

повітряної суміші у ємності може брати участь до 30% маси усіх парів, що утворилися, а на відкритій місцевості – до 10%. Тому сила вибуху на території АЗС і його руйнівна дія залежать від маси та площі проливу, метеорологічних умов та тривалості випаровування від моменту проливу до вибуху. Отже, можливе руйнування обладнання, травмування людей та розповсюдження зони ураження за межі АЗС.

Висновки. Проведено детальний аналіз причин виникнення та розглянуто ймовірний сценарій розвитку аварій при розвантаженні нафтопродуктів на автозаправних станціях. Побудовано логічну схему виникнення та розвитку аварій у цьому блоці. Розроблено рекомендації з попередження НС при розвантаженні нафтопродуктів з автоцистерни на автозаправних станціях та дій працівників АЗС у випадку їх виникнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Говдяк Р.М. та ін. Івано-Франківськ: Вид-во "Лілея НВ", 2007. 556с.
2. Організація управління цивільним захистом на підприємствах, в установах та організаціях: навч. посіб. / Гудович О. Д. та ін. Київ: ІДУЦЗ, 2011. 537с.
3. Маховський В.О., Крюковська О.А. Аналіз, дослідження та оцінка небезпек при експлуатації газонаповнювальних пунктів. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*, 2019. Вип. 1 (34). С.156-165. DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.30.
4. Левчук К.О., Романюк Р.Я., Толок А.О. Цивільний захист: навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. 325с.
5. 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. DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.28.

Надійшла до редколегії 30.09.2019.

УДК 519.218

DOI 10.31319/2519-2884.35.2019.56

ДРАНИШНИКОВ Л.В., д.т.н., професор

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ОЦІНКА РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ ЄМНОСТЕЙ ЗРІДЖЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

Вступ. Розрахунок та аналіз ризику є тим методичним інструментом, за допомогою якого потенційна небезпека може бути оцінена кількісно. Концептуальна основа аналізу ризику передбачає використання методичних підходів, математичного апарату та інформаційної бази, що дозволяє відповісти на такі питання: 1) що може функціонувати «неправильно» (у неробочому режимі)?; 2) які причини цього?; 3) які можливі наслідки?; 4) наскільки ймовірним це є?

У технологічному сенсі аналіз ризику є послідовністю дій, впорядкованих за такими етапами: 1) числова оцінка ризику; 2) аналіз структури ризику; 3) управління ризиком [1].

Аналіз ризику полягає у побудові множини всіх сценаріїв виникнення і розвитку можливих аварій на об'єкті з подальшою оцінкою частот реалізації і визначенням масштабів їх наслідків. Результати аналізу ризику використовуються при декларуванні, ек-

спертизі, страхуванні промислової безпеки небезпечних виробничих об'єктів; економічному аналізі безпеки за критеріями «вартість-безпека-вигода»; оцінці впливу господарської діяльності об'єктів на навколишнє природне середовище та при інших процедурах, пов'язаних з аналізом безпеки.

Постановка задачі. Аналіз аварійного ризику є складною комплексною процедурою, що включає цілий ряд етапів. Оцінка ризику на виробничому об'єкті передбачає: 1) аналіз небезпек виробничого об'єкта; 2) побудову всієї множини сценаріїв виникнення і розвитку аварій, оцінка частоти кожного зі сценаріїв; 3) побудову полів уражальних факторів аварій для різних сценаріїв їх розвитку; 4) оцінку наслідків небезпечних факторів аварій для різних сценаріїв їх розвитку; 5) обчислення ризику.

Аналіз небезпек виробничого об'єкта передбачає: аналіз (пожежного, вибухового, токсичного) технологічного середовища і параметрів технологічних процесів на виробничому об'єкті; визначення переліку аварійних (пожежонебезпечних, вибухонебезпечних, токсичних) ситуацій та параметрів для кожного технологічного процесу; визначення переліку причин, виникнення яких дозволяє характеризувати аварійну ситуацію для кожного технологічного процесу; побудову сценаріїв виникнення і розвитку аварій, які спричинили загибель людей.

Метою даної роботи є розрахунок ризиків при розгерметизації ємностей зріджених вуглеводневих газів.

