

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-266-2-61-64>

УДК [629.45-592::621.313.12].001.5:001.891.5

## МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ЗРІДЖЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «РІЗЕКС-2»

Король Д.Р., Грановський Е.О., Глікiна І.М., Глікiн М.А.

## MODELING OF ACCIDENTS AND RISK RESEARCH DURING STORAGE OF LIQUEFIED PETROLEUM GASES USING A SOFTWARE PACKAGE «RIZEX-2»

Korol D.R., Granovskiy E.O., Glikina I.M., Glikin M.A.

*У статті розглянуто питання щодо оцінки небезпеки, яка може виникнути при зберіганні зріджених вуглеводневих газів. Оцінку виникнення аварійних ситуацій, розвитку аварійних ситуацій та розміри вражаючих факторів, які потенційно можуть завдати шкоду людині, зроблено за допомогою програмного комплексу «Різекс-2». Виконано розрахунок ризику, вражаючих факторів різних сценаріїв розвитку аварійної ситуації.*

**Ключові слова:** ризик, СВГ, Різекс-2, полум'я, аварія, вражаючий фактор, ймовірність

**Вступ.** Для продуктів виробництва полімерів та інших органічних речовин, сировиною є зріджені вуглеводні гази, такі як етан, етилен, н-бутен та інші. Їх зберігання потребує особливих умов – спеціальний матеріал та особливі умови зберігання. Розповсюджена практика зберігання зріджених вуглеводних газів у шарових резервуарах, де, наприклад, етан та етилен зберігаються під тиском власних парів, а н-бутен – під азотною подушкою.

**Постановка проблеми.** При введенні в експлуатацію шарових резервуарів виникає задача контролю робочих параметрів в резервуарі та встановлення засобів захисту (засобів ПАЗ) для запобігання виникнення аварійної ситуації, бо, як відомо, аварії СВГ мають тяжкі наслідки як для людини, так і для екології. Можлива ситуація, коли матеріал, з якого виготовлений резервуар, може не відповідати певним вимогам з урахування особливості середовища. Як відомо, СВГ мають властивість скипати до мінусових температур, а це означає, що матеріал шарового резервуару по своїм властивостям повинен витримати такі температури. Задля виявлення надлишкових засобів захисту або тих, які потрібно додати ще на стадії проектування, та обґрунтування безпечної експлуатації шарових резервуарів, виконується оцінка ризику для людини та розрахунок

вражаючих факторів при виникненні аварійної ситуації на шарових резервуарах, з урахуванням особливостей конструкції резервуарів та засобів контролю і захисту, що на них передбачаються проектом.

**Мета статті.** Для прийняття рішення про безпеку людини при експлуатації шарових резервуарів СВГ потрібна кількісна оцінка ризику за допомогою існуючих програмних комплексів, одним з яких є комплекс «Різекс-2».

**Результати досліджень.** Кількісна оцінка ризику при експлуатації шарових резервуарів (у даному випадку розрахунки проводились для шарових резервуарів зберігання рідкого етану) згідно рекомендацій Наказу Міністерства праці та соціальної політики України № 637 [1,5,6].

Досвід експлуатації шарових резервуарів СВГ показує, що причинами виникнення аварій можуть бути розгерметизація різних частин апарату (корпусу резервуару, штуцерів, фланцевих з'єднань, помилки персоналу при експлуатації, зниження температури стінки резервуару менш ніж мінімально допустима та ін.) Розрахунок ймовірності виникнення аварійної ситуації на шаровому резервуарі зберігання етану виконувався за допомогою моделі програмного комплексу Різекс-2 «дерево відмов» [2,4], де наведені причинно-наслідкові зв'язки виникнення аварійної ситуації. Розрахунок ймовірності розвитку аварійної ситуації проводився за допомогою «дерева подій» [3]. Знаючи особливості конструкції резервуару та алгоритм роботи засобів КвПіА на шарових резервуарах, також використовуючи статистичні дані по відмові простих механізмів, ймовірності помилки робочого персоналу при експлуатації, була визначена ймовірність повного руйнування резервуару, що склала  $<10^{-6}$  на рік.

