

*Н. О. Ференц, С. Я. Вовк, А. С. Лин, Д. В. Харишин  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ ВИБУХУ СФЕРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ПІДПРИЄМСТВ НАФТОГАЗОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

На газових та нафтових промислах отримують велику кількість вуглеводневих газів, які можуть використовувати як паливо або після їх переробки - як сировину для цілого ряду процесів нафтопереробки та нафтохімії. Пожежі на таких об'єктах характеризуються високою швидкістю розвитку, швидкоплинністю процесів руйнування технологічного обладнання і будівельних конструкцій, витіканням великої кількості горючих рідин і скраплених газів, значною тепловою радіацією, загазованістю прилеглої території. Виникнення навіть локальних пожеж або вибухів при несприятливому збігу обставин може призвести, через ланцюговий розвиток, до катастрофічних масштабів. Тому проблема надійного протипожежного захисту підприємств нафтогазової промисловості, окремих апаратів та установок є актуальною.

Мета роботи. Дослідження небезпеки аварій сферичних резервуарів на газо-, нафтопереробних підприємствах.

Аналізуючи фізико-хімічні властивості скраплених газів, умови проведення технологічного процесу, досвід аварій на аналогічних об'єктах, можна констатувати, що в технологічному процесі, де обертається скраплений газ, можливі викиди речовин, які призводять до утворення можливої вибухонебезпечної зони, вибухи парогазових хмар, фізичний вибух пари киплячої рідини, згорання хмари у вигляді «вогненної кулі», пожежі розливів і розповсюдження хмар токсичних речовин.

З метою забезпечення процесу сферичні резервуари для скрапленого газу обладнують приладами контролю рівня, тиску, температури; сигналізаторами аварійного рівня; системою ручного викиду тиску на факел і свічу; системою запобіжних клапанів з викидом на факел і свічу; зрівнювальними лініями між резервуарами і естакадами наливу з електрозасувками для від'єднання резервуара.

У роботі проведено дослідження небезпеки аварій сферичних резервуарів підприємств нафтогазової промисловості. Обчислено зони дії надлишкового тиску вибуху у сферичному резервуарі з скрапленим газом.

**Ключові слова:** сферичний резервуар, аварія, аварійна ситуація, скраплений газ, вибух, тиск вибуху

### Постановка проблеми

Нафтогазова промисловість займає провідне місце в паливно-енергетичному балансі України і відіграє надзвичайно важливу роль у економіці та політиці. Значення газу виходить далеко за межі провідного теплоносія. Його використовують як сировину для виробництва багатьох хімічних продуктів. З газових та нафтових родовищ отримують велику кількість вуглеводневих газів, які можуть використовувати як паливо, або після їх переробки – як сировину для нафтопереробної та нафтохімічної промисловості. Крім цього, всі процеси деструктивної переробки нафтової сировини супроводжуються утворенням вуглеводневих газів. Їх вихід становить у середньому 5...20% мас. на сировину. До складу нафтових газів входять вуглеводні  $C_1...C_4$ , як насичені, так і ненасичені, а також важчі компоненти  $C_5$  і вище. «Суха» частина газу –  $C_1...C_2$  у більшості випадків використовується як паливний газ. Особливо цінною є «жирна» частина газу – фракція  $C_3...C_4$ . Зокрема, ізобутан та бутілени, що входять до їх складу, використовуються як сировина для установок алкілування, на яких отримують високооктанові компоненти автомобільних бензинів.

Вибухопожежна небезпека вихідної сировини та продуктів переробки на газопереробних, нафтопереробних підприємствах і складах скрапленого газу може спричинити різноманітні надзвичайні ситуації. Пожежі на таких об'єктах характеризуються високою швидкістю розвитку, швидкоплинністю процесів руйнування технологічного обладнання і будівельних конструкцій, витіканням великої кількості горючих рідин і скраплених газів, значною тепловою радіацією, загазованістю прилеглої території. Навіть локальні пожежі або вибухи при несприятливому збігу обставин можуть призвести, через ланцюговий розвиток, до катастрофічних масштабів.