Результати роботи. Одна й та сама міра впливу (кількість поглиненого токсиканту, доза радіації, кількість виділеної теплоти, надлишковий тиск ударної хвилі та ін.) може викликати наслідки різної тяжкості у людей, тобто ефект ураження носить імовірнісний характер. Величина ймовірності ураження або ефект ураження (вимірюється в частках одиниці або відсотках) виражається функцією Гаусса (функцією помилок), яка записується у вигляді

$$P_{\text{пор}} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r-5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

Верхньою межею інтеграла є пробіт-функція, що відображає зв'язок між імовірністю ураження і дозою негативного впливу

$$P_r = a + b \cdot \ln D, \quad (2)$$

де a і b – константи для кожної речовини або процесу, що характеризують специфіку і міру небезпеки її впливу та визначаються експериментально, D – доза негативного впливу. Реальні значення коефіцієнтів формули (2), що відносяться до різних уражаючих факторів, систематизовані в табл. 1.

Загальноприйнятою для кількісного виміру небезпек є «шкала», у якій в якості вимірювання використовуються одиниці ризику. У загальному випадку ризик виражається у вигляді добутку частоти реалізації небажаної події на масштаб певного виду наслідків. При цьому під збитком можна розуміти не тільки прямий збиток від зруйнованого промислового об'єкта, а й кількості потенційних смертельних випадків серед людей у результаті виникнення або аварійних ситуацій, або природних катастрофічних явищ.

Найбільш розповсюдженою характеристикою небезпеки є індивідуальний ризик – частота ураження окремого індивідуума (людини) у результаті впливу досліджуваних факторів небезпеки. Кількісно індивідуальний ризик виражається відношенням числа постраждалих людей до загальної кількості тих, хто ризикує, за певний період часу. Колективний ризик – очікувана кількість уражених (травмованих або загиблих) у результаті можливих аварій за певний період часу. Соціальний ризик – залежність частоти виникнення подій F , в яких постраждало на певному рівні не менше N людей.

Таблиця 1 – Параметри пробіг-функцій для уражаючих факторів [2, 3]

| Фактор і його наслідки | a | b | D | Примітка |
|--|----------------------------------|------------------------------|--|--|
| 1. Руйнування промислових будівель від впливу ударної хвилі: повне середнє (важко реставрується) | 5 5 | -0,22 -0,26 | $(40000 / \Delta P)^{7,4} + (460 / I^+)^{11,3}$ $(17500 / \Delta P_\phi)^{8,4} + (290 / I^+)^{9,3}$ | ΔP – перепад, Па; I^+ – імпульс тиску, Па · с ΔP_ϕ – надлишковий тиск |
| Загибель людей: від розриву легенів | 5 | -5,74 | $\left\{ \frac{4,2}{1 + \Delta P / P_0} + \frac{1,3}{I^+ / (P_0^{1/2} \cdot m^{1/3})} \right\}$ | P_0 – атмосферний тиск, Па; m – маса тіла людини, кг |
| Ймовірність відкидання людей хвилею тиску (летальний результат) | 5 | -2,44 | $\left[\frac{7380}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I^+} \right]$ | |
| розрив барабанних перегинок | -12,6 | 1,52 | ΔP | |
| 2. Тепловий: опіки 1-го ступеня опіки 2-го ступеня Загибель людей без захисного одягу Загибель людей у захисному одязі | -39,8 -43,1 -36,4 -37,2 | 3,02 3,02 2,56 2,56 | $q^{4/3} \cdot \tau$ $q^{4/3} \cdot \tau$ $q^{4/3} \cdot \tau$ $q^{4/3} \cdot \tau$ | τ – час, с; q – потужність потоку, Вт/м ² |

В умовах виробництва для визначення рівня індивідуального ризику слід враховувати природу аварії, частку часу перебування в «зоні ризику» і місцезнаходження тих, хто ризикує. У зв'язку з цим індивідуальний ризик розраховується за формулою:

$$R_{\text{інд}} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot Q_{ni} \cdot P_{\text{пр}}, \quad (3)$$

де $R_{\text{інд}}$ – індивідуальний ризик, 1/рік; Q_i – частота реалізації і-го сценарію протягом року, 1/рік; Q_{ni} – умовна ймовірність ураження людини при реалізації і-го сценарію аварії; $P_{\text{пр}}$ – ймовірність присутності людини в зоні дії уражальних факторів і-го сценарію аварії (0÷1); n – число сценаріїв аварії.

Умовна ймовірність ураження від негативного впливу на людину (надлишковий тиск, що розвивається при згорянні пароповітряних сумішей на певній відстані від епіцентру, теплове випромінювання при пожежі витоку, токсичний вплив та ін.) розраховується з використанням «пробіг-функцій» (2). Індивідуальний ризик розраховується для різних категорій персоналу, при цьому враховується час перебування персоналу конкретної спеціальності (апаратники, слюсарі, ІТР та ін.) у зоні уражальних чинників конкретної аварії, при цьому використовуються дані карт зайнятості персоналу на робочих місцях. При розрахунку розподілу ризику по території навколо об'єкта (мапуванні ризику) індивідуальний ризик визначається потенційним територіальним ризиком і ймовірністю знаходження людини в районі можливого впливу небезпечних чинників.