Дерево подій для аварійної ситуації зображено на рис. 2.

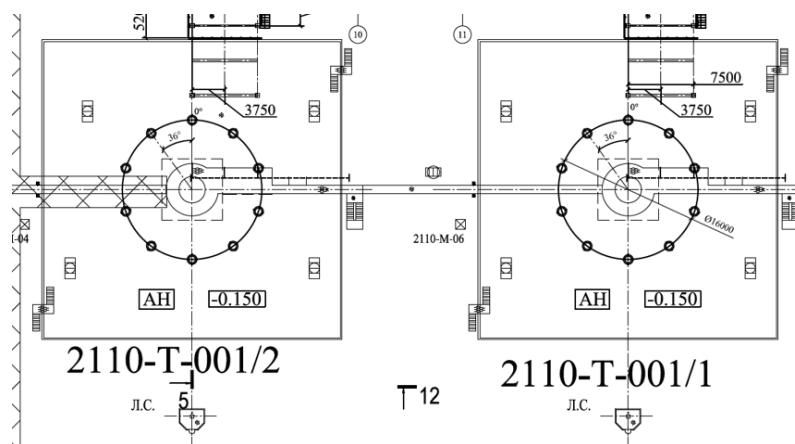
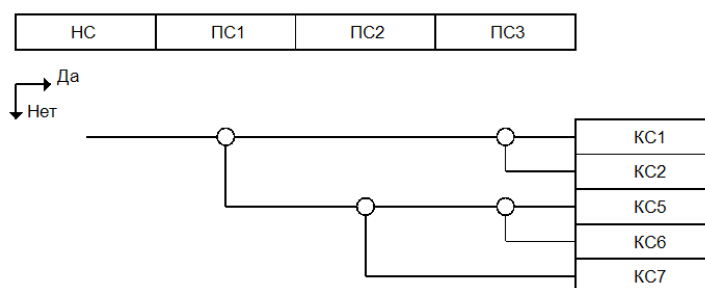


Рис. 1. Резервуари з рідким етаном, вид зверху на плані складу СВГ



НС - Руйнування резервуару 2110-T001/1, викид етану (0.0000007395)
ПС1 - миттєве займання ППС (0.2)
ПС2 - поява випадкового джерела запалювання (0.6)
ПС3 - система водяного зрошення включена (0.9)
КС1 - вогненна куля, пожежа протоки (1.331e-7)
КС2 - вогненна куля, пожежа протоки, тепловий вплив на сусідні об'єкти (1.479e-8)
КС5 - вибух, пожежа протоки (3.195e-7)
КС6 - вибух, пожежа протоки, тепловий вплив на сусідні об'єкти (3.55e-8)
КС7 - формування і поширення зони вибухонебезпечної загазованості (2.366e-7)

Рис. 2. Дерево подій для аварійної ситуації з шаровим резервуаром рідкого етану

Таблиця 1

## Ураження людей при вибуху

№ п/п	Найменування, позиція розглянутого обладнання	Найменування ініціюючої події аварії	Найменування результату аварії	Тротиловий еквівалент, т	Радіус зони ураження людей при вибуху, м		
					межа травмування, м	нижня межа смертельного ураження (> 1% ймовірність)	верхня межа смертельного ураження (> 99% ймовірність)
1	2	3	4	5	6	7	8
	Резервуар зберігання рідкого етану 2110-T-001/1,2	Руйнування резервуару зберігання рідкого етану 2110-T-001/1,2, викид рідкого етану в обвалування	вибух	2079203,54	1097	310	220

Таблиця 2

Ураження людей при утворенні вогненної кулі

№ п/п	Найменування, позиція розглянутого обладнання	Найменування ініціюючої події аварії	Найменування результату аварії	Час горіння, с	Радіус отримання опіків, м			
					III ступінь	II ступінь	I ступінь	більшій поріг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Резервуар зберігання рідкого етану 2110-Т-001/1,2	Руйнування резервуару зберігання рідкого етану 2110-Т-001/1,2, викид рідкого етану в обвалування	вогненна куля	41,80	631	721	876	1001

