

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

Збірник наукових праць
Тематичний випуск

52'2011

«ДИНАМІКА І
МІЦНІСТЬ МАШИН»

Видання засновано Національним технічним університетом
«Харківський політехнічний інститут» у 2001 році

Державне видання
Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

КООРДИНАЦІЙНА РАДА:

Голова: Л.Л.Товажнянський, д-р техн. наук, проф.

Секретар: К.О.Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П.Марченко, д-р техн. наук, проф.;	С.І.Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;
Є.І.Сокол, д-р техн. наук, проф.;	В.М.Кошельник, д-р техн. наук, проф.;
Є.Є.Александров, д-р техн. наук, проф.;	В.І.Кравченко, д-р техн. наук, проф.;
Л.М.Бессов, д-р техн. наук, проф.;	Г.В.Лісачук, д-р техн. наук, проф.;
А.В.Бойко, д-р техн. наук, проф.;	В.С.Лупіков, д-р техн. наук, проф.;
Ф.Ф.Гладкий, д-р техн. наук, проф.;	О.К.Морачковський, д-р техн. наук, проф.;
М.Д.Годлевський, д-р техн. наук, проф.;	В.І.Николаєнко, канд. іст. наук, проф.;
А.І.Грабченко, д-р техн. наук, проф.;	П.Г.Перерва, д-р екон. наук, проф.;
В.Г.Данько, д-р техн. наук, проф.;	В.А.Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;
В.Д.Дмитрисенко, д-р техн. наук, проф.;	М.І.Рищенко, д-р техн. наук, проф.;
І.Ф.Домнін, д-р техн. наук, проф.;	В.Б.Самородов, д-р техн. наук, проф.;
В.В.Єпифанов, канд. техн. наук, проф.;	Г.М.Сучков, д-р техн. наук, проф.;
Ю.І.Зайцев, канд. техн. наук, проф.;	Ю.В.Тимофієв, д-р техн. наук, проф.;
П.О.Качанов, д-р техн. наук, проф.;	М.А.Ткачук, д-р техн. наук, проф.;
В.Б.Клепіков, д-р техн. наук, проф.;	

Харків 2011

ЗМІСТ

О.К.МОРАЧКОВСЬКИЙ До 90-річчя професора А.В. Бурлакова. Вчений, Педагог, Людина	3
Л.В.АВТОНОМОВА, С.В.БОНДАРЬ, А.В.СТЕПУК Особенности моделирования процесса электромагнитного деформирования	6
Н.В.БАБКОВА, И.В.ГАЛУЩАК, В.Я.ГОРБАТЕНКО, А.М.НИКИТИН Дискретная модель передачи тепла в оребренных трубах	10
И.А.БАГМУТ, В.Б.УСПЕНСКИЙ Разработка требований к инструментальным погрешностям инерциального блока интегрированной навигационной системы	22
С.М.ВЕРЕЩАКА Односторонний контакт сферических оболочек из разномодульного материала	29
А.А.ВОДКА, А.С.СТЕПЧЕНКО, А.И.ТРУБАЕВ Исследование напряженно-деформированного состояния болтовых соединений рабочего колеса гидротурбины	34
А.В.ВОРОПАЙ Нестационарные колебания прямоугольной пластины с амортизатором	42
Н.И.ВОРОПАЙ Идентификация кинематического нагружения на поверхности цилиндрической полости упругого пространства	48
С.О.ГРИЦАН, О.О.ЛАРИН Дослідження динамічного напруженого стану в лопатках турбомашин методом комбінованого розкладання по власним формам напружень та переміщень	54
Д.В.ДАНИЛОВ, А.Г.АНДРЕЕВ НДС профильных соединений с натягом под действием контактных нагрузок	63
П.Н.ДЕМИДОВ, А.И.ТРУБАЕВ Прогнозирование остаточного ресурса трубопроводов с учетом эрозионно-коррозионного износа	77
С.С.ИЛЬИНА Исследование влияния параметров профилей проводников на динамику скипов в стволах с нарушенной геометрией	85
А.А.КОНДРИКОВА, О.О.ЛАРИН Моделивання контактної взаємодії пневматичних шин з дорогою з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності їх деформування	94
Ю.Н.КОРЫТКО Расчетные исследования термоциклической долговечности толстостенного цилиндра автоклава гидротермального синтеза	101