Ймовірність присутності персоналу в зоні дії уражальних факторів можливої аварії визначається за формулою:

$$P_{\text{пр}} = \frac{\tau_i \cdot n_i}{T}, \quad (4)$$

де τ_i – час знаходження працюючого в межах зон уражаючих факторів в одну зміну, год.; T – кількість годин на рік; n_i – кількість робочих змін на рік.

Для працівника підприємства з 8-годинним робочим днем для більшості сценаріїв величину $R_{пр}$ можна прийняти рівною 0,3 (незалежно від числа змін на виробництві). При $R_{пр} = 1$ отримуємо величину потенційного територіального ризику – максимального значення індивідуального ризику ураження людини $R_{пот}$.

Колективний ризик розраховується за формулою:

$$R_{кол} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot N_i, \quad (5)$$

де $R_{кол}$ – колективний ризик, чол./рік; Q_i – ймовірність реалізації i -того сценарію аварії протягом року; N_i – кількість загиблих при реалізації i -того сценарію аварії.

Середній індивідуальний ризик розраховується за формулою:

$$R_{ср} = \frac{R_{кол}}{N_i}, \quad (6)$$

де $R_{ср}$ – середній індивідуальний ризик, 1/рік; N_i – кількість персоналу, що піддається ризику, люд.

Соціальний ризик при аварії з пожежами та вибухами на зовнішній технологічній установці S (1/рік) визначається за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n Q(A_i), \quad (7)$$

де n – число сценаріїв, для яких виконується умова $N_i \geq N_0$; N_i – кількість летальних випадків у результаті реалізації i -го сценарію (події); N_0 – кількість летальних випадків, для якого оцінюють величину соціального ризику.

Кількість летальних випадків у результаті реалізації i -го сценарію можна оцінити за формулою:

$$N_i = \sum_{j=1}^m Q_{ij} \cdot n_j, \quad (8)$$

де m – число розглянутих зон ураження; n_j – середнє число людей, що знаходяться в j -ій зоні.

Якщо статистичні дані, необхідні для розрахунку частот тих чи інших подій, відсутні, то величини цих частот для різних сценаріїв аварії можна визначити за формулою:

$$Q(A_i) = Q_{AB} \cdot Q(A_i)_{ст}, \quad (9)$$

де Q_{AB} – ймовірність виникнення аварії; $Q(A_i)_{ст}$ – статистична ймовірність розвитку аварії за i -ю гілкою дерева подій.

Для розрахунку величини індивідуального, територіального і соціального ризиків необхідно: визначити ймовірності виникнення ініціюючих подій для можливих основних сценаріїв аварії; побудувати логічні дерева подій при виникненні основних ініціюючих аварійних ситуацій; визначити статистичні ймовірності переходу аварії на різні гілки дерева подій; визначити умовні ймовірності ураження при реалізації різних гілок дерева подій. Ймовірності розгерметизації обладнання та ймовірності переходу аварії на різні гілки дерева події можна визначити за статистичними даними або в результаті

експертної оцінки, умовні ймовірності ураження людини – за значеннями пробіт-функції.

Для аналізу ризику використовують логічні і логіко-графічні моделі [4, 58], перші з яких є сукупністю логічних виразів і висловлювань, що характеризують послідовність розвитку аварійних подій, а другі дозволяють встановити причинно-наслідкові зв'язки між вихідними ініційовані подіями виникнення аварійних ситуацій та їх розвитком, що призводить до різних видів ризиків.

На рис.1 представлено «дерево подій» у результаті розгерметизації залізничної цистерни зі зрідженим вуглеводневим газом.

