

2 чинники I ступеня, 2 чинники II ступеня і 5 чинників III ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

4. Розроблено заходи щодо зниження потенційних шкідливих та небезпечних виробничих чинників електросталеплавильного виробництва.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Егорова А.М. Характеристика условий труда на металлургических предприятиях. *Гигиена и санитария*, 2008. № 3. С.36-37.
2. Belokon K.V. Ecological aspects of the neutralization of gas emissions leaving from the resin storehouse of Joint-stock company "Zaporozhskoks" / Vladislav Rumiantsev, Nikolay Yakubin, Karina Belokon, Elena Matukhno, Catherine Leventsova // *Metallurgical and Mining Industry*, 2015. № 4. С.105-109.
3. Белоконов К.В. Про підвищення екологічної безпеки газових викидів металургійних підприємств. *Металургія: сб. науч. труд.* Запорожье: ЗГИА, 2011. Вып. 25. С.164-169.
4. Орехова О.В. Сучасний стан умов праці в металургійному виробництві України. *Scientific Journal «ScienceRise: Medical Science»*, 2016. № 10(6). С.34-39.
5. Геврик С.О. Охрана праці: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280с.
6. Філософські та соціальні аспекти охорони праці у металургійній галузі промисловості / В.К.Тарасов, В.І.Іванов, В.Р.Румянцев, В.Г.Рижков. *Гуманітарний вісник ЗДІА*, 2015. № 60. С.246-253.

Надійшла до редколегії 27.11.2018.

УДК 629.039.58

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.30

МАХОВСЬКИЙ В.О., к.т.н, доцент  
КРЮКОВСЬКА О.А., к.т.н, доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### АНАЛІЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА НЕБЕЗПЕК ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ ПУНКТІВ

**Вступ.** Зріджений газ у балонах давно і успішно використовується в різних виробничих сферах. Зараз український ринок наповнено різноманітними конструкціями газових балонів, зручними в застосуванні. Та вибухонебезпечність при роботі з рідкими газами є серйозною проблемою, адже найменше потрапляння іскри, перегрів, удари, струси можуть призвести до трагедії.

На даний час великою проблемою є заправка балонів зрідженим вуглеводневим газом в непередбачених для цього місцях при відсутності контролю рівня наповнення балонів та огляду їх технічного стану. До таких непередбачених заправок відносяться автомобільні газонаповнювальні пункти (ГНП).

**Постановка задачі.** Задачею роботи є виявлення потенційних причин виникнення аварійних ситуацій, розрахунки рівня ризику та оцінка масштабів та наслідків аварій під час прийому, зберігання і видачі зрідженого вуглеводного газу.

**Результати роботи.** Причина аварійної ситуації – відмова (накопичення одиничних відмов), ініціююча подію – розвиток аварії. Оцінки сучасних хімічних виробництв дають показник вірогідності аварії  $10^{-3}$ , тобто є великі потенційні технічні можливості для управління ризиком до стану фактичної надійності об'єктів і оснащення їх засобами контролю, діагностики і аварійного захисту.

При аналізі небезпек в роботі виконувались теплофізичні, теплові і термодинамічні розрахунки з використанням загальноприйнятих методів.

При оцінці ризику, що виникає в ході конкретної діяльності на об'єкті, оцінювалися величини наслідків, а також вірогідності того, що вони відбудуться. Факторами, які грають важливу роль в таких оцінках, є ступінь дії, їх тривалість, характеристики речовин, розмір області, в якій розташовано об'єкт, присутність людей, тварин, рослин, майна, а також природа шкідливих дій.

Дослідження ризику включає оцінку вірогідності події у поєднанні з аналізом наслідків аварійних ситуацій, можливих на об'єкті. Основні задачі етапу оцінки ризику пов'язані з:

- 1) визначенням частот виникнення ініціюючих і всіх небажаних подій;
- 2) оцінкою наслідків виникнення небажаних подій;
- 3) узагальненням оцінок ризику.

Для визначення частоти небажаних подій використовувалися:

- статистичні дані з аварійності і надійності технологічної системи, відповідні до специфіки небезпечного виробничого об'єкту або виду діяльності (тобто використовуються існуючі відомості про аварії на заводах або відмовах систем);
- аналіз протікання аварії з метою визначення необхідної вірогідності;
- логічні методи аналізу «дерево подій», «дерево відмов», імітаційні моделі виникнення аварій в системі «людина-машина»;
- експертні оцінки шляхом врахування думки фахівців в даній області.

