

### **ЗАХИСТ РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ ЗА УМОВ КВАЗИМИТТЄСВИХ РУЙНУВАНЬ**

Встановлено, що нормативні обвалування резервуарів не здатні утримати рідину під час квазімиттєвого руйнування надземних вертикальних резервуарів; для запобігання розливів при такому руйнуванні слід передбачати захисні огорожувальні стінки. Побудовано аналітичні залежності, які дають можливість визначити висоту захисної стінки для утримання рідини за умов квазімиттєвого руйнування надземних вертикальних резервуарів залежно від об'єму резервуара та відстані до вказаної стінки. Доведена необхідність внесення змін в нормативну базу для забезпечення резервуарів та резервуарних парків.

**Ключові слова:** резервуар, резервуарний парк, квазімиттєве руйнування, огорожувальна стінка, хвиля прориву

*Н.А. Ференц, Ю.Э. Павлюк, В.В. Ковба*

### **ЗАЩИТА РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ КВАЗИМГНОВЕННЫХ РАЗРУШЕНИЙ**

Установлено, что нормативные обвалования резервуаров не способны удержать жидкость во время квазимгновенного разрушения надземных вертикальных резервуаров; для предотвращения разлива при таком разрушении следует предусматривать защитные ограждающие стенки. Построены аналитические зависимости, позволяющие определить высоту защитной стенки для удержания жидкости в условиях квазимгновенного разрушения надземных вертикальных резервуаров в зависимости от объема резервуара и расстояния до указанной стенки. Доказана необходимость внесения изменений в нормативную базу для обеспечения безопасности резервуаров и резервуарных парков.

**Ключевые слова:** резервуар, резервуарный парк, квазимгновенное разрушение, ограждающая стенка, волна прорыва

*N.O. Ferents, Yu.E. Pavliuk, V.V. Kovba*

### **PROTECTION OF OIL TANKS FROM SUDDEN DESTRUCTIONS**

It is proved that normative protection of tanks is not able to retain a liquid during sudden destruction of above-ground vertical tanks. To prevent the overflow in case of sudden destruction the protective barriering walls must be built. Analytical expressions allowing to define the height of protective wall for preventing liquid overflow from above-ground vertical tanks in case of sudden destruction are deducted in the article. The volume of a tank and distance from the indicated wall to a tank are considered in the expressions. The necessity of bringing changes to the normative base for improving protection of tanks and reservoir parks is proved.

**Key words:** tank, reservoir park, sudden destruction, barriering wall, breakdown wave

### Актуальність проблеми

Підвищення пожежної безпеки об'єктів зберігання нафти та нафтопродуктів – важлива складова забезпечення населення від загроз техногенного характеру. Аналіз статистичних даних, зокрема, масштабної техногенної катастрофи, спричиненої вибухом і подальшим займанням нафтопродуктів на нафтобазі «БРСМ-Нафта» біля с.Крячки Васильківського району Київської області, показує, що аварії та пожежі у резервуарах та резервуарних парках забирають людські життя, завдають значних матеріальних збитків. Найбільшою небезпекою, що призводить до катастрофічних наслідків з великими матеріальними втратами, загибеллю людей, є повне руйнування резервуара і формування гідродинамічної хвилі прориву. Згідно з статистичними даними, зареєстровано більше 140 випадків квазімиттєвих руйнувань циліндричних вертикальних резервуарів типу РВС [3], частота повних аварійних руйнувань РВС становить  $3 \cdot 10^{-4}$  рік<sup>-1</sup>. Процес руйнування резервуара при таких аваріях надзвичайно швидкий, а ударна сила утвореної хвилі прориву достатньо велика. При гідродинамічному розтіканні разом з палаючою рідиною переноситься відкритий вогонь, теплове випромінення полум'я та інші небезпечні чинники пожежі. Тому необхідно розглядати хвилю прориву, що утворюється при такому руйнуванні, як небезпечний чинник аварійної ситуації на складах нафти і нафтопродуктів, а захист резервуарів для нафти та нафтопродуктів при квазімиттєвих руйнуваннях є актуальним завданням.