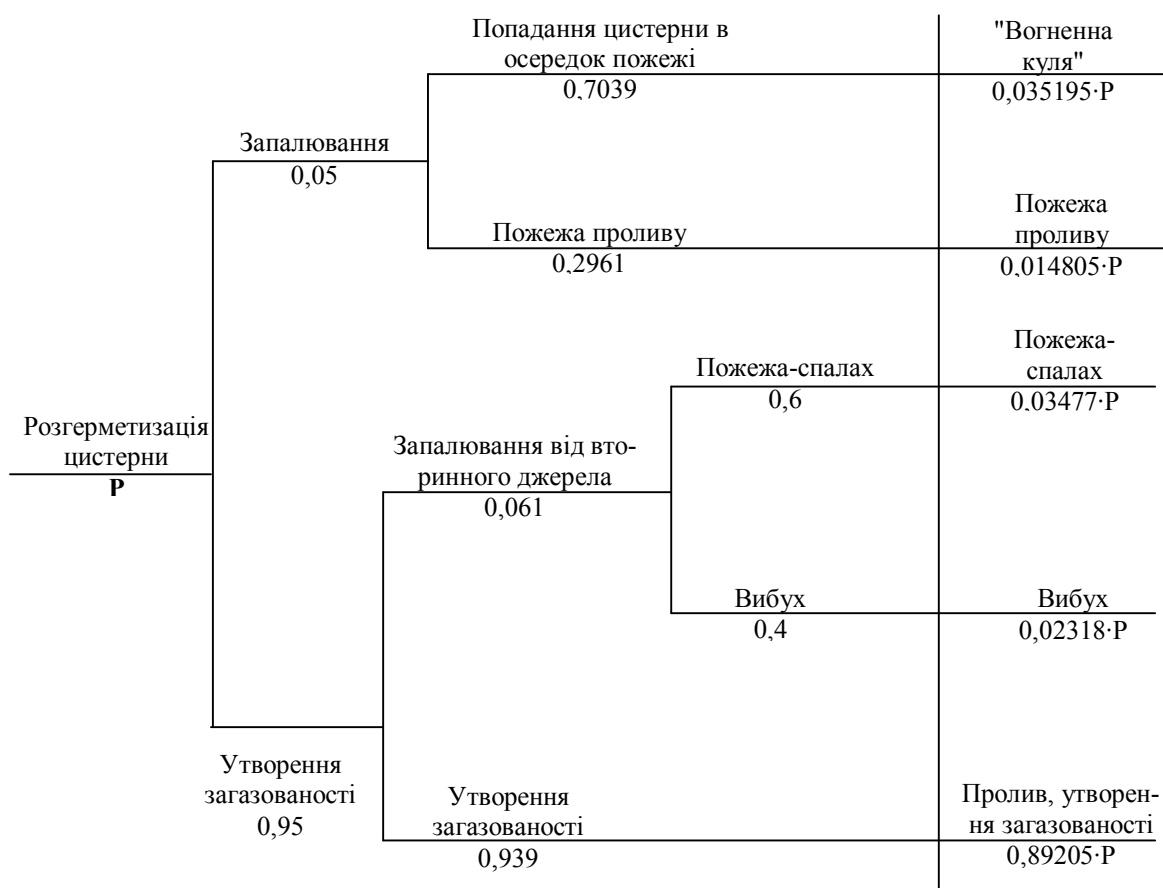


Рисунок1 – Логічна схема можливої аварійної ситуації на території підприємства

- Можна виділити такі типові сценарії аварій:
- сценарій 1 (A_1) – протока небезпечної речовини на території;
 - сценарій 2 (A_2) – пожежа протоки горючої рідини;
 - сценарій 3 (A_3) – загазованість території, токсичне ураження;
 - сценарій 4 (A_4) – «пожежа-спалах» паливно-повітряної суміші;
 - сценарій 5 (A_5) – вибух паливно-повітряної суміші;
 - сценарій 6 (A_6) – «вогненна куля».

Ймовірності реалізації кожної логічної гілки ситуації $Q(A_i)$:

$$Q(A_1), Q(A_3) = 0,89205 \cdot P, Q(A_2) = 0,014805 \cdot P, Q(A_4) = 0,03477 \cdot P,$$

$$Q(A_5) = 0,02318 \cdot P, Q(A_6) = 0,035195 \cdot P.$$

Для кожної гілки логічної схеми необхідно розрахувати значення уражальних факторів (надлишковий тиск, теплове випромінювання).

Обчислення проводять для заданих відстаней від місця ініціювання аварії.

Умовна ймовірність ураження людини надлишковим тиском, що розвивається при згорянні газопароповітряних сумішей, на відстані від епіцентру розраховують таким чином: обчислюються надлишковий тиск ΔP та імпульс I ; виходячи із значень ΔP і I , обчислюють значення пробіт-функції (табл.2).