Таблиця 3

Ураження людей при пожежі протоку

№ п/п	Найменування, позиція розглянутого обладнання	Найменування ініціюючої події аварії	Найменування результату аварії	Висота полум'я, м	Зона отримання опіків, м			
					III ступінь	II ступінь	I ступінь	більшій поріг
1	2	3	4	6	7	8	9	10
	Резервуар зберігання рідкого етану 2110-Т-001/1,2	Руйнування резервуару зберігання рідкого етану 2110-Т-001/1,2, викид рідкого етану в обвалування	пожежа протоку	42,68	167	177	182	187

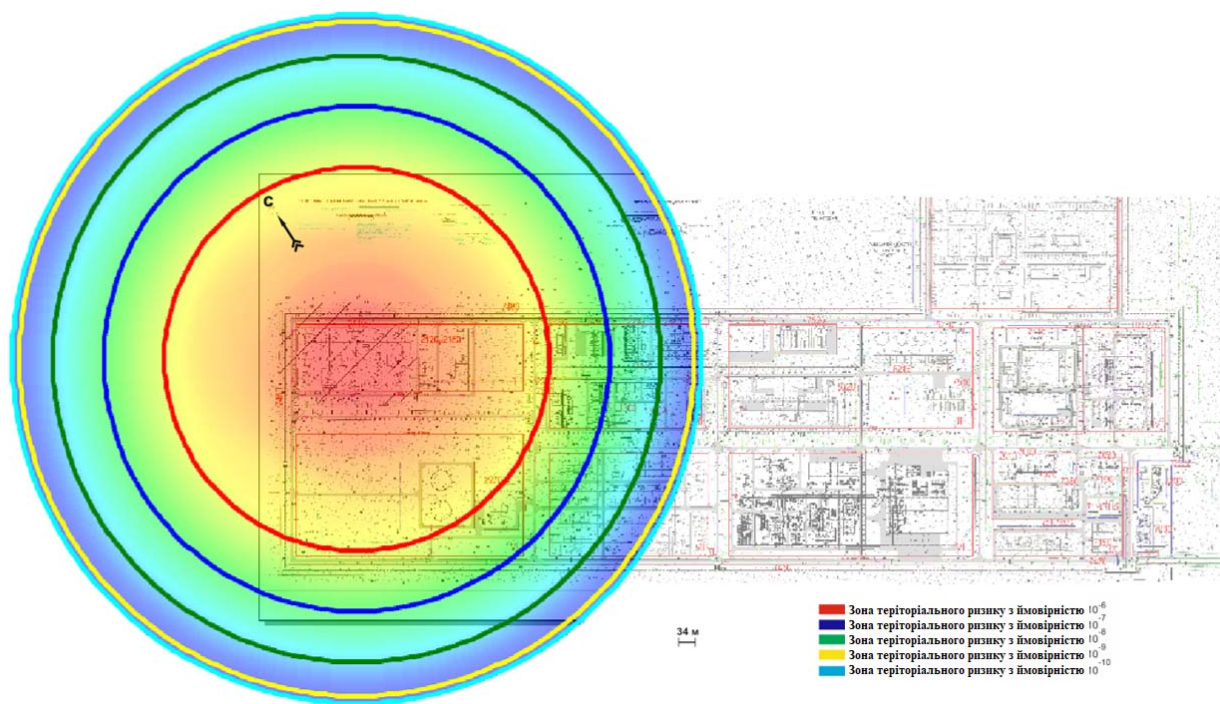


Рис. 3. Поле потенційного (територіального) ризику при експлуатації шарових резервуарів етану

Результати розрахунку зон ураження людей при вибуху наведені в таблиці 1.

Результати розрахунку зон ураження людей при утворенні вогненної кулі наведені в таблиці 2.

Результати розрахунку зон ураження людей при пожежі протоку наведені в таблиці 3.

Зона територіального ризику при експлуатації шарових резервуарів етану наведена на рис. 3

З рис. 3 видно, що область обслуговування шарових резервуарів обмежується зоною територіального ризику  $10^{-6}$ . З урахуванням рівномірного знаходження людини в зоні дії вражаючих факторів, індивідуальний ризик для персоналу, що обслуговує шарові резервуари, буде складати  $<10^{-6}$  на рік.

