

*Д.В. ТАРАДУДА*, ад'юнкт ад'юнктури, НУЦЗУ, Харків;  
*Р.І. ШЕВЧЕНКО*, канд. техн. наук, нач. НДЛ, НУЦЗУ, Харків

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ БЕЗПЕКИ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АМІАЧНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПРИ ДІЇ ФАКТОРІВ НЕБЕЗПЕКИ «ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ»**

На основі аналізу принципової схеми типової аміачної холодильної установки, технологічного процесу, який має місце та аварійності АХУ з урахуванням умов, що характерні для ПНО на території України, визначено фактори небезпеки «зовнішнього впливу», що можуть призвести до виникнення аварійної ситуації на аміачній холодильній установці. Запропоновано процедуру визначення коефіцієнтів безпеки основних вузлів аміачної холодильної установки, як основи процесу визначення пріоритетів та управління ризиком виникнення аварії на об'єкті контролю.

On the basis of the analysis a circuit diagram of the typical ammoniac refrigerating machinery (ARM), technological process which takes place also breakdown susceptibilities ARM taking into account the conditions, which characteristic for potentially dangerous objects (PDO) in territory of Ukraine, danger factors «external influence» that can lead to emergency occurrence on the ammoniac refrigerating machinery are defined. Procedure of definition factors of safety for the basic knots of the ammoniac refrigerating machinery, as bases process of definition priorities and management risk of occurrence failure on object of control is offered.

На основе анализа принципиальной схемы типичной аммиачной холодильной установки, технологического процесса, который имеет место и аварийности АХУ с учетом условий, характерных для ПНО на территории Украины, определены факторы опасности «внешнего влияния», которые могут привести к возникновению аварийной ситуации на аммиачной холодильной установке. Предложена процедура определения коэффициентов безопасности основных узлов аммиачной холодильной установки, как основа процесса определения приоритетов и управления риском возникновения аварии на объекте контроля.

**Постановка проблеми.** Перш ніж почати оцінку безпеки технічної системи при впливі на неї факторів зовнішнього впливу з'ясуємо, що розуміється під поняттям «зовнішній». Радянський енциклопедичний словник стверджує, що «зовнішнє» виражає властивості об'єкта як цілого й характеризує його взаємодію з навколишнім середовищем. Таким чином, можна вважати, що в динаміці «зовнішній вплив» характеризується процесом взаємодії навколишнього середовища з об'єктом контролю.

Як відомо, будь-яка технічна система після її синтезу (тобто створення) перебуває у взаємодії з навколишнім середовищем. Ця взаємодія триває протягом усього експлуатаційного циклу й припиняється у разі фізичного розпаду системи. Саме тому, при комплексній оцінці безпеки та при управлінні ризиком виникнення аварії на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) в цілому та на об'єктах, до складу яких входять аміачні холодильні установки (АХУ) зокрема, оцінка безпеки технічної системи при впливі на неї факторів небезпеки «зовнішнього впливу», на наш погляд, є обов'язковим етапом. А з урахуванням останніх природних катаклізмів, що привели до катастрофи плане-

тарного масштабу на АЕС «Фукусіма» (Японія) питання всебічного врахування факторів «зовнішнього впливу» набуває нової актуальності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу літератури, щодо безпеки експлуатації технічних систем в цілому та холодильних установок зокрема [1,2,4], витікає, що набір факторів зовнішнього впливу, який необхідно враховувати при оцінці безпеки технічної системи не є довільним і багато в чому залежить від клімату, сейсмічної активності місцевості, рівня деструктивних соціальних процесів (наприклад терористичних дій) та техногенного навантаження території де експлуатується система. Під час попереднього аналізу можна приблизно оцінити можливий набір факторів небезпеки та провести ранжирування їх за ступенем важливості для системи, що контролюється. На наступному етапі аналізу вплив зовнішніх факторів вже немає необхідності розглядати всі можливі фактори, досить проаналізувати тільки найбільш істотні.