Метою роботи є аналіз нормативних вимог щодо обмеження площі розливання нафти і нафтопродуктів у випадку квазімиттєвого руйнування резервуара.

У роботі використовували методику визначення висоти обвалування навколо резервуарів та групи резервуарів, згідно з [1], та методику розрахунку геометричних параметрів захисної стінки, згідно з [2].

На даний час в Україні, згідно з ВБН В.2.2.58.1-94, основними спорудами для обмеження аварійного розливання рідин в резервуарних парках є земляні обвалування або огорожувальні стінки. Розрахунок таких споруд здійснюється лише на гідростатичне утримання розлитої рідини. Однак, аналіз наслідків руйнувань резервуарів показує [3], що нормативне обвалування, яке розраховане на гідростатичне затримання розлитої рідини, не здатне утримати потік, який рухається за законами гідродинаміки. Так, під впливом гідродинамічного потоку обвалування в 49% випадках руйнувалося або розмивалося, а в 29% – потік переливався через нього. Як наслідок, рідина розливалась на прилеглий території на великі площі, аварії призводили до травм і загибелі людей, значних матеріальних і екологічних втрат.

Нормативні вимоги до резервуарних парків нафти і нафтопродуктів, чинні в Україні, передбачають [1] додаткові способи захисту від розливу рідини в резервуарних парках. Такими спорудами можуть бути: додаткове обвалування на відстані не менше 20 м від основного обвалування, яке розраховується на утримання 50% рідини найбільшого резервуара; відкриті земляні амбари з нормованою місткістю на повний об'єм найбільшого резервуара (якщо його одиничний об'єм не більший ніж 20000 м<sup>3</sup>); відвідні канали (траншеї), ширина яких у верхній частині не менша ніж 2 м.

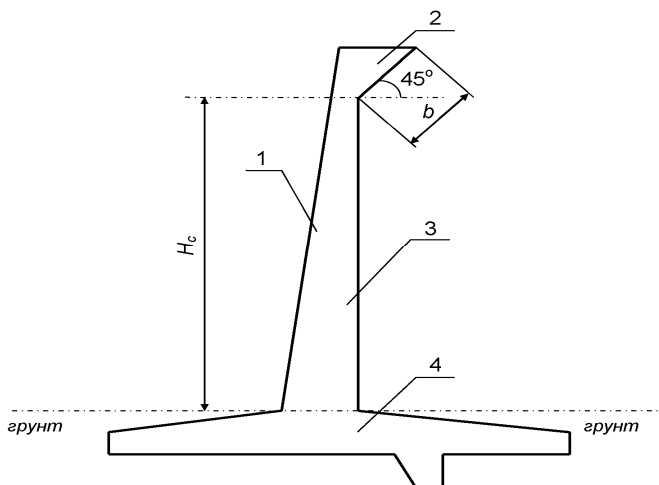
Вказані споруди необхідно розташовувати за основними. Однак, на практиці додаткові споруди для захисту від розливу рідини в резервуарних парках не мають широкого застосування. Це зумовлене, в першу чергу, необхідністю виділення для їх облаштування значної частини виробничої території, що в міських умовах є складним завданням.

Останнім часом, з метою локалізації всього об'єму рідини під час руйнування резервуара споруджують резервуари з подвійними стінками типу «склянка в склянці». Зокрема, на ЛВДС «Броди» (Львівська обл.) експлуатується сталевий вертикальний резервуар з подвійною стінкою ємністю 75000 м<sup>3</sup>. Захисний резервуар (подвійна стінка) довкола основного резервуара призначений на утримання 100% об'єму нафти. Однак, як впливає з нормативних вимог, розрахунок стійкості другої стінки також проводиться лише на гідростатичний тиск, що зумовлює її нездатність протистояти потоку рідини при квазімиттєвому руйнуванні основного резервуара.

