

УДК 351.861

Д.В. Тарадуда

Національний університет цивільного захисту України, Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ БЕЗПЕКИ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АМІАЧНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗА «ТЕХНІЧНОЮ НАДІЙНІСТЮ»

У роботі проведено аналіз небезпечних факторів «технічного характеру», що призводять до виникнення аварійної ситуації на аміачній холодильній установці, знайдено залежності коефіцієнтів безпеки основних вузлів аміачної холодильної установки за «технічною надійністю» від часу її експлуатації (які є основою для проведення процедури визначення пріоритетів при управлінні ризиком виникнення аварії на аміачній холодильній установці). Визначені їх значення та представлено графічне зображення.

**Ключові слова:** аміак, холодильна установка, оцінка ризику, потенційно небезпечний об'єкт, надійність системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Згідно останніх досліджень гостро стоїть питання забезпечення безпеки хімічно-небезпечних об'єктів в цілому та об'єктів, до складу яких входять аміачні холодильні установки (АХУ) зокрема у зв'язку із значною зношеністю виробничих фондів. Існуюча економічна ситуація не дозволяє принципово змінити стан справ (замінити аміаковмісні установки на установки з іншими хладагентами). Саме тому доцільним є вирішення даної проблеми шляхом підвищення ефективності роботи існуючого прогностичного апарату, а в окремих випадках – його створення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Враховуючи сучасні світові тенденції, можна із впевненістю сказати, що дана проблематика являється актуальною для країн із слаборозвинутою економікою, або країн, що перебувають в економічній кризі. Це підтверджується проведенням аналізом літератури у даній сфері (авторство понад 90% розробок 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 і досі є основним холодильним агентом.

При експлуатації холодильних установок існує небезпека виникнення вибуху. Причини різноманітні [2]: 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 [1,4,5], 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

Враховуючи вищенаведене, завданням безпосереднього наукового дослідження є визначення базових показників безпеки, які є основою для проведення процедури визначення пріоритетів при управлінні ризиком виникнення аварії на потенційно-небезпечних об'єктах (ПНО) в цілому та на об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки зокрема.

Відповідно до [10] одними із базових показників є показники безпеки «технічної надійності» основних елементів аміачної холодильної установки. Для їх визначення нами спершу була розглянута принципова схема типової аміачної холодильної установки (рис. 1) та технологічний процес, який має місце [9].

На основі принципової схеми розроблено структурно-логічну схему типової аміачної холодильної установки, яка представлена на рис. 2.

Завдяки проведеному аналізу небезпек, характерних для технологічного процесу на об'єкті в цілому та для кожного елементу установки зокрема [9], нами були виявлені наступні фактори, що призводять до аварійної ситуації з викидом аміаку, а саме:

- $P_1$  – відмова запірних пристроїв;
- $P_2$  – відмова продуктопроводу.
- $P_{3,1}$  – відмова компресора;
- $P_{3,2}$  – відмова випарувача;
- $P_{3,3}$  – відмова ресивера №1;
- $P_{3,4}$  – відмова конденсатора;
- $P_{3,5}$  – відмова ресивера №2.
- $P_4$  – відмова насосного обладнання;
- $P_5$  – відмова фланцевих з'єднань;
- $P_6$  – зовнішні впливи.

Побудова структурно-логічної схеми типової аміачної холодильної установки дала нам змогу співставити небезпечні фактори з місцями їх виникнення.

Побудовані схеми, в свою чергу, дали можливість розробити «дерево відмов» (рис. 3) для аміачної холодильної установки найбільш поширеного типу.

«Дерево відмов» являє собою логіко-імовірнісну модель причинно-наслідкових зв'язків аварійності досліджуваної системи з відмовами її елементів. Дерево відмов складається з ініціюючих,

проміжних та кінцевої події. Кінцевою подією є аварійна зупинка АХУ. Проміжними подіями є виникнення небезпечних ситуацій, що призводять до виникнення кінцевої події. Ініціюючими подіями являються відмови найменш надійних елементів системи. Об'єктивною характеристикою роботи таких елементів є середній наробіток до відмови  $\lambda$ .

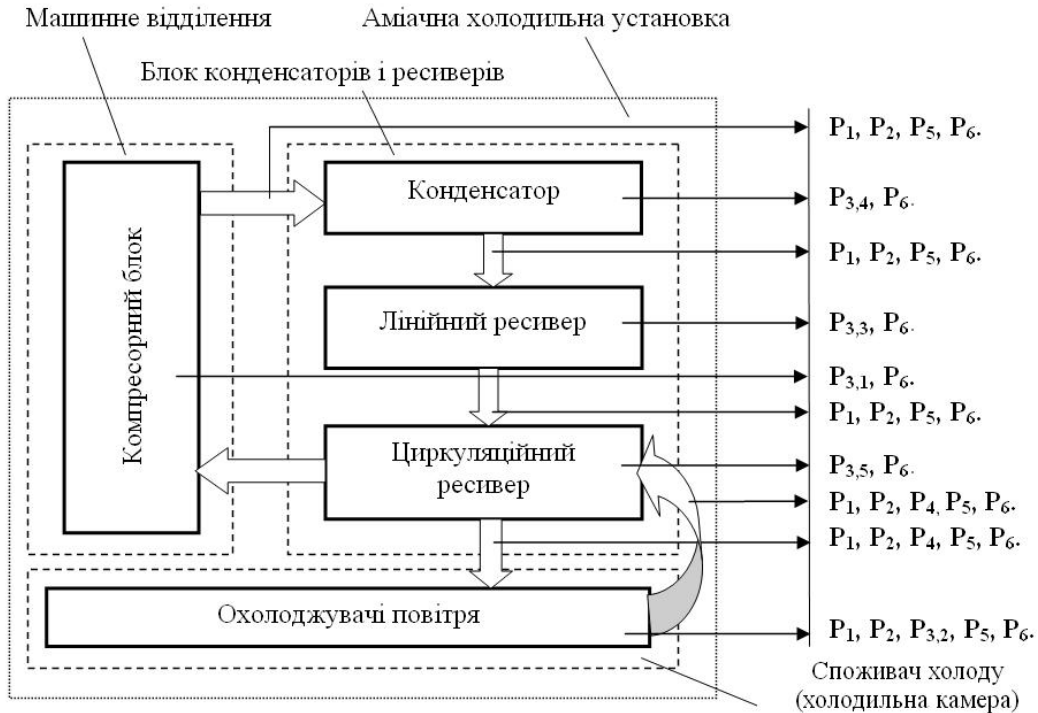


Рис. 1. Принципова схема типової аміачної холодильної установки

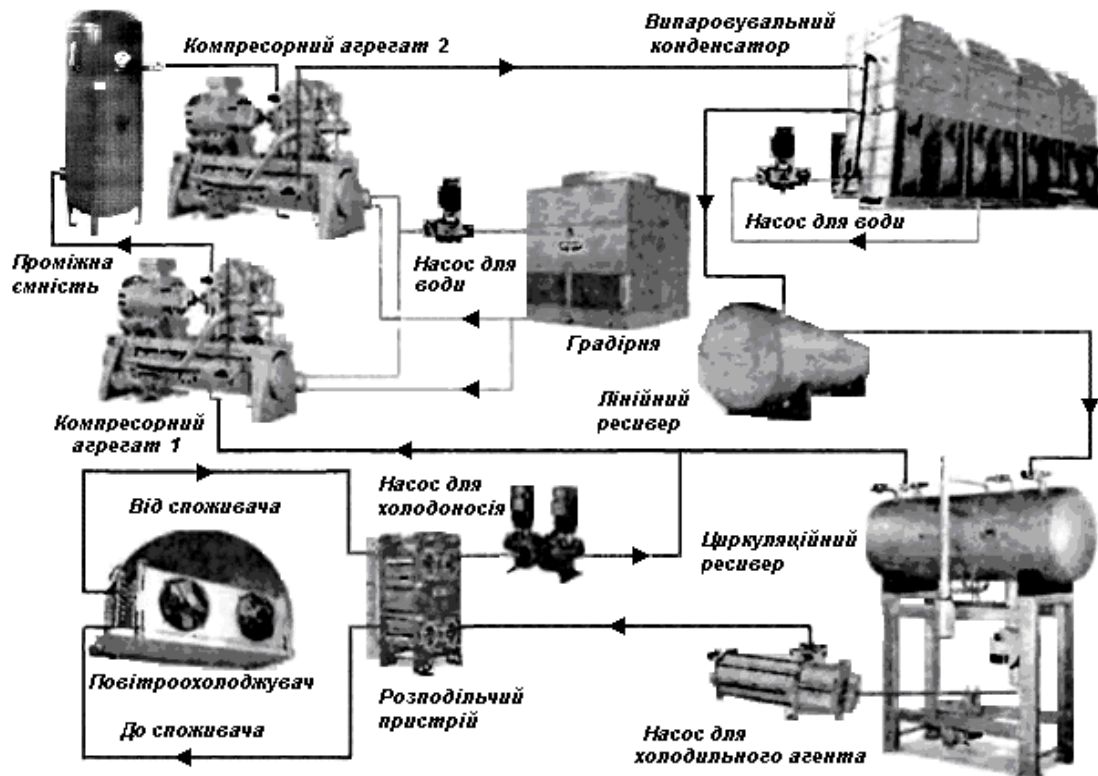


Рис. 2. Структурно-логічна схема типової аміачної холодильної установки



Проаналізувавши небезпеки, які виникають при реалізації небезпечних факторів, можна зробити висновок, що їх основними причинами є виникнення тріщин, ерозійно-корозійна зношеність і стомленість матеріалів відповідних елементів установки.

Дослідивши взаємовпливи відмов основних елементів установки та застосувавши теорію імовірності стосовно логічних схем, за формулою (1) ми визначили коефіцієнти безпеки  $p_n$  за «технічною надійністю» основних елементів установки.

$$p_n = \prod_{i=1}^a e^{-\frac{\tau}{\lambda_i}} = e^{-\sum_{i=1}^a \frac{1}{\lambda_i} \cdot \tau}, \quad (1)$$

де  $a$  – кількість основних компонентів відповідного елемента установки;  $\lambda_i$  – наробіток на відмову  $i$ -го компонента відповідного елемента установки;  $\tau$  – час роботи установки.

Таким чином ми отримали такі залежності:

1. Коефіцієнт безпеки компресорної машини 1-го ступеня (КМ-1):

$$p_1 = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{1,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{1,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{1,3}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{1,4}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{1,5}}} \right);$$

2. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до проміжної ємності (ПП до ПЄ):

$$p_2 = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{2,1}}};$$

3. Коефіцієнт безпеки проміжної ємності (ПЄ):

$$p_3 = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{3,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{3,2,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{3,2,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{3,2,3}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{3,2,4}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{3,3}}} \right);$$

4. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до компресорної машини 2-го ступеня (ПП до КМ-2):

$$p_4 = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{4,1}}};$$

5. Коефіцієнт безпеки компресорної машини 2-го ступеня (КМ-2):

$$p_5 = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{5,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{5,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{5,3}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{5,4}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{5,5}}} \right);$$

6. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до конденсатора (ПП до К):

$$p_6 = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{6,1}}};$$

7. Коефіцієнт безпеки конденсатора (К):

$$p_7 = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,3,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,3,2}}} \times e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,4,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,4,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{7,5}}} \right);$$

8. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до лінійного ресивера (ПП до ЛР):

$$p_8 = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{8,1}}};$$

9. Коефіцієнт безпеки лінійного ресивера (Л):

$$p_9 = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{9,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{9,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{9,3}}} \right);$$

10. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до циркуляційного ресивера (ПП до ЦР):

$$p_{10} = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{10,1}}};$$

11. Коефіцієнт безпеки циркуляційного ресивера:

$$p_{11} = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{11,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{11,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{11,3}}} \right);$$

12. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до насоса для перекачування холодильного агента до холодильної камери (ПП до Н ХК):

$$p_{12} = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{12,1}}};$$

13. Коефіцієнт безпеки насоса для перекачування холодильного агента до холодильної камери (Н до ХК):

$$p_{13} = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{13,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{13,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{13,3}}} \right);$$

14. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до розподільчого пристрою (ПП до РП):

$$p_{14} = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{14,1}}};$$

15. Коефіцієнт безпеки розподільчого пристрою (РП):

$$p_{15} = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{15,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{15,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{15,3}}} \right);$$

16. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до випарувача (ПП до В):

$$p_{16} = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{16,1}}};$$

17. Коефіцієнт безпеки випарувача (В):

$$p_{17} = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{17,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{17,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{17,3}}} \right);$$

18. Коефіцієнт безпеки продуктопроводу до насоса для перекачування холодильного агента до компресорної машини першого ступеню (ПП до Н КМ-1):

$$p_{18} = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{18,1}}};$$

19. Коефіцієнт безпеки насоса для перекачування холодильного агента до компресорної машини першого ступеню (Н до КМ-1):

$$p_{19} = \left( e^{-\frac{\tau}{\lambda_{19,1}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{19,2}}} \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda_{19,3}}} \right);$$

20. Коefіцієнт безпеки продуктопроводу до компресорної машини першого ступеню (ПП до КМ-1):

$$p_{20} = e^{-\frac{\tau}{\lambda_{20,1}}}$$

За допомогою вищеповисаних залежностей були визначені коefіцієнти безпеки основних елементів АХУ в залежності від часу її експлуатації, значення яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення коefіцієнтів безпеки елементів установки за «технічною надійністю» в залежності від часу експлуатації АХУ

Елементи установки	Часу експлуатації $\tau$ , роки																				
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
КМ-1	1,000	0,784	0,615	0,482	0,378	0,296	0,232	0,182	0,143	0,112	0,088	0,069	0,054	0,042	0,033	0,026	0,020	0,016	0,013	0,010	0,008
ПП до ПЄ	1,000	0,994	0,989	0,984	0,978	0,973	0,967	0,962	0,957	0,951	0,946	0,941	0,936	0,930	0,925	0,920	0,915	0,910	0,905	0,900	0,895
ПЄ	1,000	0,779	0,607	0,473	0,369	0,288	0,224	0,175	0,136	0,106	0,083	0,064	0,050	0,039	0,031	0,024	0,019	0,014	0,011	0,009	0,007
ПП до КМ-2	1,000	0,994	0,988	0,981	0,975	0,969	0,963	0,957	0,951	0,945	0,939	0,933	0,928	0,922	0,916	0,910	0,905	0,899	0,893	0,888	0,882
КМ-2	1,000	0,803	0,645	0,518	0,416	0,335	0,269	0,216	0,173	0,139	0,112	0,090	0,072	0,058	0,047	0,037	0,030	0,024	0,019	0,016	0,013
ПП до К	1,000	0,995	0,990	0,985	0,980	0,975	0,970	0,965	0,960	0,955	0,950	0,946	0,941	0,936	0,931	0,926	0,922	0,917	0,912	0,908	0,903
К	1,000	0,710	0,505	0,358	0,255	0,181	0,128	0,091	0,065	0,046	0,033	0,023	0,017	0,012	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001
ПП до ЛР	1,000	0,996	0,991	0,987	0,983	0,978	0,974	0,970	0,966	0,961	0,957	0,953	0,949	0,945	0,941	0,936	0,932	0,928	0,924	0,920	0,916
ЛР	1,000	0,868	0,753	0,654	0,567	0,492	0,427	0,371	0,322	0,279	0,243	0,210	0,183	0,159	0,138	0,119	0,104	0,090	0,078	0,068	0,059
ПП до ЦР	1,000	0,993	0,986	0,979	0,972	0,965	0,958	0,952	0,945	0,938	0,932	0,925	0,919	0,912	0,906	0,899	0,893	0,887	0,881	0,874	0,868
ЦР	1,000	0,861	0,741	0,638	0,549	0,472	0,407	0,350	0,301	0,259	0,223	0,192	0,165	0,142	0,122	0,105	0,091	0,078	0,067	0,058	0,050
ПП до Н ХК	1,000	0,994	0,989	0,983	0,978	0,972	0,967	0,961	0,956	0,951	0,945	0,940	0,935	0,930	0,924	0,919	0,914	0,909	0,904	0,899	0,894
Н до ХК	1,000	0,841	0,708	0,595	0,501	0,421	0,354	0,298	0,251	0,211	0,177	0,149	0,125	0,106	0,089	0,075	0,063	0,053	0,044	0,037	0,031
ПП до РП	1,000	0,994	0,988	0,983	0,977	0,971	0,966	0,960	0,954	0,949	0,943	0,938	0,932	0,927	0,921	0,916	0,911	0,905	0,900	0,895	0,890
РП	1,000	0,841	0,708	0,595	0,501	0,421	0,354	0,298	0,251	0,211	0,177	0,149	0,125	0,106	0,089	0,075	0,063	0,053	0,044	0,037	0,031
ПП до В	1,000	0,995	0,990	0,985	0,981	0,976	0,971	0,966	0,961	0,957	0,952	0,947	0,943	0,938	0,933	0,929	0,924	0,920	0,915	0,911	0,906
В	1,000	0,819	0,670	0,549	0,449	0,368	0,301	0,247	0,202	0,165	0,135	0,111	0,091	0,074	0,061	0,050	0,041	0,033	0,027	0,022	0,018
ПП до НКМ-1	1,000	0,995	0,991	0,986	0,982	0,977	0,972	0,968	0,963	0,959	0,954	0,950	0,946	0,941	0,937	0,932	0,928	0,924	0,920	0,915	0,911
Н до КМ-1	1,000	0,864	0,747	0,645	0,557	0,482	0,416	0,360	0,311	0,268	0,232	0,200	0,173	0,150	0,129	0,112	0,097	0,083	0,072	0,062	0,054
ПП до КМ-1	1,000	0,995	0,990	0,985	0,980	0,975	0,971	0,966	0,961	0,956	0,951	0,947	0,942	0,937	0,933	0,928	0,923	0,919	0,914	0,910	0,905

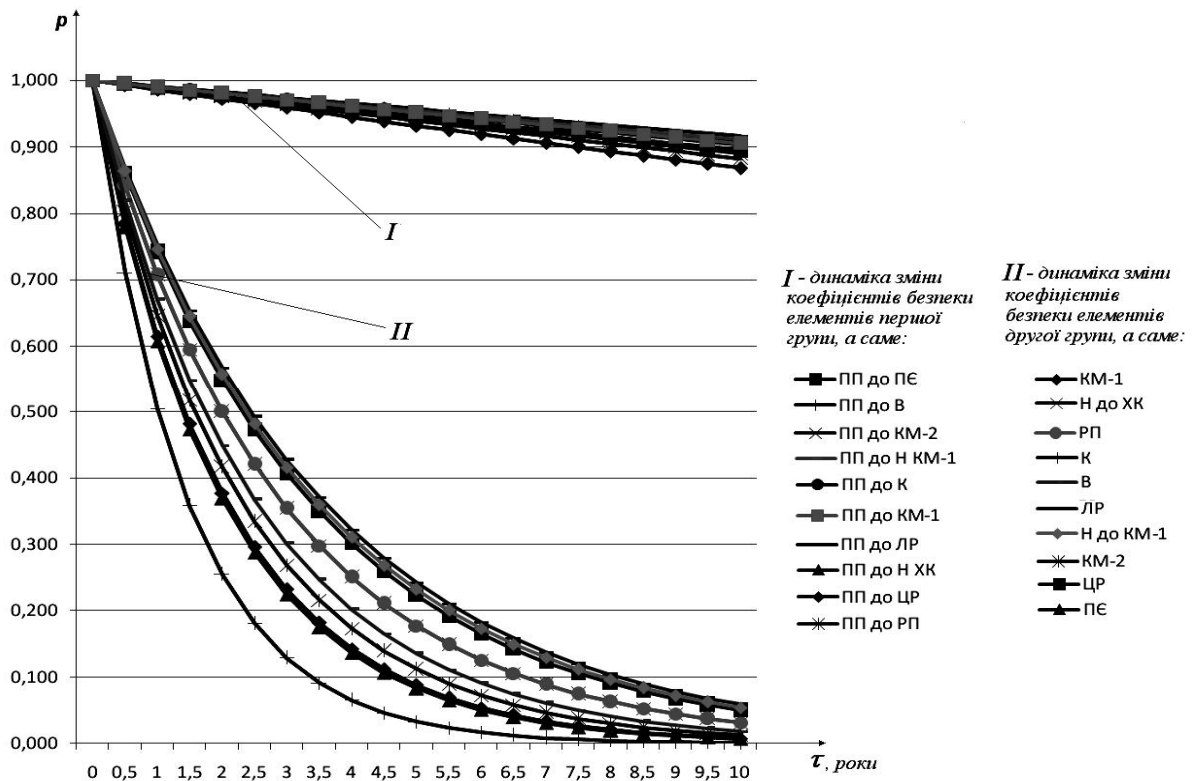


Рис. 4. Динаміка зміни коefіцієнтів безпеки елементів установки за «технічною надійністю» в залежності від часу експлуатації АХУ

Із аналізу результатів досліджень, основні елементи аміачної холодильної установки за «технічною надійністю» можна поділити на 2 групи, графі-

чне зображення яких представлено на рисунку 4. До першої групи елементів входять трубопроводи (набір ліній графіку I). Як видно з графіку, за час експлуатації коefіцієнти безпеки елементів першої групи зменшуються значно швидше, ніж коefіцієнти безпеки елементів другої групи.

платуації в 10 років зміна їх показників безпеки не значна, це говорить про збереження ними високої надійності протягом тривалого часу. До другої групи елементів (набір ліній графіку II) входять такі елементи установки як компресор, конденсатор, ресивери, насосне обладнання та ін. З графіку видно, що значення їх коефіцієнтів безпеки різко зменшується вже в перші 3 роки експлуатації. Це говорить проте, що через більш складну конструкцію та вищу інтенсивність зношення ніж у елементів першої групи, протягом відносно короткого проміжку часу їх надійність різко падає. Тому, при управлінні безпекою роботи установки необхідно своєчасно з визначеною періодичністю планувати та проводити заходи з технічного обслуговування відповідних елементів установки, що підвищить їх надійність та дозволить подальшу експлуатацію.

### Висновки

В результаті роботи нами проведено аналіз небезпечних факторів «технічного характеру», що призводять до виникнення аварійної ситуації на аміачній холодильній установці, причин їх виникнення та небезпек, які виникають при їх реалізації. За допомогою досліджень взаємовпливи відмов основних елементів установки та застосувавши теорію імовірності стосовно логічних схем знайдено залежності коефіцієнтів безпеки основних вузлів аміачної холодильної установки за «технічною надійністю» від часу її експлуатації. Визначені їх значення та представлено графічне зображення.

Отримані результати досліджень являються основою для подальшого проведення процедури визначення пріоритетів при управлінні ризиком виникнення аварії на потенційно-небезпечних об'єктах в цілому та на об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки (АХУ) зокрема.

### Список літератури

1. Аверин Г.В. Анализ опасностей аммиачных компрессорных установок / Г.В. Аверин, В.М. Москалец // Вестник Донецкого университета. Серия А. Естественные науки. – 2008. – № 3. – С. 32 – 40.
2. Бахвалов О.А. Основные причины аварий при эксплуатации аммиачных холодильных систем / О.А. Бахвалов // Холодильная техника. – 2001. № 7. – С. 11 – 12.
3. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
4. Кунин П.П. Безопасность технологических процессов и производств / П.П. Кунин, В.Л. Лапин – М.: Высшая школа, 2002. – 327 с.
5. Маршал В. Основные опасности химических производств / В. Маршал. – М.: Мир. – 1989. – 672 с.
6. Міхно Ю.О. Аналіз небезпечних режимів роботи холодильних машин / Ю.О. Міхно, О.В. Кулаков // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 146 – 150.
7. Остапенко А.І. Применение методов деревьев событий и деревьев отказов при анализе опасностей / А.І. Остапенко // Естественные и технические науки. – 2007. – № 6. – С. 259 – 263.
8. Соловей В.В. Анализ и оценка риска аварий – основа принятия решений при управлении промышленной безопасностью / В.В. Соловей, О.В. Давидюк, Ю.В. Буц // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: АЦЗУ, 2006. – Вип. 4. – С. 219 – 231.
9. Тарадуда Д.В., Формування алгоритму оцінки ризику виникнення аварій на потенційно небезпечних об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки / Д.В. Тарадуда, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2009. – Вип. 10 – С. 161 – 170.
10. Тарадуда Д.В., Визначення показників безпеки основних елементів аміачної холодильної установки за допомогою багатокритеріальної методики оцінки та управління ризиком виникнення аварій / Д.В. Тарадуда, Р.І. Шевченко, С.М. Щербак // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2010. – Вип. 12 – С. 155 – 167.

Надійшла до редколегії 12.09.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АММИАЧНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО «ТЕХНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ»

Д.В. Тарадуда

*В работе проведен анализ опасных факторов «технического характера», которые приводят к возникновению аварийной ситуации на аммиачной холодильной установке, найдены зависимости коэффициентов безопасности основных узлов аммиачной холодильной установки по «технической надежности» от времени ее эксплуатации (которые являются основой для проведения процедуры определения приоритетов при управлении риском возникновения аварии на аммиачной холодильной установке). Определенные их значение и представлено графическое изображение.*

**Ключевые слова:** аммиак, холодильная установка, оценка риска, потенциально опасный объект, надежность системы.

### DETERMINATION INDEXES OF SAFETY BASIC ELEMENTS OF AMMONIAC REFRIGERATION MACHINERY ON A "TECHNICAL RELIABILITY"

D.V. Taraduda

*The analysis of dangerous factors of «technical character», which result in the origin of emergency situation on ammoniac refrigeration machinery, is in-process conducted, dependences of factors safety basic knots of ammoniac refrigeration machinery are found on «technical reliability» from time of its exploitation (which are basis for the lead through of procedure determination of priorities at a management the risk of origin of failure on ammoniac refrigeration machinery). Certain their value and a graphic image is presented.*

**Keywords:** ammonia, a refrigerating machinery, an estimation of the risk, potentially dangerous object, system reliability.