Серед великих аварій відома пожежа сферичного резервуара з пропаном місткістю 1200 м<sup>3</sup> на нафтопереробному заводі у Фейзені (Франція), яка сталася 4 січня 1966 року [1]. В результаті вибуху такого резервуара утворилась вогненна куля, від якої загинуло 17 осіб (серед них 11 пожежників), а отримало травми 80 осіб. Люди, які постраждали, перебували на відстані до 300 м від резервуара. В подальшому вибухнули ще чотири сферичні резервуари і зайнялися інші резервуари з бензином та нафтою.

За останніми даними [2], в Україні протягом року внаслідок аварій на спорудах виробничого призначення сталося 550 пожеж, прямі матеріальні збитки від яких становили 237 млн 956 тис. грн. Тому проблема надійного протипожежного захисту підприємств нафтогазової промисловості, окремих апаратів та установок є актуальною.

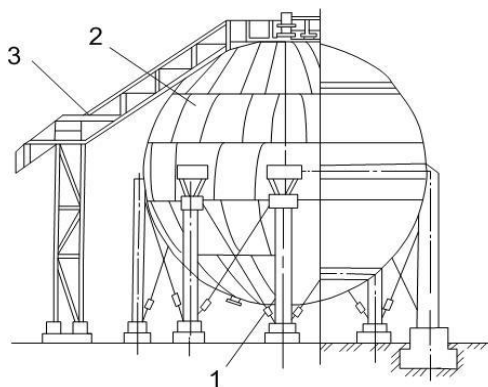
**Мета роботи.** Дослідження небезпеки аварій сферичних резервуарів на газо-, нафтоперобних підприємствах.

**Методики досліджень.** Методика оцінки вибухопожежонебезпеки технологічного процесу виробництва [2]; розрахункові методи, згідно з ДСТУ Б В.1.1.36: 2016 [3].

### Результати роботи

У технологічному процесі газо-, нафтоперобних підприємств одночасно може знаходитися більше 10000 м<sup>3</sup> скраплених газів, які мають від'ємну температуру і характеризуються великою небезпекою. Це суміші вуглеводнів – пропан-бутан (C<sub>3</sub> – C<sub>4</sub>); широка фракція легких вуглеводнів – суміш вуглеводнів C<sub>3</sub> і вище; фракція легка – суміш вуглеводнів C<sub>3</sub> і вище; відбензинений газ – суміш вуглеводнів C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>. Для їх зберігання використовують різноманітне обладнання. Зокрема, пропан, бутан, газоконденсат зберігають у циліндричних горизонтальних резервуарах V=175 м<sup>3</sup>, D=3000 мм; P=14...15 кгс/см<sup>2</sup>, t = -40°C...+40°C, матеріал СТ 16 ГС; легку фракцію зберігають у кулястих резервуарах V=606 м<sup>3</sup>, D=10005 мм; P=2 кгс/см<sup>2</sup>, t = -47°C...+47°C, матеріал СТ («М»).

Кулясті (сферичні) резервуари (рис. 1) мають ряд переваг – їх використання дає можливість зменшити площу резервуарного парку вдвічі й більше при незмінному об'ємі речовин; число пристроїв для обліку основних параметрів кількості та якості продукту в кулястих резервуарах зменшується втричі; товщина стінки сферичного резервуара менша за товщину циліндричного резервуара такого ж діаметра; розгалуження необхідних трубопроводів між кулястими резервуарами скорочується більше як у три рази.



**Рисунок 1** – Схема сферичного резервуара:  
1 – опора; 2 – сферичний корпус; 3 – сходи

Товщина елемента оболонки для виготовлення сферичних резервуарів становить 10...36 мм і розраховується залежно від температури експлуатації резервуарів і від об'єму резервуара. Сферичні резервуари споруджують як одностінними, так і двостінними. Двостінна конструкція сферичного резервуара є вибухопожежобезпечною. Діаметр внутрішнього резервуара проектується на 2 метри меншим за діаметр зовнішнього резервуара. Двостінні сферичні резервуари використовують для зберігання скрапленими газу при від'ємних температурах.