При квазімиттєвому руйнуванні резервуара відбувається раптовий (протягом секунд чи часток секунд) розпад резервуара приблизно на рівні за розміром частини. Ознаками квазімиттєвого руйнування є: повна втрата цілісності корпусу резервуара, витікання у вигляді хвилі прориву протягом незначного проміжку часу всієї рідини, що зберігається в резервуарі. Для такої хвилі характерна нестационарність потоку, наявність різкого фронту у вигляді вала, який має значну висоту і рухається зі значною швидкістю. Хвиля має велику руйнівну силу, яка призводить до пошкодження сусідніх резервуарів, розмивання земляного обвалування чи руйнування огорожувальної стінки. Навіть при збереженні цілісності і стійкості нормативної перешкоди через неї відбувається переливання значного об'єму рідини. Особливістю квазімиттєвих руйнувань великих резервуарів (номінальною місткістю понад 10000 м<sup>3</sup>) є не тільки знищення земляного обвалування чи залізобетонної огорожувальної стінки, але і повне руйнування чи сильна деформація сусідніх резервуарів, пошкодження будівель, споруд і технологічних установок. При цьому потік рідини практично завжди виливався за територію підприємства, створюючи загрозу для сусідніх об'єктів і екології. За даними [3] загальні матеріальні втрати від таких аварій резервуарів перевищують в 500 і більше разів початкові затрати на їх спорудження.

Основними причинами виникнення квазімиттєвих руйнувань є високий відсоток спрацювання резервуарів типу РВС (до 80%), нерівномірний характер просідання основи, складний характер навантаження конструкції, відсутність контролю суцільності зварних швів, невідповідність проектам, порушення режиму експлуатації. Згідно з матеріалами експертиз аварій [4], розкриття резервуарів типу РВС відбувалося внаслідок руйнування найбільш навантаженого конструктивного елемента – вузла з'єднання стінки резервуара з днищем. При цьому стінка резервуара руйнувалась на всю висоту і, через великі радіальні зусилля пов'язані з тиском рідини при її витіканні з РВС, відривалась від днища, а її краї розгорталися на 120...180°. Стінка резервуара з силою відкидалась з фундаменту в сторону, протилежну до напрямку витікання рідини, а дах резервуара обвалювався на днище.

Останнім часом, з метою локалізації всього об'єму рідини під час квазімиттєвого руйнування резервуара влаштовують огорожувальні стіни з хвилевідбивним дашком [2]. Спеціальні огорожувальні стіни з хвилевідбивним дашком розраховані на гідродинамічні навантаження під час квазімиттєвого руйнування резервуара і виконують в замкненому об'ємі роль аварійного резервуара, що значно знижує загрозу аварійного розливу нафтопродукту. Конструктивно такі захисні стінки мають вигляд (рис.1) вертикальної перешкоди висотою  $H_c$ , які розташовують з однієї, двох, трьох чи по периметру огороження окремо розташованого резервуара чи групи резервуарів.



**Рисунок 1** – Схема огорожувальної стіни з хвилевідбивним дашком:

1 – захисна стіна; 2 – хвилевідбивний дашок; 3 – площина відбивання потоку; 4 – основа стіни.

Огороджувальні стінки з хвилевідбивним дашком призначені для повного затримання хвилі рідини при квазімиттевому руйнуванні наземного вертикального резервуара чи групи резервуарів у зазначеному діапазоні:

$$100 \leq V_H \leq 30000, \quad 3 \leq L \leq 30,$$

де:  $V_H$  – номінальний об'єм резервуара, м<sup>3</sup>;  $L$  – відстань від огорожувальної стінки до стінки резервуара, м. Висоту огорожувальної стінки  $H_c$ , м, розраховували за формулою:

$$\frac{H_c}{K_3 \cdot H_p} = -0,0664 \cdot \frac{a_1^2}{\sqrt{a_2}} + 0,0871 \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} + 0,0639 \cdot \frac{a_1}{a_2},$$