**Висновок.** Була проведена оцінка ризику експлуатації шарових резервуарів з етаном за допомогою програмного комплексу Різекс-2. Для кількісної

оцінки ймовірностей виникнення та розвитку аварії застосовувались такі моделі як «дерево відмов» та «дерево подій». Був проведений розрахунок вражаючих факторів та отримано поле територіального ризику. З нього можна зробити висновок про індивідуальний ризик та достатність мір захисту та контролю робочих параметрів, що передбачені проектом на шарові резервуари.

#### Л і т е р а т у р а

1. Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної безпеки, Наказ № 637 від 04.12.2002
2. Е. Дж Хенлі, Х. Кумамото Надійність технічних систем та оцінка ризику. Переклад з англ. під ред. В.С. Сиромятнікова.
3. Probabilistic Risk Assessment, Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners NASA
4. УДК.620.186.6 Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров. Кондрашова О.Г., Назарова М.Н.
5. ISO 31000 Risk management — Principles and guidelines
6. IEC/ ISO 31010 Risk management — Risk assessment techniques

#### R e f e r e n c e s

1. On approval of the Methodology for determining risks and their acceptable levels for declaring the safety of high-risk facilities, Order № 637 of 04.12.2002
2. E. J. Henley, H. Kumamoto Reliability of technical systems and risk assessment. Translation from English. ed. V.S. Syromyatnikov.
3. Probabilistic Risk Assessment, Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners NASA
4. UDC.620.186.6 Causal analysis of accidents of vertical steel tanks. Kondrashova OG, Nazarova MNISO 31000 Risk management — Principles and guidelines
5. IEC/ ISO 31010 Risk management — Risk assessment techniques
6. IEC/ ISO 31010 Risk management — Risk assessment techniques

#### **Korol D.R., Granovskiy E. O., Glikina I.M., Glikin M.A. Modeling of accidents and risk research during storage of liquefied petroleum gases using a software package «rizex-2»**

*The article considered the issue of assessing the risk of exploitation of spherical reservoirs with liquefied petroleum gases. The main hazards that can arise when storing liquefied petroleum gases such as ethane, ethylene, butene in ball tanks are briefly described. Analyzed the existing international standards for risk management, as well as Nakaz No. 637. A brief analysis of the causes of accidents on spherical reservoirs is carried out using literature sources. A plan for the relocation of spherical reservoirs on the ground is presented The principle of analysis of chemical-technological systems has been studied, and with the help of a fault tree, cause-and-effect relationships have been built in case of equipment failures and the probability of complete destruction of a spherical reservoir has been found. The article also contains an event tree showing scenarios and probabilities of accidents. In the event trees, the probabilities of various intermediate events are given: the probability of instant ignition of the fuel-air mixture, the probability of an accidental ignition source on the territory of the enterprise, the probability of triggering the water irrigation system installed on the ball tanks to prevent the effect of a fire on other equipment of the liquefied gases park. The calculation of the damaging factors arising in an emergency was carried out, an assessment was made of the areas of injury to personnel during explosions, the radii of burns during a strait fire and when a fireball occurs. The article presents the field of territorial risk during the operation of ethane ball tanks. In the figure, the zones of territorial risk are highlighted in different colors, reflecting the boundaries of the likelihood of the implementation of damaging factors at a certain point in the terrain. According to the zones of territorial risk, conclusions were drawn about the individual risk of human death in the zone of action of damaging factors. Based on the numerical values of the individual risk, a decision was made on the safety of the tank operation and on the sufficiency of the protection measures and control of operating parameters provided for by the project.*

**Keywords:** risk, LPG, Rizex-2, flame, accident, striking factor, probability

**Король Данило Романович** – аспірант кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), korol.danila@gmail.com

**Грановський Едуард Олексійович** – к.т.н., генеральний директор, ТОВ Науковий центр вивчення ризиків «Різікон»

**Глікіна Ірина Маратівна** – д.т.н., професор, професор кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), irene555@i.ua

**Глікін Марат Аронович** – д.т.н., професор, професор кафедри хімічної інженерії та екології, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк).