

*Тарадуда Д.В., ад'юнкт, УЦЗУ,
Шевченко Р.І., канд. тех. наук, нач. лаб., УЦЗУ*

ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ, ДО СКЛАДУ ЯКИХ ВХОДЯТЬ АМІАЧНІ ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ

(представлено д-ром фіз.-мат. наук Созніком О.П.)

Запропоновано алгоритм оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки (АХУ). Представлено принципову та структурно-логічну схеми аміачної холодильної установки та описано технологічний процес, який має місце. Побудовано логіко-імовірнісну модель причинно-наслідкових зв'язків аварійності АХУ. Визначено основні причини аварійних ситуацій та сумарний ризик виникнення небезпечної ситуації на АХУ.

Ключові слова: аміак, холодильна установка, оцінка ризику, потенційно небезпечний об'єкт, «дерево відмов», холодильний агент, принципова схема

Постановка проблеми. Відповідно до статистичних даних [11] питання забезпечення безпеки потенційно небезпечних об'єктів, до складу яких входять аміачні холодильні установки (ПНОАХУ) у зв'язку із критичною зношеністю виробничих фондів має актуальний характер на рівні державної безпеки країни. Існуюча складна економічна ситуація, натомість, не дозволяє принципово змінити стан справ (модернізувати аміаковмісні установки на установки з іншими хладогенами). Саме тому доцільним є вирішення даної проблеми шляхом підвищення ефективності профілактичних заходів з прогнозування можливих аварійних ситуацій, що в свою чергу, не можливо без створення дієвого прогностичного апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних світових тенденцій довів, що дана проблематика є актуальною для країн, що перебувають у стані економічної кризи (авторство понад 90% розробок [2,3,5,6,8–10,12,13,15,16] належить спеціалістам України та країн СНД). Тому, не зважаючи на швидкий розвиток холодильних технологій без використання аміаку, в Україні

переважна більшість галузей промисловості використовує холодильні машини де аміак (NH_3) і досі є основним холодильним агентом. За нормальних умов це горючий безкольоровий газ з різким дратуючим запахом. При збільшенні тиску або охолодженні (до $-3,4^\circ\text{C}$ при атмосферному тиску) аміак легко стискується у безбарвну рідину [3]. При концентрації аміаку в повітрі від 11 до 28% утворюються вибухонебезпечні суміші, та навіть невелика загазованість територій аміаком приводить до пригнічення і загибелі рослинного покриву, травматичних ушкоджень людей, які потрапляють у зону ураження.

Офіційно оприлюднені статистичні дані [12] станом на 2004 рік свідчать, що існуючі (розгалужені до десятків кілометрів) конструкції аміачних систем холодильних машин, що обслуговуються згідно регламенту, мають імовірність прориву аміаку з втратою від 20 до 60% його кількості не нижче одного разу в 15 – 20 років. Та на сьогодні аналіз економічного стану [4] показав, що ці показники на один, два ступені вищі. Вплив таких викидів може бути настільки небезпечним, що може виникнути термінова необхідність евакуації населення в радіусі декілька кілометрів.

При експлуатації холодильних установок існує також небезпека виникнення вибуху. Причини різноманітні [5]: утрата механічної міцності холодильного обладнання, корозія, локальний перегрів, тріщини, перевищення максимально припустимого тиску і т.п.

Частково, з погляду на безпеку технологічного процесу, аналіз холодильних установок проведено у роботах [2,5,7], де пропонується особливу увагу приділяти конструкціям, які знаходяться під тиском і в зонах з високою температурою. Втім, єдиного алгоритму комплексної оцінки безпеки об'єктів даного класу не існує.

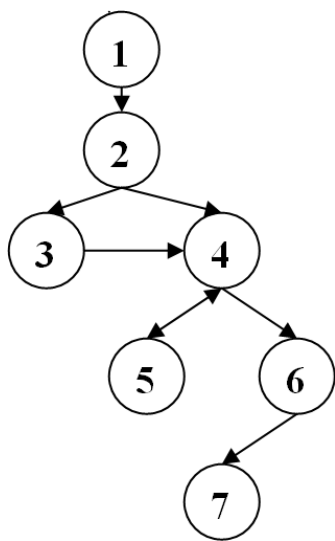
Постановка завдання та його вирішення. Для ефективної оцінки безпеки ПНОАХУ пропонується наступний алгоритм оцінки ризику виникнення аварії (рис.1.).