де:  $K_3$  – коефіцієнт запасу, який рекомендується приймати рівним 1,1 для резервуарів місткістю не більше 5000 м<sup>3</sup> і рівним 1,2 для резервуарів більшої місткості;  $a_1 = f_1(b / H_p)$ ,  $a_2 = f_2(L / R_p)$  – змінні, які залежать від довжини виносу хвилевідбивного дашка  $b$ , м, і відстані від центра резервуара до огорожувальної стіни  $L_1$ , м. Вказані змінні визначали за формулами:

$$a_1 = 15,2 \cdot \frac{b}{H_p} + 0,485, \quad a_2 = \lg \left( \frac{L}{R_p} \right)$$

де:  $H_p$  – максимальний рівень рідини в резервуарі, м;  $R_p$  – радіус аварійного резервуара, м.

У роботі, згідно з методикою [2], визначали висоту захисної огорожувальної стіни з хвилевідбивним дашком, яка б повністю утримала рідину під час квазімиттевого руйнування надземних вертикальних резервуарів. Результати розрахунків та нормативні вимоги до обвалування для вертикальних резервуарів різних номінальних об'ємів приведені в таблиці 1.

**Таблиця 1**

*Характеристики резервуарів та пристроїв для запобігання розливу*

Об'єм резервуара, м <sup>3</sup>	Діаметр резервуара, м	Висота резервуара, м	Нормативне значення обвалування, м	Розрахункове значення висоти захисної стіни, м
100	4,7	6,0	0,8	2,1
200	6,6	6,0	0,8	1,2
300	7,6	7,5	0,8	1,9
400	8,5	7,5	0,8	3,4
700	10,4	9,0	1...3,9	10,9
1000	10,4	12,0	1...3,9	16,4

Як показано у таблиці 1, нормативні обвалування резервуарів, які передбачені ВБН В.2.2.58.1-94, не здатні утримати рідину під час квазімиттевого руйнування надземних вертикальних резервуарів; для запобігання розливу при такому руйнуванні слід передбачати захисні стінки.

Розрахунки виконували для типових вертикальних резервуарів номінальних об'ємів 2000 м<sup>3</sup>, 3000 м<sup>3</sup>, 5000 м<sup>3</sup>, 10000 м<sup>3</sup>. Оптимальні розміри (діаметр та висота) відповідних резервуарів приймали згідно з табл. 22 [1]. Результати розрахунків параметрів огорожувальної стінки зведені в таблиці 2. Довжину виносення хвилевідбивного дашка приймали залежно від місткості резервуара, згідно з [2]: для резервуарів місткістю до 700 м<sup>3</sup> – не менше 0,5 м; для резервуарів місткістю від 700 до 5000 м<sup>3</sup> – не менше 1,0 м; для резервуарів місткістю від 5000 до 30000 м<sup>3</sup> – не менше 1,5 м.

Таблиця 2

Результати розрахунків параметрів огорожувальної стінки

Об'єм резервуара, м <sup>3</sup>	a <sub>1</sub>	H <sub>p</sub> , м	a <sub>2</sub>	L	R <sub>p</sub> , м	K <sub>3</sub>	H <sub>c</sub> , м
2000	2,32	10,8	0,6	10	7,6	1,1	7,13
			0,08	15			0,95
			0,13	20			0,15
3000	6,6	6,0	0,02	10	9,5	1,1	7,2
			0,2	15			2,9
			0,32	20			0,84
5000	7,6	7,5	0,09	10	10,5	1,1	9,9
			0,15	15			7,4
			0,28	20			4,96
			0,376	25			1,71
10000	8,5	7,5	0,15	20	14,3	1,2	9,8
			0,24	25			5,1
			0,322	30			3,23
			0,354	35			1,1

На основі розрахованих параметрів огорожувальної стінки побудовано залежності висоти стінки від відстані розташування її до резервуара (рис.2).