Оцінка наслідків включає аналіз можливих дій на людей, майно і (або) оточуюче природне середовище. Для оцінки наслідків аналізувалися фізичні ефекти небажаних подій (відмови, руйнування технічних пристроїв, будівель, споруд, пожежі, вибухи, викиди токсичних речовин і т.п.), уточнювалися об'єкти, які можуть бути піддані небезпеці. При аналізі наслідків аварій використовувалися моделі аварійних процесів і критерії ураження, руйнування об'єктів, що вивчаються, враховувалися обмеження вживаних моделей. Також враховано і виявлено зв'язок масштабів наслідків з частотою їх виникнення.

При узагальненні оцінок ризику проаналізовано невизначеність і точність одержаних результатів. Як правило, основними джерелами невизначеностей є неповнота інформації з надійності обладнання і людських помилок, припущення і обмеження моделей аварійного процесу, що використовуються та приймаються. В роботі джерела невизначеності були ідентифіковані (наприклад, «людський чинник») і оцінені.

Проведення кількісного аналізу вимагає великого обсягу інформації з аварійності, надійності обладнання, проведення експертних робіт, обліку особливостей навколишньої місцевості, метеорологічних умов, часу перебування людей в небезпечних зонах і інших факторів.

Кількісний аналіз ризику дозволив авторам оцінити і порівняти різні небезпеки за єдиними показниками:

- при обґрунтуванні і оптимізації заходів безпеки;
- при оцінюванні можливості великих аварій на небезпечних виробничих об'єктах, що мають однотипні технічні пристрої (наприклад, магістральні трубопроводи);
- при комплексній оцінці небезпек аварій для людей, майна і навколишнього природного середовища.

Для дослідження ступеня небезпеки і оцінки рівня ризику при аваріях на ГНП використовувалася «Методика визначення ризиків і їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» [1].

**Характеристика небезпечних речовин та відомості про технологію та апаратурне оформлення.** Згідно з ДСТУ 4047-2001 основними складовими зрідженого вуглеводневого газу (ЗВГ) є пропан ( $C_3H_8$ ) і бутан ( $C_4H_{10}$ ). Залежно від пори року про-

пан і бутан змішуються в необхідних співвідношеннях. У літню пору року ЗВГ випускається марки СПБТ – суміш пропану та бутану технічна. Дані про склад ЗВГ марки СПБТ наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Характеристика зрідженого вуглеводневого газу марки СПБТ

Найменування показника, одиниця виміру	Норма за ДСТУ 4047-2001	Результати аналізу
Масова частка компонентів, %		
- сума метану, етану і етилену	не нормується	4,97
- сума пропану і пропилену	не нормується	45,82
- сума бутанів і бутиленів, не більше	60	48,96
Об'ємна частка рідкого залишку за температурою +20°C, %, не більше	1,6	0
Тиск насичених парів надлишковий за температурою +45°C, МПа, не більше	1,6	1,27
Масова частка сірководню і меркаптанової сірки, %, не більше	0,013	0,002
в т.ч. сірководню, %, не більше	0,003	-
Вміст води і луку	відсутність	відсутні
Інтенсивність запаху, балів, не менше	3	3
Густина, кг/м <sup>3</sup>	не нормується	520
Фізико-хімічні властивості:		
- агрегатний стан при нормальних умовах	газоподібний	газоподібний
- колір	безбарвний	безбарвний
Вибухо- та пожежонебезпечність (обумовлена наявністю у складі основних компонентів пропану та бутану)	-	-
Токсичність (обумовлена властивостями компонентів, які входять до складу зрідженого вуглеводневого газу)	-	-

Основний вид виконуваних робіт – прийом, зберігання, наповнення побутових балонів та паливних баків автомобілів, що працюють на зрідженому вуглеводневому газі «пропан-бутан».

Перелік основних технологічних вузлів наступний: пост зливу зрідженого газу з автомобільних цистерн до бази зберігання; база зберігання зрідженого газу; насосно-компресорне відділення; наповнювальне відділення; злив важких залишків, що не випарувались з балонів до підземного резервуару; відділення ремонту та технічного огляду балонів та паливних баків автомобілів; колонка для наповнення паливних баків автомобілів, що працюють на зрідженому газі.