Причини розвитку аварій у сферичних резервуарах є різноманітними – експлуатаційні, які пов'язані безпосередньо з роботою установок, технологічним процесом, людським фактором, а також зовнішні – не пов'язані з роботою установок та персоналу (вплив низьких чи високих температур на технічний стан обладнання чи параметри процесу, теплові прояви атмосферної електрики, поведінка сусідніх установок, диверсії).

Експлуатаційні причини розвитку аварій у сферичних резервуарах в свою чергу зумовлені:

- відмова обладнання чи окремих елементів технологічної схеми при нормальних параметрах технологічного процесу (корозія матеріалу резервуарів, розгерметизація фланцевих з'єднань, арматури, неправильний вибір конструкційного матеріалу, помилки при проектуванні обладнання);

- відмова окремих елементів технологічної схеми при відхиленні параметрів від допустимих значень, які призводять до зростання тиску в резервуарі і до його розгерметизації (відмова систем автоматичного регулювання, систем захисту, блокувань, сигналізації);

- помилки технологічного чи ремонтного персоналу при виконанні виробничих операцій.

Вказані причини аварій призводять як до локальних пошкоджень сферичних резервуарів, так і до повного їх руйнування.

Аналізуючи фізико-хімічні властивості скраплених газів, умови проведення технологічного процесу, досвід аварій на аналогічних об'єктах, можна констатувати, що в технологічному процесі, де обертається скраплений газ, можливі викиди речовин, які призводять до створення можливої вибухонебезпечної зони, вибухи парогазових хмар, фізичний вибух пари киплячої рідини, згорання хмари у вигляді «вогненної кулі», пожежі розливу і розповсюдження хмар токсичних речовин (рис. 2).