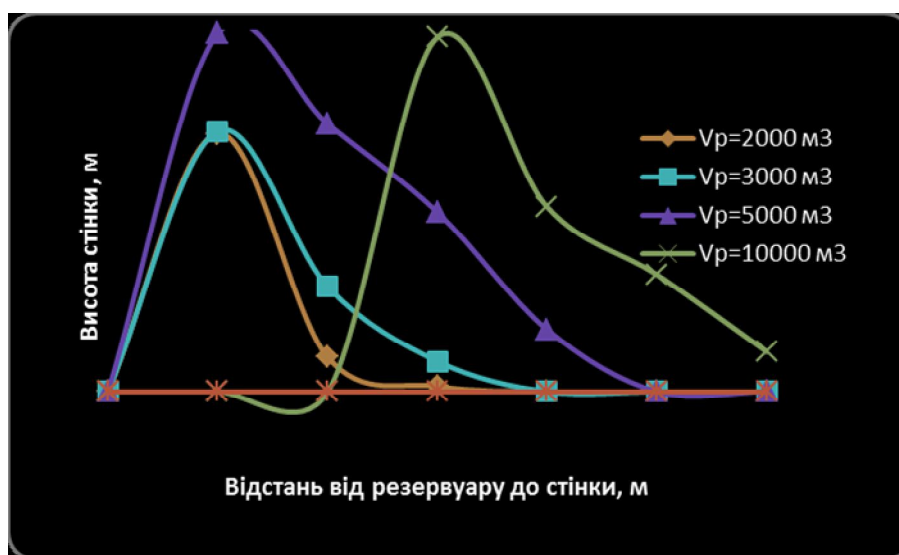


Рисунок 2 – Залежність висоти стінки від відстані розташування її до резервуара

Наведені залежності дають можливість визначити висоту захисної стінки для утримання рідини під час квазімиттєвого руйнування надземних вертикальних резервуарів від об'єму резервуара та відстані від резервуара до вказаної стінки.

**Висновок.** В нормативних вимогах до резервуарів та резервуарних парків, які діють в Україні – ВБН В.2.2.58.1-94 [1], не передбачено влаштування додаткових захисних перешкод (захисних стінок). З огляду на вказане, для забезпечення резервуарів та резервуарних парків необхідно внести зміни в нормативну базу.

### Список літератури:

1. **ВБН В.2.2.58.1-94.** Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа.
2. **ГОСТ Р 53324-2009.** Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности.
3. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов / Швырков С.А., Горячев С.А., Сорокоумов В.П. и др. // Пожаровзрывобезопасность. –2007. –Т.16. – №6. – С.48–52.
4. Михайлюк О.П. Проблеми забезпечення пожежної безпеки резервуарних парків/ О.П.Михайлюк, С.Я.Кравців// Сборник научных трудов «Проблемы пожарной безопасности». – 2013.– Вып. 34. – С.136–139.

### References:

1. VBN V.2.2.58.1-94. Proektuvannya skladiv naftu i naftoproduktiv z tuskom nasichenikh pariv ne vusche 93,3 kPa.
2. GOST R 53324-2009. Ograzhdeniya rezervuarov. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti.
3. Statistika kvazimnogvennykh razrusheniy rezervuarov dlya khrahehiya nefi i neftiproduktov / Shvurkov S.A., Goryachev S.A., Sorokoumov V.P. i dr. // Pozharovzrুবbezopasnost. –2007. –Т.16. – №6. –С.48–52.
4. Mihayluk O.P. Problemu zabezpechennya pozhazhnoi bezpeki rezervuarnuch parkiv/ O.P.Mihayluk, S.Ya.Kraviciv// Sbornik nauchnykh trudov «Problemu pozharnoy bezopasnosti». – 2013.– Vipusk 34. – S.136–139.