Зріджений газ поступає системою трубопроводів до колонки заправки автомобілів. Колонка обладнана запірною арматурою і швидкісним клапаном на вході рідкої фази, заправним шлангом, заправною головкою, зворотним клапаном на виході газоподібної фази.

Автомобільні цистерни обладнані запобіжними клапанами, які відкриваються в разі підвищення тиску в цистерні більш ніж 1,84 МПа (18,4 кгс/см<sup>2</sup>). Цистерна обладнана низкою контрольно-вимірювальних приладів (КВП) для виміру рівня, температури, тиску.

Для запобігання викиду газу при зриві зливних гнучких трубопроводів при перекачуванні цистерна обладнана швидкісними клапанами, встановленими на трубопроводах рідкої та газової фази до запірних клапанів.

Усі ємності для зберігання зрідженого вуглеводневого газу «пропан-бутан», які працюють під надлишковим тиском до 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>), обладнані наступними пристроями, системами контролю та безпеки:

- системою попередження підвищення тиску в ємності більш ніж 1,84 МПа (18,4 кгс/см<sup>2</sup>) за допомогою двох запобіжних клапанів;
- системою контролю рівня тиску в ємності.

Для виміру тиску підземні ємності обладнані манометрами. Для виміру температури зрідженого газу ємність обладнана термометром. Для попередження впливу на ємності зовнішніх факторів застосовано технологічне рішення – підземне заглиблення ємностей.

База зберігання складається з восьми підземних резервуарів для зрідженого газу об'ємом по 5,0 м<sup>3</sup> кожний (у якості прикладу). Загальний об'єм бази зберігання таким чином складає 40,0 м<sup>3</sup>. Резервуари для зберігання «пропан-бутану» експлуатуються згідно з НПАОП 0.00-1.81.18 «Правила ОП під час експлуатації обладнання, що працює під тиском».

**Результати аналізу ступеня небезпеки та оцінки рівня ризику.** Перелік основних чинників та можливих причин, що сприяють виникненню і розвитку аварій на газонаповнювальному пункті, представлено в табл.2.

Таблиця 2 – Перелік основних чинників та можливих причин, що сприяють виникненню і розвитку аварій на газонаповнювальному пункті

Складові ГНП	Чинники, які сприяють виникненню та розвитку аварій	Можливі причини аварій
1	2	3
Газонаповнювальний пункт зрідженим вуглеводневим газом пропан-бутаном	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вибухо- та пожежонебезпечні властивості речовин (стислих вуглеводневих газів), що перебувають на газонаповнювальному пункті.</li> <li>2. Мінімальна енергія запалювання пропану та бутану (основних компонентів зрідженого газу) досить мала і становить 0,25 мДж. Це дозволяє стверджувати, що запалення газоповітряної хмари можливе від будь-якого незначного ініціатора запалювання.</li> <li>3. Умови зберігання зрідженого газу (підвищений тиск) дозволяють стверджувати, що це – перегріта рідина. Температура кипіння суміші зріджених газів при атмосферному тиску складає близько -30°C (в залежності від складу). У разі викиду рідини відбувається скипання перегрітої рідини, інтенсивне випа-</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Помилки персоналу при веденні технологічного процесу. Найбільш небезпечними технологічними операціями з точки зору впливу людських помилок на виникнення аварій є операції, пов'язані з підготуванням автомобільних цистерн до зливу, підключення їх до системи, помилки при транспортуванні. Помилковими діями персоналу, які сприяють виникненню та розвитку аварій, можуть також бути: помилки при заправці газобалонних автомобілів, помилки при наповненні побутових балонів, їх завантаженню, операціях зливу переповнених і відбракованих балонів; помилки при відборі проб ЗВГ з резервуарів; помилки при підготовці устаткування до ремонту, проведенні ремонтних і профілактичних робіт, помилки при пуску і зупинці устаткування;</li> </ol>