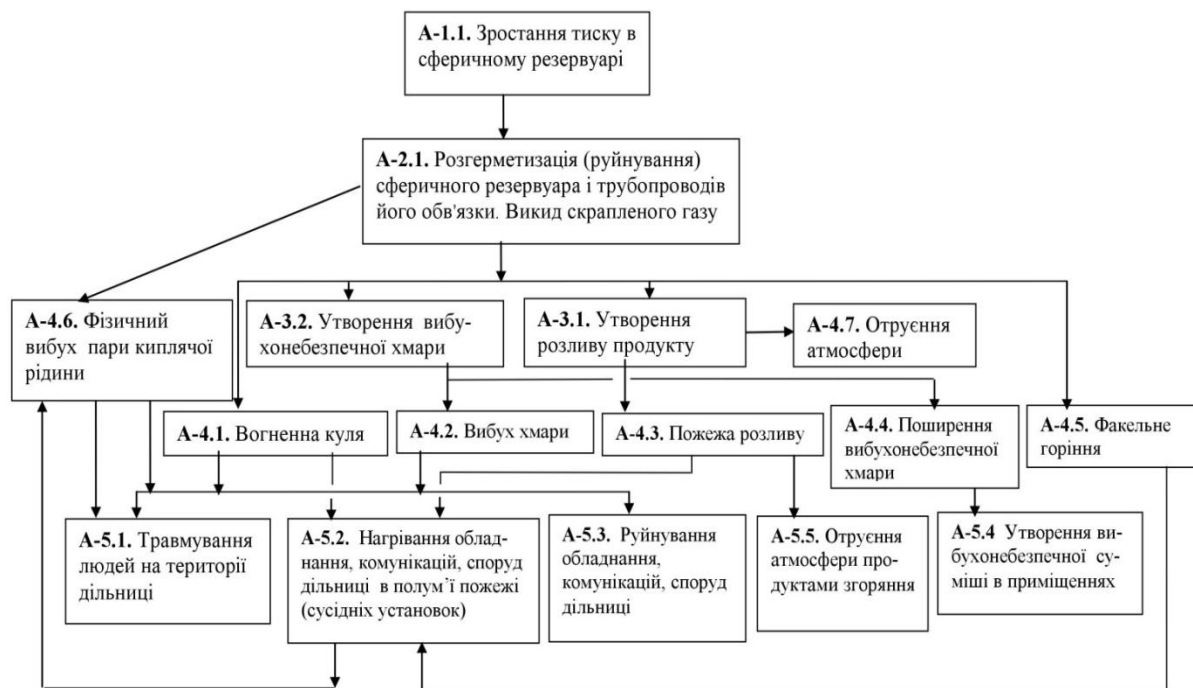


Рисунок 2 – Сценарій виникнення аварійних ситуацій і розвитку аварій в сферичних резервуарах

Розглянемо різновиди аварій в сферичних резервуарах із скрапленим газом:

- пожежа розливу – дифузійне горіння пари скраплених газів (з незначним ступенем перегрівання відносно температури кипіння) в атмосфері;
- факельне горіння – дифузійне горіння газових, парогазових та рідинних струменів в атмосфері;
- вогненна куля («файєрбол») – дифузійне горіння з поверхні щільних (слабко перемішаних з повітрям) газових хмар у відкритому просторі;
- дефлаграція – (спалахи, хвилі полум'я) – згорання попередньо перемішаних сумішей горючих речовин з повітрям з дозвуковими швидкостями у відкритому просторі;
- детонація (вибух) – згорання попередньо перемішаних сумішей горючих речовин з повітрям з надзвуковими швидкостями у відкритому просторі.

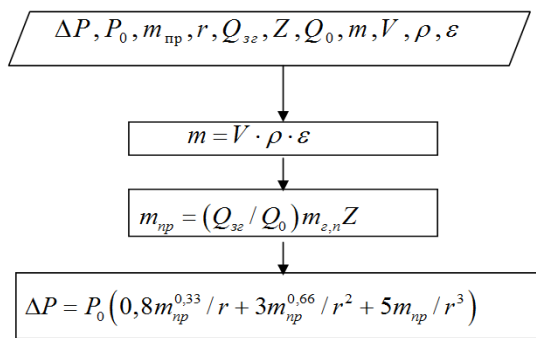
У сферичних резервуарах із скрапленим газом спостерігається самовільна полімеризація ненасичених вуглеводнів з нагромадженням на внутрішніх стінках пірофорних сполук. Це призводить до того, що при регламентованих операціях розкриття резервуарів для ремонту можуть відбуватися загорання пірофорних відкладень або вибухи всередині апаратів.

При оцінці кількості продукту у аварійному викиді розглядалося руйнування сферичного резервуара за найбільш небезпечного варіанта розвитку аварії. При цьому враховувався як його вміст, так і надходження по прямому і зворотному потоках за час перекриття арматури. Для устаткування, що містить перегріті вище за температуру