Переваги даного алгоритму наступні:

- величина прийнятного ризику не визначається, а задається;
- кількість параметрів, що контролюються є функцією заданої величини ризику, що дозволяє підвищити інформованість про стан об'єкта контролю;

- чітко зазначений діапазон зміни величини ризику виникнення аварії ΔP від кількості та якості параметрів, що контролюються;
- високий рівень автоматизації алгоритму, що передбачається (зменшення загального часу на обробку контрольних точок в результаті виконання п.2).

Першим етапом розробки алгоритму оцінки ризику виникнення аварії є проведення аналізу небезпек, характерних для технологічного процесу на об'єкті в цілому та для кожного елементу установки зокрема.



1. Визначення можливості прогнозу виникнення для типу аварій, що розглядається.
2. Визначення необхідного діапазону варіювання імовірності для забезпечення достатнього рівня безпеки.
3. Визначення показника довгостроковості прогнозу.
4. Визначення кількості необхідних параметрів для забезпечення ефективності прогнозу, яка закладена в п. 1 – 3.
5. Визначення фізики (природи) процесу виникнення аварії та її зв'язок з параметрами п. 4.
6. Визначення взаємозв'язків параметрів п. 4.
7. Визначення та обґрунтування ресурсної затратності для отримання заданої якості рівня прогнозу.

Рис. 1 – Алгоритм оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки

З цією метою розглянемо принципову схему типової аміачної холодильної установки (рис. 2) та технологічний процес, який має місце.

Компресорний агрегат (компресор, вбудований маслороздільник, маслоохолоджувач, насос для масла, економайзер, щит керування) стискає холодильний агент і нагнітає його в конденсатор. Контролер відображає дані від датчиків тиску, установлених на усмоктувальному й нагнітальному трубопроводі, виконує керування розвантажувальним і регулюючим продуктивність поршнями, управляє системою змащення. Компресорні агрегати обладнані запірними вентилями й зворотними клапанами на всмоктування й нагнітання та фільтром на усмоктування. На нагніталь-

ному трубопроводі вбудований пілотний регулятор тиску, що виконує функції регулювання тиску конденсації в зимовий період.

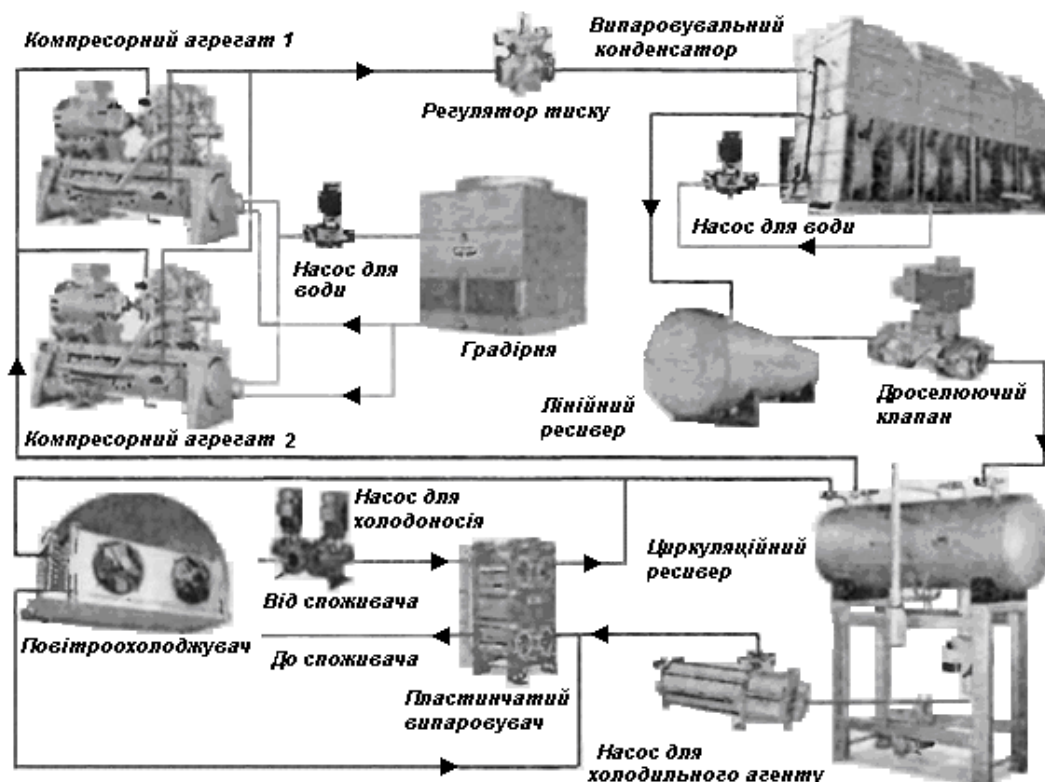


Рис. 2 – Принципова схема типової аміачної холодильної установки

Охолодження маслоохолоджувача здійснюється водою, яка, в свою чергу, охолоджується в градирні.

Сконденсований холодильний агент із конденсатора потрапляє у лінійний та циркуляційний ресивери.

Перед входом у циркуляційний ресивер холодильний агент дроселюється в регульовальному клапані до температури кипіння. Електронний дроселюючий клапан дублюється ручним регулюючим вентиляем. Із циркуляційного ресивера холодильний агент необхідної температури забирається насосом і подається у випаровувальну систему.

Для наочності наведено два типи випаровувачів, що працюють на одну температуру кипіння. Холодильний агент, що надійшов до повітроохолоджувача, випаровується й у вигляді пари або паро-рідинної суміші повертається в циркуляційний ресивер.

Холодильний агент, що надійшов до пластинчастого випаровувача, охолоджує проміжний холодоносієй. Холодильний агент

википає у випаровувачі, охолоджує холодоносій і надходить у вигляді пари в циркуляційний ресивер. Холодоносій прокачується насосом через випаровувач і подається до споживача (технологічний апарат або повітроохолоджувач).

Пари холодильного агента із циркуляційного ресивера всмоктуються компресорним агрегатом. Холодильний цикл повторюється.

На основі принципової схеми (рис. 2) розроблено структурно-логічну схему типової аміачної холодильної установки (рис. 3).

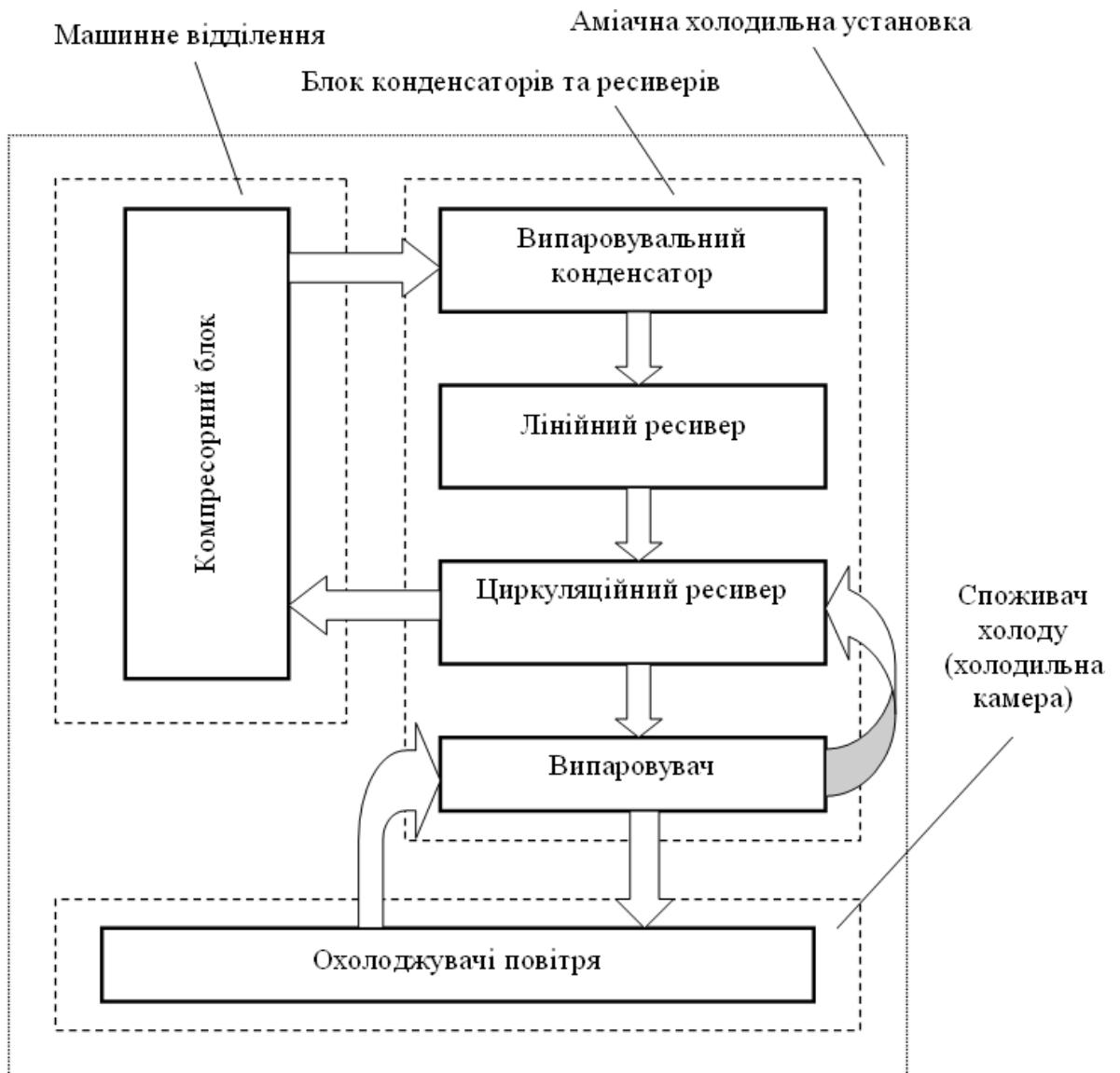


Рис. 3 – Структурно-логічна схема типової аміачної холодильної установки

Побудовані схеми дали можливість розробити «дерево відмов» (рис. 4) для аміачної компресорної установки найбільш поширеного типу.

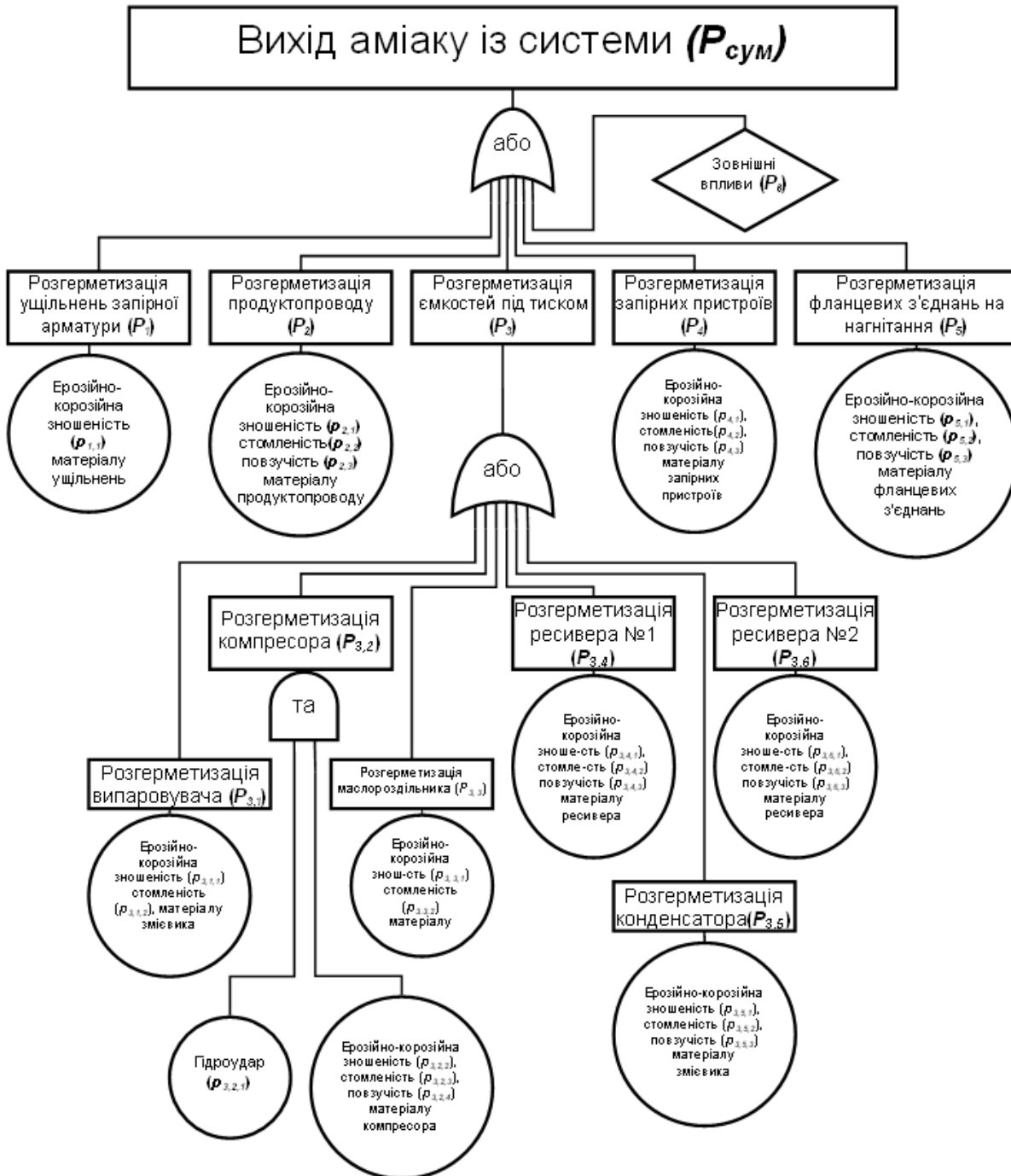


Рис. 4 – Граф «дерево відмов» аміачної холодильної установки

Відповідний граф являє собою логіко-імовірнісну модель причинно-наслідкових зв'язків аварійності досліджуваної системи

з відмовами її елементів та іншими впливами, що призводять до викиду технологічної вибухопожежонебезпечної речовини.

Методом «зворотної логіки» виділено шість найбільш істотних причин, що приводять до кінцевої події:

- розгерметизація ущільнень запірної арматури, P_1 ;
- розгерметизація продуктопроводу, P_2 ;
- розгерметизація емкостей під тиском, P_3 ;
- розгерметизація запірних пристроїв, P_4 ;
- розгерметизація фланцевих з'єднань на нагнітання, P_5 ;
- зовнішні впливи, P_6 ,

де P_n – ризики виникнення відповідної події ($n=1,2,3\dots m$).

Проаналізувавши небезпеки, які виникають при реалізації першого, другого, четвертого та п'ятого пунктів, можна зробити висновок, що їх основними причинами є ерозійно-корозійна зношеність, стомленість чи повзучість матеріалів відповідного елемента установки, ризик виникнення якої позначимо через $p_{n,k}$. Це підтверджують статистичні дані аналізу аварій на аміачних холодильних установках України, Росії та Білорусії за період 1992 – 2008 рр. [2]. Ризик P_n виникнення цих подій можна представити у вигляді функціоналу

$$P_n = f(p_{n,1}; p_{n,2}; p_{n,3}; \dots; p_{n,k}). \quad (1)$$

Реалізація небезпеки третього пункту вимагає більшої уваги, адже при експлуатації холодильної установки під тиском знаходяться емкості різного характеру (розміру, форми, функціональності та ін.). До таких емкостей відносяться: випаровувач, маслороздільник, лінійний та циркуляційний ресивери, конденсатор та компресор. Стосовно перелічених перших п'яти елементів установки, то причинами їх розгерметизації є все ті ж ерозійно-корозійна зношеність, стомленість чи повзучість їх матеріалів з відповідними ризиками їх виникнення $p_{n,k}$. Що також підтверджується статистичними даними наведеними у роботі [2]. Однією ж з найнебезпечніших причин несправності компресора холодильної установки є його робота в режимі з «вологою парою». Це режим при якому на всмоктуючу сторону компресора подається не суха або перегріта пара, а пара у вигляді суміші пари з крапельками рідини. Оскільки рідина практично не стикається, то наявність її може привести до гідравлічного удару в циліндрі компресора (ризик виникнення

$p_{3,2,1}$). А при наявності ерозійно-корозійної зношеності чи стомленості матеріалів компресора – навіть до його розгерметизації та руйнування [8]. Ризик P_3 розгерметизації емкостей під тиском можна також представити у вигляді функціоналу

$$P_3 = f \left(\begin{array}{l} P_{3,1} = f(p_{3,1,1}; p_{3,1,2}) \\ P_{3,2} = f(p_{3,2,1}; p_{3,2,2}; p_{3,2,3}; p_{3,2,4}) \\ P_{3,3} = f(p_{3,3,1}; p_{3,3,2}) \\ P_{3,4} = f(p_{3,4,1}; p_{3,4,2}; p_{3,4,3}) \\ P_{3,5} = f(p_{3,5,1}; p_{3,5,2}; p_{3,5,3}) \\ P_{3,6} = f(p_{3,6,1}; p_{3,6,2}; p_{3,6,3}) \end{array} \right). \quad (2)$$

$$P_{\text{сум}} = f \left(\begin{array}{l} P_1 \\ P_2 = f(p_{2,1}; p_{2,2}; p_{2,3}) \\ P_3 = f \left(\begin{array}{l} P_{3,1} = f(p_{3,1,1}; p_{3,1,2}) \\ P_{3,2} = f(p_{3,2,1}; p_{3,2,2}; p_{3,2,3}; p_{3,2,4}) \\ P_{3,3} = f(p_{3,3,1}; p_{3,3,2}) \\ P_{3,4} = f(p_{3,4,1}; p_{3,4,2}; p_{3,4,3}) \\ P_{3,5} = f(p_{3,5,1}; p_{3,5,2}; p_{3,5,3}) \\ P_{3,6} = f(p_{3,6,1}; p_{3,6,2}; p_{3,6,3}) \end{array} \right) \\ P_4 = f(p_{4,1}; p_{4,2}; p_{4,3}) \\ P_5 = f(p_{5,1}; p_{5,2}; p_{5,3}) \\ P_6 = 1 - \exp(-\lambda t) \end{array} \right) \quad (3)$$

Що стосується «зовнішніх впливів» (шостий пункт), які можуть порушити працездатність холодильної установки та призвести до виходу аміаку із системи, то до цього роду причин можна віднести впливи на установку від аварій на сусідніх об'єктах та «людський фактор» обслуговуючого персоналу холодильної установки. Ризик виникнення «зовнішніх впливів», як вже було визначено у роботі [14], найбільш доцільно представити у вигляді

$$P_6 = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (4)$$

де t – часовий інтервал; λ – середнє число подій в одиницю часу (частота виникнення негативних подій).

Таким чином, проаналізувавши технологічний процес на АХУ та небезпеки, що призводять до виходу аміаку із системи, сумарний ризик виникнення небезпечної ситуації $P_{\text{сум}}$ на АХУ можна представити у вигляді функціоналу (3).

Висновки. Запропонований підхід до побудови алгоритму оцінки ризику виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки дозволить надалі визначити рівень сумарного ризику $P_{\text{сум}}$ аварії на ПНОАХУ, та фактори небезпеки, які безпосередньо впливають на його рівень, визначити їх вагові коефіцієнти та взаємовплив, а також встановити необхідність врахування цих коефіцієнтів (ресурсна затратність) для забезпечення заданого рівня прогнозу.

ЛІТЕРАТУРА

1. A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard, van der Voort M. M., Klein A. J. J., de Maaijer M., van den Berg A. C, van Deursen J. D., Versoot N. H. A. J. Loss Prev. Process Ind. 2007. 20, № 4–6, С. 375–386.
2. Аверин Г.В., Москалец В.М. Анализ опасностей аммиачных компрессорных установок // Вестник Донецкого университета. Серия А. Естественные науки. – 2008. – №3.
3. ГОСТ 6221–90. Аммиак жидкий технический. Технические условия. Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 36 с.
4. Дрозд І.П., Охота А.С. До обґрунтування прийнятних рівнів ризику життєдіяльності в Україні // Матеріали НПК «Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження». Ялта: – 2009. – С. 20 – 23.
5. Кунин П.П., Лапин В.Л. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. – Москва: Высшая школа, 2002. – 327 с.
6. Лифар В.О. Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення

- безпеки виробництва. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського. Харків – 2007.
7. Маршал В. Основные опасности химических производств. М.: Мир. – 1989. – 672 с.
 8. Міхно Ю.О., Кулаков О.В. Аналіз небезпечних режимів роботи холодильних машин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – №5. – С. 146-150.
 9. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України №637 від 04.12.2002 «Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної безпеки».
 10. Наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи № 98 від 23 лютого 2006 року «Про затвердження Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів»
 11. Про надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру в Україні за період з 1997 по 2006 роки (державний рівень) // Інформаційний бюлетень. – 2008. – №2. – 212 с.
 12. Современные проблемы холодильной техники и технологии: Сб. научн. тр. – Одесса: ОГАХ. – 2005. – 380 с.
 13. Соловей В.В, Давидюк О.В., Буц Ю.В. Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2006. – №4. – С. 219 –231.
 14. Тарадуда Д.В., Шевченко Р.И. О проблеме определения риска возникновения аварий // Матеріали НПК «Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження». Ялта: – 2009. – С. 20 – 23.
 15. Шматко А.В., Малежик А.В. Применение вероятностно-детерминистической модели при прогнозировании техногенных аварий на объектах химической промышленности // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – №7. – С. 160–166.
 16. Шматко О.В., Паніна О.О. Використання імовірнісних оцінок при аналізі безпеки // Проблеми пожежної безпеки. – 2005. №18. – С. 192 –196.