Продовження таблиці 2

1	2	3
	<p>ровування газів з поверхні розлиття, інтенсивне перемішування газів з киснем повітря до необхідних для запалювання співвідношень.</p> <p>Крім того, зріджений газ важчий від повітря, і при його витoku він концентрується біля фундаментів будівель, в дренажних і відкритих каналах. Горюча хмара газів, якщо вони не розсіюються вітром, утворюється на нижніх горизонтах, тобто там, де звичайно є джерела запалювання.</p> <p>За цих умов ймовірність зустрічі ініціатора запалювання на шляху дрейфу вибухонебезпечної хмари досить велика.</p> <p>4. Небезпека вибуху ємностей із зрідженими газами під впливом високих температур при тривалому опромінюванні сонцем або поглинанні тепла будь-якого іншого джерела посилюється тим, що їх рідка фаза має відносно високий коефіцієнт об'ємного розширення (він майже в 10 разів перевищує аналогічний показник для води).</p> <p>Так, підвищення температури рідкої фази пропану в 2 рази призводить до збільшення її об'єму на 30%.</p> <p>Якщо ємність заповнена зрідженим бутаном повністю, підвищення його температури на один градус за Цельсієм призводить до збільшення тиску на 1,5 МПа. Отже, надлишок тепла може призвести до швидкого розширення рідини, а тиск, що розвивається, може перевищити розрахункове значення і миттєво</p>	<p>помилки при локалізації аварійних ситуацій.</p> <p>2. Відмови устаткування внаслідок: корозії; фізичного зносу, механічного пошкодження; помилок при проектуванні і виготовленні – раковини, дефекти в зварних з'єднаннях; втомні дефекти металу, не виявлені при огляді;</p> <p>порушення режимів експлуатації – переповнювання ємностей, порушення швидкості перекачування ЗВГ, перевищення тиску.</p> <p>3. Дія зовнішніх чинників:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- при аномальному підвищенні температури навколишнього повітря можливе підвищення температури зрідженого газу в ємностях. При відмовах запобіжних клапанів та інших засобів безпеки може відбутися руйнування обладнання;</li> <li>- розряди атмосферної електрики при прямому попаданні в ємнісне устаткування (при відмові засобів захисту від атмосферної електрики) можуть призвести до його розігрівання та скипання рідини з утворенням «вогненної кулі»;</li> <li>- якщо залізничні або автоцистерни потрапляють у зону пожежі сусідніх цистерн або аварійної цистерни із ЗВГ, а перетинів скидних клапанів недостатньо для скидання надмірного тиску, який виникає та зростає в ємностях у процесі їх нагрівання, відбувається вибух резервуару з перегрітою рідиною з утворенням «вогненної кулі»;</li> <li>- землетруси та сейсмічна активність, штормові вітри і урагани можуть призвести до руйнування устаткування та трубопроводів в результаті: сходу цистерн із залізничних колій; перекидання залізничних і автоцистерн;</li> </ul>

Продовження таблиці 2

1	2	3
	<p>зруйнувати ємність.</p> <p>5. Наявність на об'єкті великої кількості зріджених вуглеводневих газів (до 2,5 тонн в одиничній ємності), що створює небезпеку аварійного викиду великої кількості вибухонебезпечної речовини у разі аварійної розгерметизації.</p> <p>6. Недостатня автоматизація процесу завантаження підземних ємностей та баків автомашин зрідженими вуглеводневими газами створює додаткову небезпеку переповнення вказаних ємностей.</p> <p>7. Злив зрідженого газу пропанбутану із автоцистерн в підземні ємності, наповнення балонів виконується за допомогою гнучких шлангів, що створює небезпечність руйнування або зриву шлангів та викиду зріджених газів. Аварійні ситуації з руйнуванням гнучких шлангів є одними з найбільш ймовірних на газонаповнювальних пунктах автомобілів.</p> <p>8. Зберігання та транспортування зрідженого газу під тиском створює додаткову небезпечність розгерметизації устаткування від перевищення тиску.</p> <p>9. Комунікації зрідженого газу прокладено на відкритому майданчику, що створює небезпечність руйнування у разі транспортної аварії.</p> <p>10. Постійна присутність на території газонаповнювальній станції джерела запалення від рухомого автомобільного транспорту.</p>	<p>руйнування опор трубопроводів; зміщення обладнання з фундаментів, руйнування устаткування падаючими будівельними конструкціями;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- від навмисних дій людини (диверсія і терористичні акти) можливе руйнування будь-якого обладнання з викидами великих обсягів небезпечної речовини.</li> </ul> <p>Усі перелічені вище причини можуть призвести до виходу зріджених вуглеводневих газів із зруйнованого устаткування.</p> <p>Газова хмара, яка може утворитися в результаті випаровування газів з поверхні розлиття, може розсіятися в повітрі без небезпечних наслідків. Це один з напрямків розвитку аварії. У разі появи після розгерметизації джерела запалення можливе запалювання зріджених вуглеводневих газів.</p> <p>Причинами появи ініціатора запалювання можуть бути:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- недотримання режиму паління;</li> <li>- наявність іскор від проїжджаючого транспорту;</li> <li>- поява фрикційних іскор;</li> <li>- порушення правил пожежної безпеки вогньових робіт;</li> <li>- розряди статичної електрики.</li> </ul> <p>Устаткування газонаповнювального пункту розташовано на необхідній технологічній відстані одне від одного. Але у разі виникнення аварійної ситуації в одному з вузлів станції вражаючі чинники можуть бути досить масштабними. Дія цих вражаючих чинників (теплове випромінювання та відкрите полум'я пожежі, надмірний тиск вибуху) може призвести до руйнування іншого устаткування з ланцюговим розвитком аварії по типу «Доміно».</p>