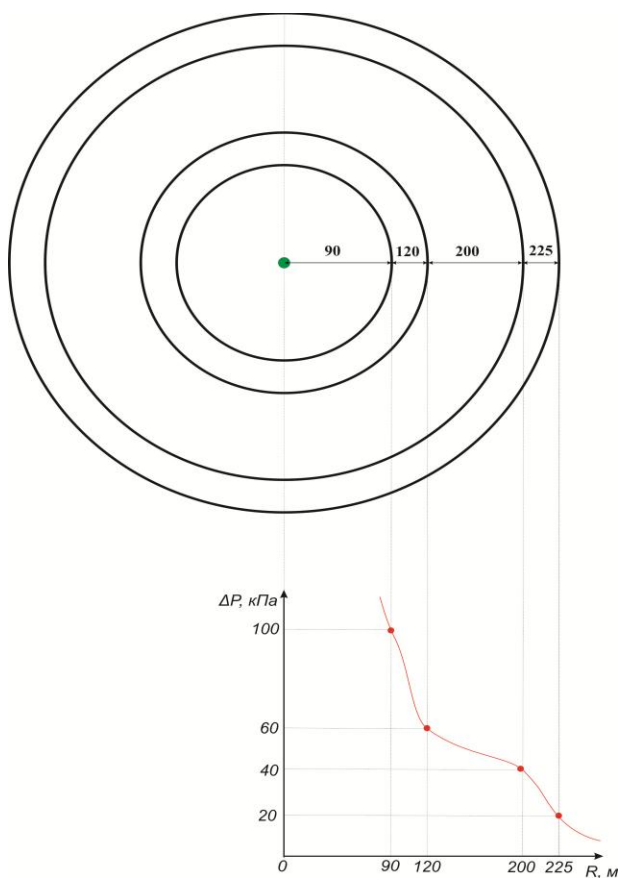
кипіння небезпечні речовини, кількість парогазової фази у викиді приймалася рівною сумі маси, викинутої з устаткування, маси парогазової фази, що утворилася через скипання перегрітої рідини і маси парогазової фази, що випарувалася з розливу протягом не більш 5 хвилин [4].

При визначенні маси бутадієну, що бере участь в утворенні вибухонебезпечних зон, враховувалась маса парогазової фази, викинута з устаткування і маса парогазової фази, що випарувалася з розливу протягом 5 хвилин. При визначенні маси речовини, яка бере участь у вибуху, приймалося, що вона становить 0,1 від маси парогазової фази, що бере участь в утворенні вибухонебезпечної зони. При визначенні маси речовини, що бере участь в пожежі розливу, приймалося, що вона дорівнює масі викиду. Зокрема, маса бутадієну, яка викидається з сферичного резервуара, становить 73,7 тонни.

Розрахунок тиску вибуху газоповітряних хмар у відкритому просторі здійснювався згідно з [4] за узагальненою схемою (рис.3). В блок-схемі прийняті такі умовні позначення:  $\Delta P$  – надлишковий тиск вибуху, кПа;  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа;  $m_{np}$  – приведена маса газу, кг;  $r$  – відстань від геометричного центра газоповітряної хмари, м;  $m$  – маса бутадієну, яка бере участь у вибуху, кг;  $Q_{зг}$  – питома теплота згорання газу, Дж/кг;  $Z$  – коефіцієнт участі, який допускається приймати рівним 0,1;  $Q_0$  – константа, рівна  $4,52 \cdot 10^6$  Дж/кг;  $V$  – об'єм газгольдера, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – густина рідкої фази, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  – ступінь заповнення газгольдера рідкою фазою.



**Рисунок 3** – Блок-схема розрахунку тиску вибуху при згоранні газоповітряних сумішей у відкритому просторі



**Рисунок 4** – Зони дії тиску вибуху ударної хвилі при руйнуванні сферичного резервуара із бутадієном

Як показано на рис.4, зона повних руйнувань і смертельного ураження персоналу – до 90 м, зона отримання травм різного ступеня важкості – до 230 м, а безпечна відстань становить більше 250 м.

З метою забезпечення процесу сферичні резервуари для скрапленого газу обладнують приладами контролю рівня, тиску, температури; сигналізаторами аварійного рівня; системою ручного викиду тиску на факел і свічу; системою запобіжних клапанів з викидом на факел і свічу; зрівнювальними лініями між резервуарами і естакадами наливу з електрозасувками для від'єднання резервуара.

**Висновок.** У роботі проведено дослідження небезпеки аварій сферичних резервуарів підприємств нафтогазопереробної промисловості. При їх розгерметизації можливо кілька типів аварій, зокрема: вибух, вогненна куля, пожежа розливу, факельне горіння, дрейф вибухонебезпечної хмари. Обчислено зони дії надлишкового тиску вибуху у сферичному резервуарі з бутадієном, зокрема, зона повних руйнувань і смертельного ураження персоналу становить 90 м, зона отримання травм різного ступеня важкості – до 230 м, а безпечна відстань становить більше 250 м.