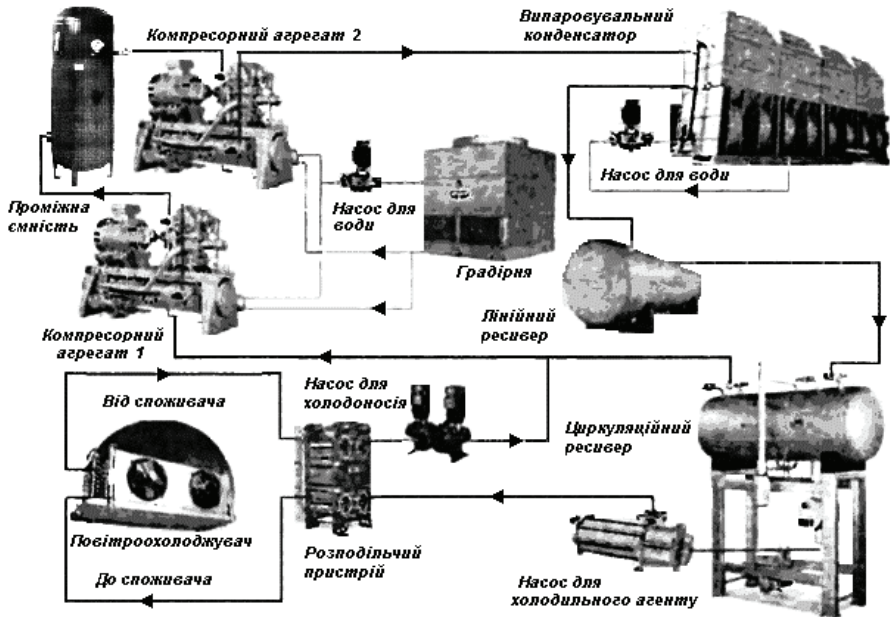


Рисунок 1 – Принципова схема типової аміачної холодильної установки

Таким чином, для визначення основних факторів небезпеки за «зовнішнього впливу» для аміачної холодильної установки слід враховувати наступну умову: з одного боку Україна розташована у помірно стабільній, з погляду сейсмологічної активності, зоні та з низьким рівнем деструктивних соціальних процесів (терористичні дії та ін.), але з іншого боку, її кліматичні умови

(особливо у осінньо-зимовий та зимово-весняний періоди) та техногенна переваженість регіонів чинять досить суттєвий вплив на безпеку об'єктів, що знаходяться на її території. Враховуючи цю умову, були розглянуті принципова схема типової аміачної холодильної установки (рис. 1) та технологічний процес, який має місце, а також проведений аналіз аварійності АХУ.

На основі проведеного дослідження були виявлені наступні фактори небезпеки «зовнішнього впливу», які характерні для аміачної холодильної установки, враховуючи вищеописані умови:

1. Знеструмлення в результаті зовнішнього впливу (ЗВ);
2. Припинення водопостачання до системи охолодження в результаті зовнішнього впливу;
3. Розгерметизація елементів установки в результаті зовнішнього впливу.

**Постановка завдання та його вирішення.** Оцінку безпеки при дії небезпечних факторів «зовнішнього впливу» на об'єкт контролю доцільно проводити шляхом поєднання методів експертних оцінок [3] та аналізу ієрархії Т.Сааті [8], а також застосувавши модель Пуассона.

За допомогою елементу попарних порівнянь методу аналізу ієрархії Т.Сааті експертам пропонується оцінити величину дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу» на кожен з основних елементів установки.

Вибір експертів пропонується проводити в декілька етапів. У якості експертів на першому етапі визначається  $N$  (для відповідного типу системи, що аналізується  $N = 6$ ) [3] фахівців у сфері цивільного, протипожежного, екологічного та інформаційного захисту, а також фахівців у сфері холодильної промисловості та безпеки холодильних машин. Застосовуючи «лавиноподібний» підхід до визначення кількості експертів, їм у свою чергу пропонується вибрати, також по шість фахівців. Таким чином, отримується перелік у 36 осіб, з якого виключаються повторення. Таким самим чином проводяться наступні етапи відбору експертів доти, поки вибрані експерти повністю не повторюються. На цьому набір експертів закінчується.