У процесі прогнозування виникнення та розвитку аварійних ситуацій було складено сценарії можливих аварій на газонаповнювальному пункті. Подібні сценарії були згруповані за типом і розподілені на найбільш небезпечні за своїми наслідками та на найбільш ймовірні.

Найбільш небезпечна аварія відрізняється тим, що в ній і відповідно у створенні уражаючих чинників приймає участь найбільша кількість небезпечної речовини. Це обумовлює максимальні розміри зон розповсюдження вражаючих чинників, здатних смертельно вразити людину.

Найбільш ймовірна аварія має розміри зон та ймовірність смертельного ураження в них людини значно меншими, але відбуватися вона може частіше, і тому ймовірність її небезпеки може бути більшою. З метою визначення ступеня небезпеки експлуатації газонаповнювального пункту основне технологічне устаткування було розділене на технологічні блоки.

У якості блоків, з яких у разі аварій може статися витікання небезпечної речовини, були прийняті апарати, що можуть бути відключені від технологічної системи без небезпечних змін режиму, спроможних призвести до розвитку аварії в суміжній апаратурі.

Складені сценарії ймовірних аварій на газонаповнювальному пункті наведено в табл.3.

Таблиця 3 – Сценарії ймовірних аварій на газонаповнювальному пункті

Устаткування ГНП	Найбільш небезпечний сценарій	Найбільш імовірний сценарій
	Опис сценарію	Опис сценарію
1	2	3
Резервуар автоцистерни / балон  Трубопровід на відкритому майданчику	Руйнування резервуару автоцистерни / балону із зрідженими вуглеводневими газами → вихід зріджених вуглеводневих газів з устаткування → скипання перегрітої рідини і утворення з неї охолоджених до температури кипіння газової фази і аерозольних крапель → розлиття рідкої фази на підстильну поверхню майданчика → утворення протоки зріджених вуглеводневих газів, кипіння і випаровування рідкої фази на поверхні, інтенсивне змішування газів з повітрям → розсіяння газокрапельної хмари ЗВГ. У разі появи джерела запалення → запалювання вибухонебезпечної суміші, горіння розлиття і хмари з вибухонебезпечними концентраціями газу → ураження тепловим випромінюванням та відкритим полум'ям пожежі людей у приміщеннях або на відкритому майданчику, дія пожежі на споруди. Руйнування надмірним тиском вибуху обладнання та будівель, враження людей вибуховою хвилею. У разі руйнування автоцистерни з причини дії на неї зовнішніх факторів (атмосферна електрика, попадання в пожежу сусіднього устаткування) →	Руйнування гнучкого шлангу автоцистерни / трубопроводу → вихід зріджених вуглеводневих газів з устаткування → скипання перегрітої рідини і утворення з неї охолоджених до температури кипіння газової фази і аерозольних крапель → розлиття рідкої фази на підстильну поверхню майданчика → утворення протоки зріджених вуглеводневих газів, кипіння і випаровування рідкої фази на поверхні, інтенсивне змішування газів з повітрям → розсіяння газокрапельної хмари ЗВГ. У разі появи джерела запалення → запалювання вибухонебезпечної суміші, горіння розлиття і хмари з вибухонебезпечними концентраціями газу → ураження тепловим випромінюванням та відкритим полум'ям пожежі людей на відкритому майданчику, дія пожежі на споруди. Руйнування надмірним тиском вибуху обладнання та будівель, враження людей на відкритому майданчику.

Продовження таблиці 3

1	2	3
	утворення «вогняної кулі» → враження тепловим випромінюванням та надмірним тиском вибуху «вогняної кулі».	
Резервуар бази зберігання		<p>Переповнення резервуару → підвищення тиску в ємності → у разі відмови запобіжного клапану – руйнування резервуару → вихід зріджених газів на майданчик станції → утворення протоки зріджених вуглеводневих газів → скипання перегрітої рідини і утворення з неї охолоджених до температури кипіння газової фази і аерозольних крапель → розлиття рідкої фази на підстильну поверхню майданчика → утворення протоки зріджених вуглеводневих газів, кипіння і випаровування рідкої фази на поверхні, інтенсивне змішування газів з повітрям → розсіяння газокрапельної хмари ЗВГ.</p> <p>У разі появи джерела запалення → запалювання вибухонебезпечної суміші, горіння розлиття і хмари з вибухонебезпечними концентраціями газу → ураження тепловим випромінюванням та відкритим полум'ям пожежі людей на відкритому майданчику, дія пожежі на споруди.</p> <p>Руйнування надмірним тиском вибуху обладнання та будівель, ураження людей на відкритому майданчику.</p>

У створенні вражаючих чинників вибуху газоповітряної суміші на відкритому майданчику приймає участь 10% кількості зріджених вуглеводневих газів пропану та бутану, які можуть випаруватися з поверхні розлиття залежно від їхньої здатності до випаровування на відкритому майданчику, площі розлиття та терміну випаровування.

Кількість вуглеводневих газів, яка може випаруватися з поверхні розлиття, визначено відповідно до [2] та з урахуванням рекомендацій [3].

Для розрахунків прийнято наступні припущення:

- метеорологічні умови: тепло, ясно, швидкість вітру 1 м/с прийнято як найбільш сприятливий випадок для утворення найбільшої вибухонебезпечної пароповітряної суміші;
- при розрахунку інтенсивності випаровування за розрахункову прийнято максимальну абсолютну температуру повітря  $t = 40^{\circ}\text{C}$ ;
- термін випаровування прийнято рівним часу повного випаровування рідини, але не більше, ніж одну годину відповідно до вимог [2];



- площу розлиття у блоках прийнято з розрахунку, що 1 л зріджених газів розливається на площі 1 м<sup>2</sup>, оскільки розлиття відбувається на асфальт на відкритому майданчику та бетон у приміщеннях насосно-компресорного і наповнювального відділення.

Прийнято наступні припущення та характеристики величин, що використовуються для розрахунків:

- за площу пожежі приймалася площа розлиття;
- середня поверхнева щільність теплового випромінювання для зріджених вуглеводневих газів приймалась рівною від 40 до 80 кВт/м<sup>2</sup> в залежності від діаметру вогнища;
- питома швидкість вигорання вуглеводневих газів прийнята рівною 0,1 кг/(м<sup>2</sup>·с).

Результати кількісної оцінки (розрахунків) дії вражаючих чинників для найбільш небезпечної та найбільш ймовірної аварії, а також рівень індивідуального ризику в межах відповідних зон дії вражаючих чинників протягом року наведено в табл.4.

Таблиця 4 – Результати кількісної оцінки (розрахунків) дії вражаючих чинників для найбільш небезпечної та найбільш ймовірної аварії, а також рівень індивідуального ризику в межах відповідних зон дії вражаючих чинників протягом року

№, найменування аварійного блоку та сценарію розвитку аварії	Наслідки аварії	Розміри зон дії вражаючих чинників, м	Значення „пробіг”-функції	Ймовірність ураження людини	Ймовірність розвитку аварії за відповідним сценарієм протягом року	Індивідуальний ризик R від аварії протягом року в межах відповідних зон від дії всіх вражаючих чинників, рік <sup>-1</sup>
1	2	3	4	5	6	7
Блок № 1 Автоцистерна	Пожежа розлиття	13,4	0,3941	0,00148	5,201×10 <sup>-7</sup>	r <sub>1</sub> =58,2 м R=2,157×10 <sup>-7</sup> r <sub>2</sub> =70,6 м R=2,054×10 <sup>-7</sup> r <sub>3</sub> =119,8 м R=1,813×10 <sup>-7</sup>
		16,6	-0,7327	0		
		19,2	-1,5964	0		
		25,0	-3,3823	0		
		33,8	-	0		
		58,6	-	0		
Руйнування цистерни	Вибух газоповітряної суміші на відкритому майданчику	58,2	7,9662	0,98479	2,157×10 <sup>-7</sup>	r <sub>4</sub> =190,3 м R=6,637×10 <sup>-8</sup> r <sub>5</sub> =422,1 м R=1,840×10 <sup>-9</sup>
		70,6	7,4945	0,93690		
		119,8	5,9363	0,82543		
		190,3	4,4955	0,30775		
		422,1	2,2782	0,00853		
Блок № 1 Автоцистерна	Пожежа розлиття	3,6	-0,5826	0	2,807×10 <sup>-7</sup>	r <sub>1</sub> =17,3 м R=6,258×10 <sup>-8</sup> r <sub>2</sub> =20,9 м R=4,183×10 <sup>-8</sup> r <sub>3</sub> =35,0 м R=6,228×10 <sup>-9</sup>
		4,6	-1,6063	0		
		5,4	-2,3763	0		
		7,0	-3,9011	0		
		9,6	-	0		
		17,0	-	0		
Руйнування гнучкого шлангу	Вибух газоповітряної суміші на відкритому майданчику	17,3	5,0954	0,53771	1,164×10 <sup>-7</sup>	r <sub>4</sub> =56,0 м R=9,84×10 <sup>-10</sup> r <sub>5</sub> =126,0 м R=1,28×10 <sup>-10</sup>
		20,9	4,6383	0,35944		
		35,0	3,3916	0,05351		
		56,0	2,2551	0,00845		
		126,0	0,2942	0,00110		

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7
Блок № 1 Авто- цистерна	«Вогняна куля». Теплове випроміню- вання та відкрите полум'я	155,7	2,4284	0,00910	3,661×10 <sup>-7</sup>	
		184,5	1,1567	0,00433		
		235,7	-0,9009	0		
Руйнуван- ня цистерни	«Вогняна куля». Надмірний тиск вибуху. Імпульс хвилі тиску	13,7	4,4900	0,30500	3,661×10 <sup>-7</sup>	
		16,5	4,0403	0,16758		
		28,0	2,7616	0,01327		
		44,7	1,6305	0,00611		
		99,2	-0,2971	0		

На підставі даних табл.4 впливає, що зони дії вражаючих чинників найбільші у разі аварії у резервуарі автоцистерни. Тому для аналізу ступеня небезпеки газонаповнювального пункту обрано саме цей сценарій як найгірший за наслідками аварії.

Після аналізу аварійних ситуацій, що можуть виникати на устаткуванні газонаповнювального пункту, очевидно, що може також відбутися аварія, наслідки якої менші, але виникати вона може значно частіше. Такою є аварія з руйнуванням гнучкого шлангу автоцистерни. Ймовірність руйнування автоцистерни дорівнює  $9,06 \times 10^{-5}$  рік<sup>-1</sup>. Ймовірність руйнування гнучкого шлангу автоцистерни дорівнює  $4,89 \times 10^{-5}$  рік<sup>-1</sup>. При цьому було враховано, що термін перебування автоцистерни на території ГНП в середньому дорівнює 282 год./рік.

**Висновки.** У роботі досліджено причини пожеж і вибухів, що можуть статися на газонаповнювальних пунктах під час прийому зрідженого газу в підземні резервуари, зберіганні у резервуарах, заправки балонів та паливних баків автомобілів з резервуарів та зберіганні балонів. Найчастішими причинами аварійних ситуацій є: відкритий вогонь, іскри, розряди статичної електрики, грозові розряди, самозаймання. Проведено розрахунки зон ураження ударною хвилею, пожежею протоки і вогненною кулею, величини індивідуальних ризиків для різних типів аварій. З'ясовано найбільш вражаючий чинник під час аварії. Проаналізовано наслідки аварій, наведено рекомендації щодо використання отриманих результатів на практиці.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Методика визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2002. № 637. URL: <http://uainfo.biz/legal/basene/ua-smelgt/index.htm> (дата звернення: 12.10.2018).
2. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 15.06.2016]. Київ, 2016. 31 с. (Інформація та документація).
3. Дранишников Л.В., Найверт А.В. Оценка риска возникновения аварии. *Проблеми математичного моделювання*: тези доп. міждерж. наук.-метод. конф., м. Дніпродзержинськ, 26-28 травня 2004 р. Дніпродзержинськ, 2004. – С.56-57.
4. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р.М.Говдяк та ін. Івано-Франківськ: Вид-во «Лілея НВ», 2007. – 556с.

Надійшла до редколегії 12.02.2019.