#### Список літератури:

1. Маршалл В. М. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. 672 с.
2. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2017 рік. Київ, УкрНДІЦЗ, 2018. 345 с.
3. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. [Чинний від 2014-01-01]. Москва, 2014, 62 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ Б В.1.1.36: 2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечкою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2017, 60 с. (Інформація та документація).
5. Ференц Н.О., Ємелянєнко С.О. Прогнозування аварійних ситуацій і аварій на дільниці риформінгу нафтопереробного підприємства. *Пожезна безпека*. 2010. №16. С.71–77.
6. Ференц Н.О., Вовк С. Я., Міллер О. В. Аналіз аварійних ситуацій і аварій в резервуарних парках складів нафти та нафтопродуктів. *Пожезна безпека*. 2017. №31. С.125–129.

#### References:

1. Marshall V. M. Osnovnye opasnosti khymycheskykh proyzvodstv. M.: Myr, 1989. 672 s.
2. Analitychnyy ohlyad stanu tekhnohennoyi ta pryrodnoyi bezpeky v Ukrayini za 2017 rik. Kyuyiv, UkrNDITSZ, 2018. 345 s.
3. HOSTR 12.3.047-2012. Pozharnaya bezopasnost tekhnolohycheskykh protsessov. Obshchye trebovaniya. [Chynnyy vid 2014-01-01]. Moskva, 2014, 62 s. (Informatsiya ta dokumentatsiya).
4. DSTU B V.1.1.36: 2016. Vyznachennya katehoriy prymishchen', budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoyu ta pozheznoyu nebezpekoyu. [Chynnyy vid 2017-01-01]. Kyuyiv, 2017, 60 s. (Informatsiya ta dokumentatsiya).
5. Ferents N.O., Yemelyanenko S.O. Prohnozuвання avariynykh sytuatsiy i avariyy na dil'nytsi ryforminhu naftopererobnoho pidpryyemstva. *Pozhezna bezpeka*. 2010. №16. S.71–77.
6. Ferents N.O., Vovk S. YA., Miller O. V. Analiz avariynykh sytuatsiy i avariyy v rezervuarnykh parkakh skladiv nafty ta naftoproduktiv. *Pozhezna bezpeka*. 2017. №31. S.125–129.

## **EXPLOSIVE HAZARD OF SPHERICAL TANKS OF OIL AND GAS REFINING ENTERPRISES**

Gas and oil refining enterprises receive a large amount of hydrocarbon gases, which can be used as fuel or after processing as a raw material for a number of oil refining and petrochemical processes. The fires on such objects are characterized by high speed of development, destruction of technological equipment and building structures, intensive flowing out of combustible liquids and liquefied gases, significant thermal radiation, gas pollution of the adjoining territory; Even local fires or explosions under adverse circumstances due to chain development can lead to catastrophic scales. Therefore, the problem of reliable fire protection of the oil and gas refining industry enterprises, individual units and installations is relevant.

The goal of the work is investigation of the danger of accidents in spherical tanks at oil and gas refining industry enterprises.

The physical and chemical properties of the liquefied gases, the conditions of the technological process, the experience of accidents on similar objects were analyzed. The results showed that during the technological process with liquefied gas the emissions of substances causing the formation of a potential explosive zones, explosions of gas and gas clouds, physical explosions of vapour, fireballs, spill fires and the spread of clouds of toxic substances were possible.

In order to ensure the process, spherical tanks for liquefied gas are equipped with devices for monitoring the level, pressure, temperature; alarms of emergency level; systems of manual release of pressure; systems of safety valves with a discharge on a torch or a candle; equalizing lines between tanks and overpasses with electric locks.

The breakdown hazard of spherical tanks of oil and gas refining enterprises was studied. The zone of destructive action of explosion pressure in a spherical tank with liquefied gas was calculated.

**Key words:** spherical tank, accident, emergency situation, liquefied gas, explosion, explosion pressure.