Для фіксації результату порівняння стійкості до впливів пари факторів небезпеки пропонується використовувати шкалу наступного типу (шкалу ієрархії Сааті):

- 1 – рівноцінність;
- 3 – помірна перевага;
- 5 – сильна перевага;
- 7 – дуже сильна перевага;
- 9 – найбільша (крайня) перевага.

Значення 2, 4, 6 та 8 є перехідними. Особа, що приймає рішення (експерт), враховуючи свій досвід у даному питанні, попарно порівнює величину дії факторів небезпеки на кожен з основних елементів установки і ставить коефіцієнт  $k$ , використовуючи значення шкали ієрархії Сааті ( $k = 1, 2, 3, \dots, 9$  або  $1/1, 1/2, 1/3, \dots, 1/9$ ). Результати парних порівнянь величини дії факторів небезпеки окремо на кожен з основних елементів установки записуються у

вигляді табл. 1.

В табл. 1 прості дроби переводяться в десяткові, рядки таблиці сумуються і суми записуються у передостанній стовпчик, значення якого також сумуються. В останній стовпчик табл. 1 записуються нормовані значення коефіцієнтів дії  $j$ -го фактору небезпеки на  $n$ -ий елемент установки.

Таблиця 1 – Форма для запису результатів парних порівнянь величини дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу» на  $n$ -ий елемент установки

	Фактор небезпеки 1	Фактор небезпеки 2	Фактор небезпеки 3	...	Фактор небезпеки $l$	Сума рядка	Нормовані значення
Фактор небезпеки 1	$k_n^{1,1}$	$k_n^{1,2}$	$k_n^{1,3}$	...	$k_n^{1,l}$	$\sum_1^l$	$w_n^1$
Фактор небезпеки 2	$\frac{1}{k_n^{1,2}}$	$k_n^{2,2}$	$k_n^{2,3}$	...	$k_n^{2,l}$	$\sum_2^l$	$w_n^2$
Фактор небезпеки 3	$\frac{1}{k_n^{1,3}}$	$\frac{1}{k_n^{2,3}}$	$k_n^{3,3}$	...	$k_n^{3,l}$	$\sum_3^l$	$w_n^3$
...	...	...	...	...	...	...	...
Фактор небезпеки $l$	$\frac{1}{k_n^{1,l}}$	$\frac{1}{k_n^{2,l}}$	$\frac{1}{k_n^{3,l}}$	...	$k_n^{l,l}$	$\sum_l^l$	$w_n^l$
Сума передостаннього стовпчика						$\sum \sum_i^l$	

Отримані значення коефіцієнтів дії факторів небезпеки на  $n$ -ий елемент установки кожного експерта  $w_n^j$  записуються в табл. 2.

Розрахунок величин середнього значення коефіцієнта дії  $j$ -го фактору небезпеки на  $n$ -ий елемент установки проводиться за формулою (1):

$$\bar{w}_n^j = \frac{\sum_{i=1}^c w_n^{i,j}}{c}. \quad (1)$$

З метою виключення з загального числа оцінок, що суттєво відрізняються від середнього значення, доцільно проводити багатоетапну процедуру дельфійського методу вирівнювання індивідуальних оцінок експертів [3] і приведення їх до відповідного загального показника. Для цього проводиться аналіз отриманих оцінок і виділення експертів, які дали оцінки, що суттєво відрізняються від загальної маси.

Застосовуючи вищенаведене, в результаті проведення експертної оцінки були отримані середні значення коефіцієнтів дії факторів небезпеки на кожен з основних елементів установки (табл. 3).