Таблиця 2 – Результати розрахунку параметрів надлишковим тиском

| Відстань, м | Надлишковий тиск ΔP , кПа | Імпульс хвилі тиску, Па·с | Обсяг хмари V , м ³ | Пробіт-функції | Умовна ймовірність ураження людини, % |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| 165 | 37,572 | 959,96 | 0,00164 | 5,723 | 0,71 |
| 198 | 25,213 | 799,97 | 0,046079 | 5,347 | 0,62 |
| 807 | 4,15 | 196,3 | 1,77839 | 3,635 | 0 |

Умовна ймовірність ураження людини тепловим випромінюванням визначається таким чином: розраховуються P_r за формулою $P_r = -14,9 + 2,5 \ln(t \cdot q^{1,33})$, де t – ефективний час експозиції, с; q – інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м². Для пожеж витоків легкозаймистої речовини (ЛЗР) q приймається 4 кВт/м²: $t = t_0 + x/v$, де t_0 – характерний час виявлення пожежі (5 с); x – відстань від місця, де знаходиться людина до зони аварії, м; v – швидкість руху людини, м/с.

Для впливу «вогненної кулі»: час впливу $t = 0,92 \cdot m^{0,303}$, $q = E_f \cdot F_q \cdot \tau$, де m – маса горючої речовини, кг; q – інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м²; E_f – середньповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт/м²; F_q – кутовий коефіцієнт опромінення; τ – коефіцієнт пропускання атмосфери (табл.3).

Таблиця 3 – Результати розрахунку параметрів тепловим випромінюванням

| Відстань, м | Час експозиції, с | Час впливу вогненної кулі, с | Маса горючої речовини, кг | Середньповерхнева густина, кВт/м ² | Кутовий коефіцієнт опромінення | Інтенсивність q , кВт/м ² | Пробіт-функції | Умовна ймовірність |
|-------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|---|--------------------------------|--|----------------|--------------------|
| 165 | 38 | 22 | $3,42 \cdot 10^4$ | 0,086 | 0,93 | 35,991 | 5,21 | 0,52 |
| 197 | 44,6 | 22 | $3,42 \cdot 10^4$ | 0,063 | 0,91 | 25,79 | 4,07 | 0,18 |
| 807 | 166,4 | 22 | $3,42 \cdot 10^4$ | 0,0019 | 0,59 | 0,50 | 0 | 0 |

Індивідуальний ризик оцінюється за формулою (3). У результаті розрахунку встановлено, що індивідуальний ризик необхідно розраховувати тільки для сценаріїв 5 і 6, оскільки в інших випадках він буде дорівнює 0.

Для сценарію 5

| Відстань, м | Індивідуальний ризик, R год ⁻¹ |
|-------------|---|
| 165 | $5,36 \cdot 10^{-9}$ |
| 198 | $4,68 \cdot 10^{-9}$ |
| 807 | 0 |

Для сценарію 6

| Відстань, м | Індивідуальний ризик, R год ⁻¹ |
|-------------|---|
| 165 | $5,49 \cdot 10^{-9}$ |
| 198 | $1,9 \cdot 10^{-9}$ |
| 807 | 0 |

Соціальний ризик оцінюється за формулою (7). Результати розрахунків наведено в табл.4.

Таблиця 4 – Зведена таблиця розрахунків параметрів соціального ризику

| Відстань від епіцентру, м | Кількість людей | Умовні ймовірності ураження людини, % | | | Очікувана кількість загиблих | | |
|---------------------------|-----------------|---------------------------------------|------|----|------------------------------|------|----|
| | | Qс.д | Qо.ш | Qп | №с.д | №о.ш | №п |
| 165 | 4 | 0,71 | 0,52 | 0 | 3 | 3 | 0 |
| 198 | 1 | 0,62 | 0,18 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 807 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Соціальний ризик дорівнює $S=1,82 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

Висновки. Стратегія управління ризиком не є однозначною і багато в чому залежить від загального стану, пріоритетів і тенденцій розвитку економіки країни, існуючої законодавчої та нормативної бази, налагодженості механізмів економічного і правового управління безпеки й охорони навколишнього середовища в промисловості та ряду інших факторів. За результатами розрахунку ризиків на території небезпечного виробничого об'єкта, можна візуально (на карті підприємства) визначити, де найбільш небезпечним є перебування людини (або групи людей), та підвищити її (їх) безпеку на території об'єкта підвищеної небезпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. Москва: АСАДЕМА, 2003. 505с.
2. Стоецкий В.Ф., Дранишников Л.В., Голинько В.И. Оценка риска при авариях техногенного характера. *Науковий вісник НГУ*, 2014. №3. С.117-124.
3. Дранишников Л.В. Системний ризик-аналіз техногенних аварій. *Математичне моделювання*. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. №1(32). С.22-28.
4. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки / В.Ф.Стоєцький, та ін. Тернопіль: «Видавництво Астон», 2006. 408с.
5. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Москва: КолосС, 2010. 626с.

Надійшла до редколегії 03.06.2019.