

МАХОВСЬКИЙ В.О., к.т.н, доцент
КРЮКОВСЬКА О.А., к.т.н, доцент
РОМАНЮК Р.Я., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА РОЗВИТКУ АВАРІЙ НА СХОВИЩІ ЗРІДЖЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

Вступ. За останні роки відбулися докорінні зміни промисловості, обумовлені зміною структури використання первинних енергоресурсів. Для більшості розвинутих країн світу однією із складових змін у промисловості стала поява та постійний приріст частки хімічно-, пожежо- і вибухонебезпечних технологій та виробництв, які використовують зріджені гази, насамперед вуглеводні – пропан, бутан, етилен, бутилен, пропілен та інші.

Аварії в техносфері, які відбуваються останніми роками, за важкістю наслідків порівняні з природними катастрофами. Аварії на об'єктах зберігання та транспортування зріджених вуглеводневих газів супроводжуються викидами шкідливих речовин у довкілля і часто завершуються пожежами та вибухами.

У роботах багатьох науковців проаналізовано основні причини виникнення і розвитку пожеж та вибухів на об'єктах зберігання і транспортування зріджених вуглеводневих газів, а також їх наслідків для навколишнього середовища, проведено моделювання процесів утворення сліпих зон на об'єктах, детально розглянуті причини, що призвели до нещасних випадків з оточуючими людьми внаслідок аварій на нафтопереробних підприємствах, терміналах, сховищах зріджених газів [1-6].

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз ймовірних аварійних ситуацій на сховищах зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ) та прогнозування можливих сценаріїв розвитку аварій у місцях їх зберігання, а також розробка рекомендацій з попередження цих небезпечних ситуацій.

Результати роботи. У роботах [1, 2] зазначається, що найчастішими причинами аварій на нафтопереробних підприємствах, терміналах, сховищах зріджених газів є блискавка та помилки при технічному обслуговуванні газобалонного обладнання. Існують дві основні причини пожеж, що спричинені блискавками, – прямий удар та вторинний ефект (пов'язаний заряд, електромагнітний та електростатичний імпульс, земні струми). Найчастіше зустрічається друга причина аварій. До інших причин аварій відносяться: операційні помилки (переповнення резервуарів, що призводить до вибуху), несправність обладнання, саботаж, тріщини і розриви, статична електрика, відкриті полум'я під час зварювальних робіт на зовнішній стороні резервуару тощо.

Зріджені вуглеводневі гази, пролиті при порушенні герметичності сховищ, вбираються в ґрунт, яким засипані сховища, чим сповільнюється його випаровування і створюється можливість локалізації протоки з метою запобігання створення вибухопожежонебезпечної ситуації.

Пожежі на складах зріджених вуглеводневих газів зазвичай розвиваються за наступною схемою: витік газу у результаті аварії або несправності, займання від зовнішніх джерел запалювання, електростатичних розрядів, іскор.

Виділяють наступні причини утворення газоповітряного середовища: пошкодження фланцевих з'єднань, розрив або корозія в трубопроводі, руйнування резервуара, нещільність запірних пристроїв, несправність запобіжних клапанів. Сила вибуху зале-

жить від маси парів ЗВГ у вибухонебезпечній суміші, що у свою чергу залежить від наступних факторів: рівень зріджених газів у сховищі, температура у сховищі, концентрація парів ЗВГ у вибухонебезпечній суміші.

У разі порушення герметичності трубопроводу відбудеться викид газу, що може призвести до утворення пожежовибухонебезпечної суміші газу з повітрям, вибуху або пожежі з утворенням факела. Утворення вогняного факела, вибух суміші газу з повітрям або масштабні пожежі можливі лише при наявності ініціатора пожежі або вибуху. Обсяг витоку газу залежить від розмірів отвору, що утворився у разі порушення герметичності трубопроводу, тривалості виходу газу з отвору, надлишкового тиску в ушкодженному трубопроводі. Логічна схема виникнення та розвитку можливих аварій на резервуарах з ЗВГ наведена на рис.1.

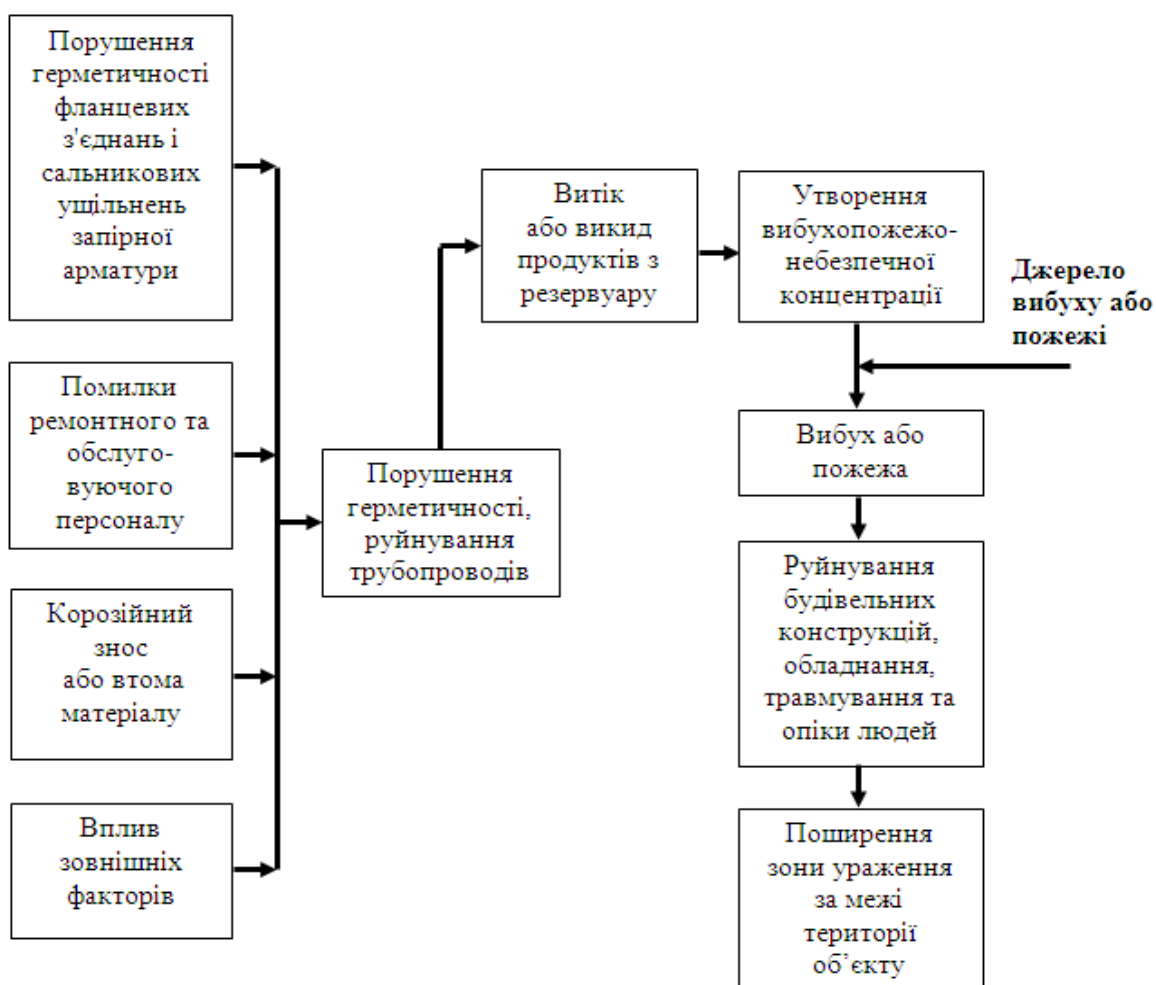


Рисунок 1 – Логічна схема ймовірного розвитку аварії

Детально проаналізуємо основні стадії можливого розвитку аварії на резервуарах з ЗВГ.

Стадія 1. Порушення герметичності фланцевих з'єднань і сальникових ущільнень запірної арматури. Резервуар повинен бути оснащений запірною арматурою, запобіжними клапанами і засобами контролю у відповідності з проектом. До основних заходів з недопущення аварійних ситуацій на цій стадії відносяться наступні: своєчасне, з використанням необхідних методів контролю, проведення огляду та випробування трубопроводів, ремонт та ревзія запірної арматури, дотримання графіків планових оглядів та ремонтів.

Стадія 2. Помилки ремонтного та обслуговуючого персоналу. До основних помилок персоналу слід віднести порушення при обслуговуванні та ремонті і ревізії запірної арматури, при ущільненні фланцевих з'єднань. Обслуговуючий персонал повинен бути у достатній мірі підготовлений і забезпечений експлуатаційно-технічною документацією. Також необхідне дотримання графіків періодичної перевірки знань персоналу з техніки безпеки, охорони праці, постійне проведення навчальних тренувань з цивільного захисту населення, навчання та стажування новоприйнятих працівників, забезпечення контролю правильності виконання ремонтних і профілактичних робіт [7].

Стадія 3. Корозійний знос або втома матеріалу. Найбільш імовірною причиною порушення герметичності резервуара є корозійний знос. Втома матеріалу і ступінь корозії контролюється періодичним оглядом спеціальними службами, тому з метою запобігання аварійних ситуацій на цій стадії необхідне дотримання графіків технічного обслуговування устаткування.

Стадія 4. Вплив зовнішніх факторів. До зовнішніх факторів, які можуть призвести до порушення герметичності резервуара, відносяться: надзвичайні ситуації (НС) транспортного характеру, нагрів ззовні (наприклад, пожежа на території), явища природного характеру (землетруси, урагани, переміщення ґрунту, блискавка), терористичні акти, порушення правил техніки безпеки, пожежної безпеки під час проведення ремонтних робіт. У якості заходів з попередження НС можна віднести дотримання обслуговуючим персоналом вимог правил безпеки під час обслуговування резервуару (заземлення ємності, контроль за опорними конструкціями трубопроводів), моніторинг НС та проведення об'єктових тренувань працівників у разі їх можливого виникнення. Заземлення резервуара треба виконувати горизонтально прокладеним контуром у землі на глибині 0,5 м з листової сталі 40×4 мм або кутової сталі 50×50×5 мм.

Майданчик, на якому розташований резервуар, повинен бути обладнаний захистом від блискавки висотою 15 м, виконаний у вигляді залізобетонної опори зі стійкою із сталеві труби діаметром 20-32 мм, прикріпленої хомутом до стійки.

Стадія 5. Порушення герметичності, руйнування трубопроводів. Порушення герметичності та руйнування можливе у разі перевищення тиску у резервуарі та трубопроводі, механічного та корозійного зносу матеріалу резервуару, помилок обслуговуючого персоналу і впливу зовнішніх чинників. З метою попередження порушення герметичності трубопроводу та резервуару своєчасно проводяться їх періодичні огляди, контроль технічного стану і випробування відповідно до вимог технічної документації.

Стадія 6. Витік або викид продуктів з резервуару. Витік газів відбувається у разі порушення герметичності ємності або поломки запірної арматури. Наявність проливу контролюється візуально та у разі витоку газу посилюється характерний запах. Локалізація витоку палива не передбачається працівниками об'єкту. Необхідно негайно сповістити персонал і керівництво про аварію, провести евакуації працівників та викликати підрозділи державної служби з надзвичайних ситуацій та пожежної охорони [7]. На інших стадіях дії працівників об'єкту аналогічні.

Стадія 7. Утворення вибухопожежонебезпечної концентрації. Пожежонебезпечна суміш утворюється при збільшенні хмари проливу за рахунок випаровування і змішування її з повітрям. Утворення вибухонебезпечної концентрації зріджених газів можливе при їх вмісті у повітрі від 1,5 до 9,5%. Локалізація утвореної вибухонебезпечної хмари технічно нездійсненна. Необхідна негайна оцінка аварійної ситуації за допомогою певних методик, наприклад, наведених у [8].

Для прикладу розглянемо результати оцінки аварійної ситуації, яка може склестися у разі вибуху ємності місткістю 5 м³. Для розрахунків прийняті наступні вихідні дані: рівень ЗВГ в резервуарі – максимальний, 85%; обсяг вибухонебезпечної суміші парів ЗВГ з повітрям – 9,5%. Результати розрахунків наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Кількісна оцінка показників вибухонебезпечності парогазової хмари при витоку ЗВГ з резервуара місткістю 5 м³

№ з/п	Найменування параметру, позначення	Одиниця вимірювання	Значення
1	Енергетичний потенціал вибухонебезпечності, E	кДж	106221780
2	Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпечності, Q_v	-	28,64
3	Загальна приведена маса горючих парів, m	кг	2309,17
4	Троїловий еквівалент вибуху, W_T	кг	1053,54
5	R_1	м	26,29
6	R_2	м	38,75
7	R_3	м	66,4
8	R_4	м	193,8
9	R_5	м	339,1

Примітка. R_1 – радіус зони повного руйнування будівель та смертельної небезпеки для людей, надлишковий тиск по фронту ударної хвилі, $\Delta P \geq 100$ кПа; R_2 – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін та смертельної небезпеки для людей, $\Delta P = 70$ кПа; R_3 – радіус зони слабких руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібно їх часткове розбирання, та смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 28$ кПа; R_4 – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних прорізів, легкоскридних покриттів) та важкого травмування людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 14$ кПа; R_5 – радіус зони часткового руйнування скління, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості, $\Delta P \leq 2$ кПа.

Стадія 8. Вибух або пожежа. Займання або вибух суміші газів з повітрям можливі при наявності джерел вибуху або пожежі, у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки та дії зовнішніх факторів. У випадку невеликого загоряння можливе гасіння за допомогою первинних засобів пожежогасіння, тому працівники повинні знати правила безпечного поводження з ними [8].

Стадії 9 та 10. Руйнування будівельних конструкцій, обладнання, травмування та опіки людей, а також поширення зони ураження за межі території об'єкту. Сила вибуху на території об'єкту і його руйнівна дія залежать від об'єму витоку, метеорологічних умов та тривалості випаровування від моменту витоку до вибуху. Отже, можливе руйнування обладнання, травмування людей та розповсюдження зони ураження за межі об'єкту.

З проведеного аналізу випливає, що головною причиною порушення герметичності резервуара є механічний або корозійний знос, а також помилки експлуатаційного і ремонтного персоналу. Інші причини (вихід тиску за межі критичних значень, аварії на сусідніх блоках, природні фактори тощо), які можуть привести до порушення герметичності сховища з зрідженими газами, менш вірогідні, але повністю їх виключити не можна. Залповий витік великої кількості парів ЗВГ завдяки підземному розміщенню ємностей є малоімовірний.

Розглядаючи причини порушення герметичності трубопроводу з ЗВГ, слід зазначити, що в трубопроводі у процесі його експлуатації не створюється велике значення тиску, що здатний призвести до порушення герметичності трубопроводу за тілом труби. Тому найбільш ймовірним порушенням герметичності трубопроводу у результаті виходу технологічних параметрів за межі критичних значень слід вважати порушен-

ня герметичності фланцевих з'єднань і сальникових ущільнень запірної арматури. Порушення герметичності трубопроводу через корозійний знос найбільш ймовірно у результаті впливу на трубопровід зовнішніх факторів (атмосферні явища). Масштаби порушення герметичності та їх місця спрогнозувати не можливо.

Висновки. Проведено детальний аналіз причин виникнення та розглянуто ймовірний сценарій розвитку аварій на сховищі зріджених вуглеводневих газів. Побудована логічна схема виникнення та розвитку аварій. Розроблено рекомендації з попередження НС на об'єктах зберігання зріджених вуглеводневих газів та дій працівників у випадку їх виникнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Omelchuk M.V., Korotkova Yu.S., Vorontsova E.A. Modeling the process of formation of stagnation zones at hazardous production facility with application of CFD technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 2. P. 101-106. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/101>.
2. James I. Chang, Cheng-Chung Lin. A study of storage tank accidents. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2006. Vol. 19, Issue 1. P. 51-59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015>.
3. Statistical analysis and countermeasures on larger and above grades accidents of dangerous chemical enterprises from 2001 to 2013 / Tong S.J. and others. *J. Safety Sci. Technol.* 2015. № 11. P. 129-134.
4. Hosseinnia B., Khakzad N., Reniers G. Multi-plant emergency response for tackling major accidents in chemical industrial areas. *Saf. Sci.* 2018. № 102. P. 275-289.
5. Маховський В.О., Крюковська О.А., Романюк Р.Я. Аналіз причин виникнення та ймовірного сценарію розвитку аварій при розвантаженні нафтопродуктів на автозаправних станціях. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2019. Вип. 2 (35). С. 109-114.
6. Маховський В.О., Крюковська О.А., Романюк Р.Я., Маховська Ю.О. Ймовірні сценарії виникнення та розвитку аварій на блоках зберігання і видачі нафтопродуктів автозаправних станцій. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2020. Вип. 1 (36). С. 143-147.
7. Левчук К.О., Романюк Р.Я. Методика планування заходів цивільного захисту на потенційно небезпечних об'єктах. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2019. Вип. 1 (34). С. 146-150.
8. Левчук К.О., Романюк Р.Я., Толлок А.О. Цивільний захист: навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. 325 с.

Надійшла до редколегії 15.10.2020.