Таблиця 2 – Форма для запису результатів обробки експертної оцінки величини дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу» на  $n$ -ий елемент установки

	Фактор небезпеки 1	Фактор небезпеки 2	Фактор небезпеки 3	...	Фактор небезпеки $l$
Експерт 1	$w_n^{1,1}$	$w_n^{1,2}$	$w_n^{1,3}$	...	$w_n^{1,l}$
Експерт 2	$w_n^{2,1}$	$w_n^{2,2}$	$w_n^{2,3}$	...	$w_n^{2,l}$
Експерт 3	$w_n^{3,1}$	$w_n^{3,2}$	$w_n^{3,3}$	...	$w_n^{3,l}$
...	...	...	...	...	...
Експерт $c$	$w_n^{c,1}$	$w_n^{k,2}$	$w_n^{k,3}$	...	$w_n^{k,l}$
Середнє значення коефіцієнту дії	$\bar{w}_n^1$	$\bar{w}_n^2$	$\bar{w}_n^3$	...	$\bar{w}_n^l$

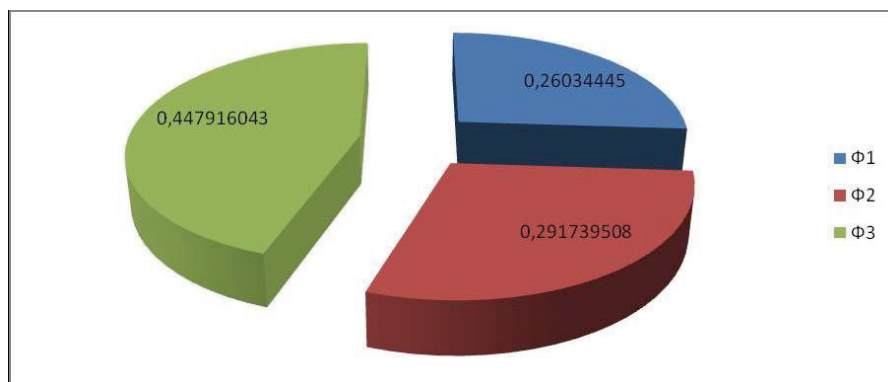


Рисунок 2 – Розподіл впливу на АХУ відповідного фактору небезпеки

Середні значення частки впливу відповідного фактору небезпеки на установку в цілому представлені у вигляді діаграми рис. 2.

Як видно з діаграми, найнебезпечнішим фактором для аміачної холодильної установки є розгерметизація елементів в результаті зовнішнього впливу, так як частка дії цього фактору небезпеки на усі елементи установки є найбільшою.

Отримані коефіцієнти показують частку дії кожного з небезпечних факторів зовнішнього впливу на елементи установки. Але для визначення коефіцієнтів безпеки елементів АХУ необхідно враховувати також і ймовірність виникнення кожного фактору небезпеки. Значення якої визначається за допомогою моделі Пуассона.

Таблиця 3 – Середні значення коефіцієнтів дії факторів безпеки «зовнішнього впливу» на кожен з основних елементів установки

№ з/п	Елемент установки	Фактори безпеки		
		Знеструмлення в результаті ЗВ	Припинення водопостачання до системи охолодження в результаті ЗВ	Розгерметизація елементів установки в результаті ЗВ
1	2	3	4	5
1	Компресорну машину першого ступеню (КМ-1)	0,28221	0,31061	0,40717
2	Продуктопровід до проміжної ємності (ПП до ПЄ)	0,23586	0,28337	0,48078
3	Проміжну ємність (ПЄ)	0,21129	0,31718	0,47153
4	Продуктопровід до компресорної машини другого ступеню (ПП до КМ-2)	0,25508	0,28545	0,45947
5	Компресорну машину другого ступеню (КМ-2)	0,29748	0,30508	0,39743
6	Продуктопровід до конденсатору (ПП до К)	0,25867	0,26204	0,47929
7	Конденсатор (К)	0,28074	0,31996	0,39930
8	Продуктопровід до лінійного ресиверу (ПП до ЛР)	0,22313	0,29750	0,47938
9	Лінійний ресивер (ЛР)	0,24164	0,30281	0,45555
10	Продуктопровід до циркуляційного ресиверу (ПП до ЦР)	0,23014	0,28854	0,48132
11	Циркуляційний ресивер (ЦР)	0,27107	0,29298	0,43594
12	Продуктопровід до насоса для перекачування холодильного агента до холодильної камери (ПП до Н ХК)	0,25725	0,26735	0,47540
13	Насос для перекачування холодильного агента до холодильної камери (Н до ХК)	0,33700	0,27825	0,38474
14	Продуктопровід до розподільчого пристрою (ПП до РП)	0,24404	0,27502	0,48094
15	Розподільчий пристрій (РП)	0,24891	0,31773	0,43336
16	Продуктопровід до випаровувача (ПП до В)	0,22626	0,29704	0,47670

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5
17	Випаровувач (В)	0,26439	0,29435	0,44126
18	Продуктопровід до насосу для перекачування холодильного агента до компресорної машини першого ступеню (ПП до Н КМ-1)	0,25721	0,26459	0,47820
19	Насос для перекачування холодильного агента до компресорної машини першого ступеню (Н до КМ-1)	0,33177	0,28666	0,38157
20	Продуктопровід до компресорної машини першого ступеню (ПП до КМ-1)	0,25274	0,28827	0,45899

Таким чином, коефіцієнт безпеки  $n$ -го елемента АХУ при дії «зовнішнього впливу» визначимо за формулою (2).

$$p_n = 1 - \sum_{j=1}^c \bar{w}_n^j \cdot (1 - \exp(-\eta_j t)), \quad (2)$$

де  $c$  – кількість факторів небезпеки, які діють на  $n$ -ий елемент АХУ;  $t$  – час експлуатації установки;  $\eta_j$  – щільність подій, які провокують виникнення  $j$ -го фактору небезпеки;  $\bar{w}_n^j$  – середнє значення коефіцієнта дії  $j$ -го фактору небезпеки на  $n$ -ий елемент установки.

Розглянемо окремо кожен фактор небезпеки «зовнішнього впливу» та причини їх виникнення.

Знеструмлення установки в результаті зовнішнього впливу виникає при відмові ліній електропередач, що живлять установку. Причинами цього є масове пошкодження повітряних ліній електропередач в результаті впливу ожеледео-вітрових навантажень, що перевершують проектні, на лінії й конструкції опор, випадки вандалізму на об'єктах електроенергетики та інше.

У табл. 4 наводяться рекомендовані Міжнародною електротехнічною комісією (Комітет 11) показники надійності для повітряних ліній електропередачі в залежності від рівня їх надійності [9].

Таблиця 4 – Рівні й показники надійності ліній електропередач

Показники надійності	Рівні надійності		
	1	2	3
Період повторюваності розрахункових навантажень (середній час між відмовами) [число років]	50	150	500
Інтенсивність потоку відмов [відм/рік]	0,02	0,0067	0,002
Імовірність безвідмовної роботи протягом року [в.о.]	0,98	0,993	0,998
Імовірність безвідмовної роботи протягом терміну служби лінії, рівному 50 років, [в.о.]	0,368	0,716	0,905

Для електроживлення аміачних холодильних установок, як правило, використовуються лінії електропередач другого рівня надійності, тому надалі для розрахунку величини впливу на елементи АХУ відмови ліній електропередач  $\eta_1$  приймаємо рівним 0,0067 [відм./рік].

Наступним фактором небезпеки «зовнішнього впливу» є припинення водопостачання до системи охолодження. Небезпеки, які пов'язані з дією цього фактору прямо впливають на компресорне обладнання, адже відмова системи охолодження може призвести до заклинювання та розгерметизація компресора, на решту елементів установки дія цього фактору небезпеки є опосередкованою. Основними причинами виникнення цього фактору небезпеки є відмова системи водопостачання об'єкта (розрив трубопроводів водопостачання) внаслідок руху ґрунту при дії атмосферних опадів, осідання ґрунту під трубопроводом при укладці підземних споруджень, гідравлічних ударів при експлуатації трубопроводу, сезонних температурних змін у траншеї та інше [5].

На рис. 3 та рис. 4 представлені дані по щільності відмов трубопроводів системи водопостачання у різні місяці року для різних діаметрів та матеріалів труб [11].

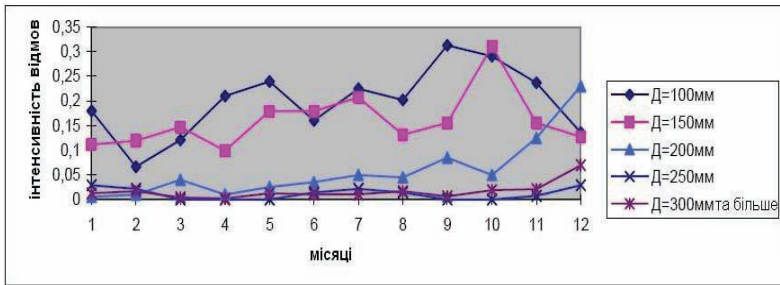


Рисунок 3 – Діаграма щільності відмов стальних трубопроводів системи водопостачання для різних діаметрів труб [відм./од.довж×міс.].

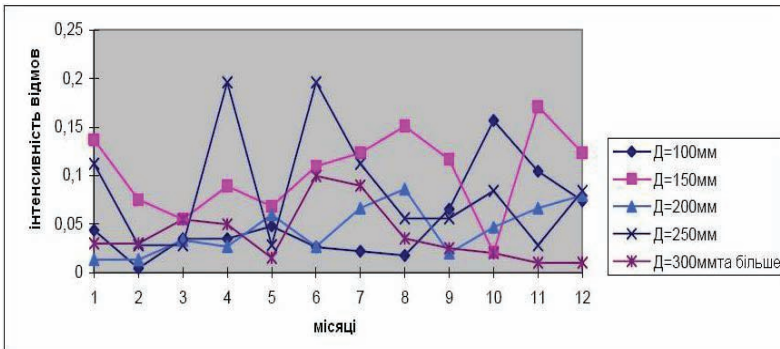


Рисунок 4 – Діаграма щільності відмов чавунних трубопроводів системи водопостачання для різних діаметрів труб [відм./од.довж×міс.].



Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів безпеки елементів установки при дії факторів безпеки «зовнішнього впливу» в залежності від часу експлуатації АХУ

Елементи установок	Часу експлуатації, 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
<b>Коефіцієнти безпеки р елементів установок в залежності від часу експлуатації</b>																					
КСМ-1	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62	0,60	0,59
ІПШ до ІПС	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62	0,60	0,59
ІПС	1,00	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,58	0,57
ІПШ до КСМ-2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60
КСМ-2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60
ІПШ до К	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
К	1,00	0,97	0,93	0,90	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59
ІПШ до ЛР	1,00	0,97	0,93	0,90	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58
ЛР	1,00	0,97	0,93	0,90	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,58
ІПШ до ЦР	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,69	0,67	0,65	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59
ЦР	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60
ІПШ до Н ХК	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62	0,60
Н до ХК	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62
ІПШ до РП	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60
РП	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,71	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60	0,59	0,58
ІПШ до В	1,00	0,97	0,93	0,90	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58
В	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,59
ІПШ до НКСМ-1	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	0,69	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
Н до КСМ-1	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62
ІПШ до КСМ-1	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,59

Для забезпечення водопостачання аміачної холодильної установки використовуються трубопроводи різного діаметра та з різних матеріалів в залежності від року прокладки та об'ємів водоспоживання об'єкта, на території якого розташована АХУ. Для проведення подальших розрахунків приймемо допущення, що водопостачання установки, яка розглядається, здійснюється за допомогою сталених трубопроводів діаметром 150 мм.

За допомогою даних діаграми на рис. 3 визначаємо середньорічну щільність відмов  $\eta_2$  для сталеного трубопроводу діаметром 150 мм, яка становить 0,16 [відм./од.довж×рік].

Ще одним фактором небезпеки, що розглядається нами, є розгерметизація елементів установки в результаті зовнішнього впливу. В якості чинника, що може привести до розгерметизації елементів АХУ, виступає аварія на сусідньому об'єкті з подальшим каскадним розвитком, що є досить небезпечним, враховуючи щільність, з якою на сьогодні розташовані в міській інфраструктурі потенційно небезпечні об'єкти.

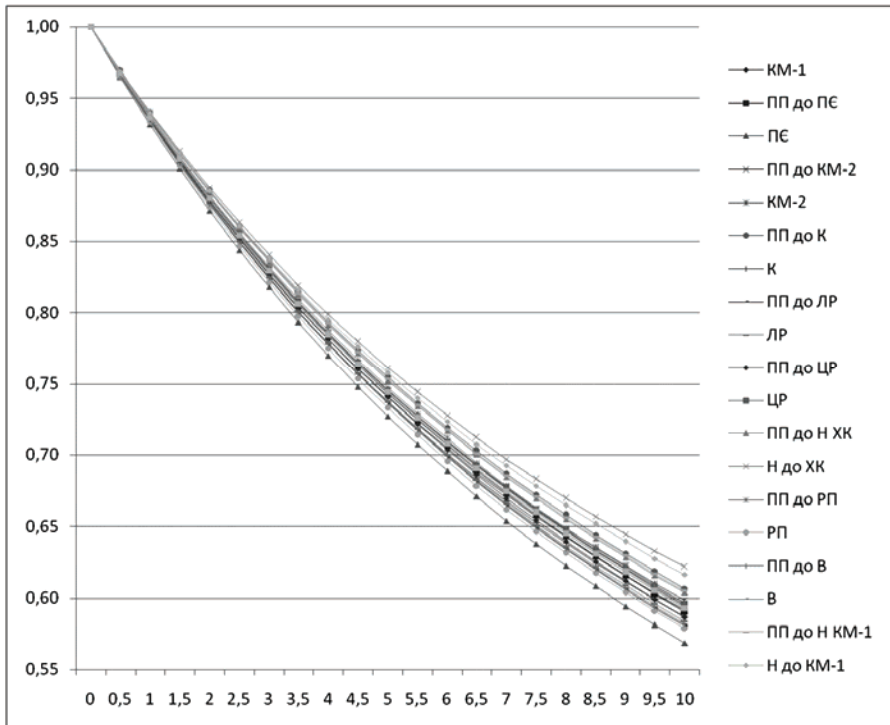


Рисунок 5 – Динаміка зміни коефіцієнтів безпеки основних елементів АХУ при дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу»

Відповідно до Національного класифікатора НС [6] надзвичайними си-

туаціями, що можуть призвести до аварій на сусідніх об'єктах (каскадний розвиток аварії), є НС 1-го класу 01-го підкласу 30-ї та 51-ї груп, 1-го класу 02-го підкласу повністю, 1-го класу 06-го підкласу 20-ї групи, 1-го класу 11-го підкласу повністю та 1-го класу 12-го підкласу 50-ї групи.

Для визначення щільності виникнення описаного вище фактору небезпеки «зовнішнього впливу» нами було проведено аналіз існуючої інфраструктури м. Харкова з метою визначення кількості та теоретичної можливості виникнення зазначених вище НС. За формулою (3) розраховується щільність подій  $\eta_3$ , що провокують виникнення даного фактору небезпеки:

$$\eta_3 = \frac{n}{N \cdot \Delta\tau}, \quad (3)$$

де  $n$  – число об'єктів, на яких відбулася аварія за період  $\Delta\tau$ ;  $N$  – число об'єктів, що експлуатувалися в той же період часу  $\Delta\tau$ .

Відповідно до розрахунків щільність подій  $\eta_3$ , що провокують виникнення каскадний розвиток аварії становить 0,043 [1/рік].

За формулою (2) нами було проведено розрахунки з визначення коефіцієнтів безпеки основних елементів АХУ при дії на них факторів небезпеки «зовнішнього впливу». Результати розрахунків представлені у вигляді табл. 5 та у вигляді залежностей (див. рис. 5).

**Висновки.** В результаті роботи нами проведено аналіз зовнішніх небезпек характерних для технічних систем, що знаходяться на території України, на основі чого визначено фактори небезпеки «зовнішнього впливу», що можуть призвести до виникнення аварійної ситуації на аміачній холодильній установці. Запропоновано процедуру визначення коефіцієнтів безпеки основних вузлів аміачної холодильної установки, які є базовими показниками для визначення пріоритетів при управлінні ризиком виникнення аварії на об'єкті контролю.

**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. *Бурков В.Н.* Получение и анализ экспертной информации / *В.Н. Бурков, Л.А. Панкова, М.В. Шнейдерман.* – М.: ИПУ, 1980. – 50 с. 4. *Диллон Б.* Инженерные методы обеспечения надежности систем / *Б. Диллон, Ч. Синх;* пер. с англ. *Е.Г. Коваленко.* Под ред. *Е.К. Масловского.* – М.: Мир, 1984. – 318 с. 5. *Душкин С.С.* Аварийные ситуации водопроводно-канализационных систем. Раздел I – Водопроводные сети. (Конспект лекций для студентов 5-6 курсов дневной и заочной форм обучения, экстернов и иностранных студентов специальности 7.092601 – «Водоснабжение и водоотведение») / *С.С. Душкин, А.Н. Коваленко, Г.И. Благодарная, М.В. Солодовник.* – Х.: ХНАГХ, 2008. – 79 с. 6. Класифікатор надзвичайних ситуацій: ДК 019:2010. – [Чинний від 2010-10-11]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 19 с. – (Національний класифікатор України). 7. *Міхно Ю.О.* Аналіз небезпечних режимів роботи холодильних машин / *Ю.О. Міхно, О.В. Кулаков* // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2007. – № 5. – С. 146-150. 8. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / *Томас Саати;* пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с. 9. *Скопиче В.А.* Оценка надежности работы электрической сети / *В.А. Скопиче, В.И.Чемоданов,*

*М.И. Чичинский.* – М.: НМЦ НЭС, 2004. – 37 с. **10.** *Тарадуда Д.В.* Визначення показників безпеки основних елементів аміачної холодильної установки за допомогою багатокритеріальної методики оцінки та управління ризиком виникнення аварій / *Тарадуда Д.В., Шевченко Р.І., Щербак С.М.* // Проблеми надзвичайних ситуацій. Сб. наук. пр. – Х.: НУЦЗУ 2010. – Вип. 12. – С. 155-167. **11.** Экологическая устойчивость и передовые подходы к управлению водными ресурсами // Мат. междунар. науч.-практ. конф. / Ред. коллегия: проф. *Духовный В.А.* и др. – Алматы-Ташкент: Научно-информационный центр МКВК, 2003. – 600 с.

*Надійшла до редколегії 02.07.2011*

УДК 593.3

**К.Ю.ТАРСІС**, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХП»

### **ПОРІВНЯННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В ЗОНІ КОНТАКТУ СКЛАДЕНОГО ТІЛА З РУХЛИВОЮ ТА НЕРУХЛИВОЮ ЖОРСТКИМИ ВСТАВКАМИ МЕТОДОМ R-ФУНКЦІЙ**

Методом R-функцій на основі варіаційного принципу Рейсснера проведено порівняння напружено-деформованого стану в зоні ідеального та неідеального контакту пружного зовнішнього тіла з абсолютно жорсткою рухливою та нерухливою вставками.

The analysis of stress-strained state in the field of ideal and imperfect contact interaction of an elastic body with absolutely rigid movable and fixed insertions are given. The calculations are obtained by the R-functions method for a Reissner functional.

Методом R-функцій на основі варіаційного принципу Рейсснера проведено сравнение напружено-деформированное состояние в зоне идеального и неидеального контакта упругого внешнего тела с абсолютно жесткой подвижной и неподвижной вставками.

**Вступ.** Однією з важливих проблем механіки деформівного твердого тіла є розробка ефективних методів розв'язання контактних задач теорії пружності. Виявлення характеру напружено-деформованого стану складених тіл при різних умовах контакту, особливо в контактній зоні, є актуальною задачею. При розв'язанні контактних задач для тіл скінчених розмірів та складної форми використовуються сучасні чисельні методи. Одним з ефективних методів розв'язку таких задач, особливо для тіл довільної геометрії з різними граничними умовами і умовами контакту є метод R-функцій для функціоналу Рейсснера [1], що базується на незалежних апроксимаціях функцій напружень та переміщень.

У даній роботі на прикладі двохшарового тіла надано порівняльний аналіз розподілення напружень та переміщень у зоні контакту між шарами в залежності від типу контакту між шарами, та додатковими умовами щодо рухливості внутрішнього абсолютно жорсткого шару.