С.В.КРАСНИКОВ Моделирование та аналіз вібраційних характеристик фундаменту энергоблоку потужністю 300 МВт	107
И.ЛЬВОВ Анизотропная ползучесть многопроходного шва	111
А.МОВАГГАР, Г.И.ЛЬВОВ Анизотропная модель усталостной повреждаемости стекловолоконного композита	119
В.П.ОЛЬШАНСКИЙ, С.В.ОЛЬШАНСКИЙ Гармонические колебания неоднородного сепарируемого слоя зерна на плоском виброрешете	127
Р.Л.ОНАЦКИЙ Остаточные напряжения в сосудах с вмятинами и снятие их в процессе гидрообработки	135
Э.С.ОСТЕРНИК О механических параметрах для оценки надежности турбогенераторов разъемной конструкции	142
Э.А.СИМСОН, В.В.ОВЧАРЕНКО, В.И.ДЕМИДОВ, И.Д.ПРЕВО, С.А.НАЗАРЕНКО Холодная раскатка заготовок подшипниковых колец	156
В.Н.СОБОЛЬ Смешанный вариационный функционал для численных исследований динамической ползучести начально-анизотропных тел	161
К.Ю.СЧАСТЛИВЕЦ, С.Ю.ПОГОРЕЛОВ, С.И.МАРУСЕНКО Математическое моделирование управляемого движения стержневой модели космического аппарата	165
Д.В.ТАРАДУДА, Р.І.ШЕВЧЕНКО Визначення коефіцієнтів безпеки основних елементів аміачної холодильної установки при дії факторів небезпеки «зовнішнього впливу»	175
К.Ю.ТАРСІС Порівняння напружено-деформованого стану в зоні контакту складеного тіла з рухливою та нерухливою жорсткими вставками методом R-функцій	186
Ю.Л.ТАРСИС О применении эмпирических формул для определения крутильной податливости колена коленчатого вала	191
В.Г.ФЕДОРЧЕНКО, С.В.ПОДЛЕСНЫЙ, А.Ю.ДЕНЬЩИКОВ Динамические характеристики рабочей среды дробебетов и их влияние на интенсивность износа турбинных лопаток	196
В.Л.ХАВИН, О.А.ОГОРОДНИК Модель пластического состояния материала для широкого диапазона температур и скоростей деформаций на основе нейронной сети	202

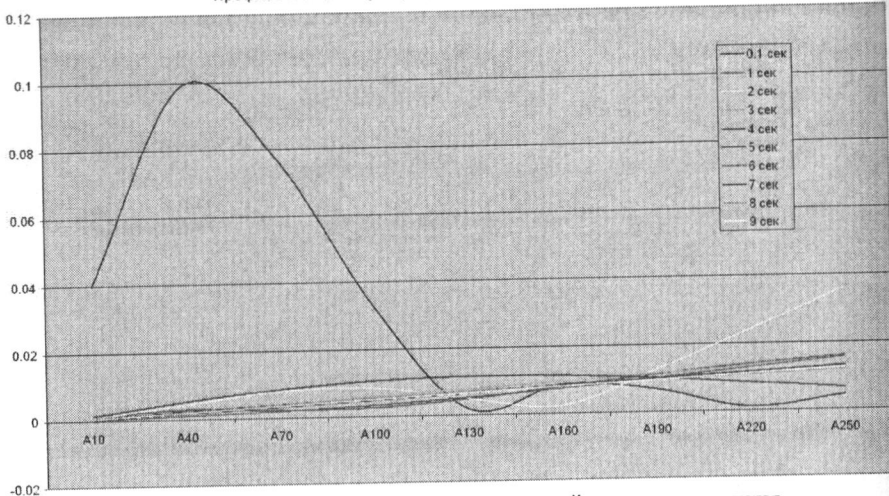


Рисунок 10 – Профиль линейных ускорений вдоль оси стержня

Выводы. В результате проведенных исследований разработана методика, позволяющая моделировать управляемое движение упругого тела с использованием МКЭ. Разработана программная реализация данной методики.

Из результатов моделирования видна необходимость учета упругих свойств спутника в создании законов управления. Маневр, совершенный по закону управления, не учитывающему упругих свойств спутника, занимает для рассматриваемой модели в пять раз больше времени, чем маневр абсолютно жесткой модели спутника.

Список литературы: 1. Rankin, C. C., Brogan, F. A. An Element Independent Corotational Procedure for the Treatment of Large Rotations // Journal of Pressure Vessel Technology. – Vol. 108. – PP. 165-174 (May 1986). 2. Bathe, K. J. Finite Element Procedures. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs (1996). 3. Chung, J., Hulbert, G. M. A Time Integration Algorithm for Structural Dynamics with Improved Numerical Dissipation: The Generalized- α Method // Journal of Applied Mechanics. – Vol. 60. – PP. 371 (1993).

Поступила в редколлегию 23.06.2011

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 ammonia 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 ammonia refrigerating machinery are defined. Procedure of definition factors of safety for the basic knots of the ammonia 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 необхідний 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 експлуатуються 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 впливів зовнішніх факторів вже немає необхідності розглядати всі можливі фактори, досить проаналізувати тільки найбільш істотні.

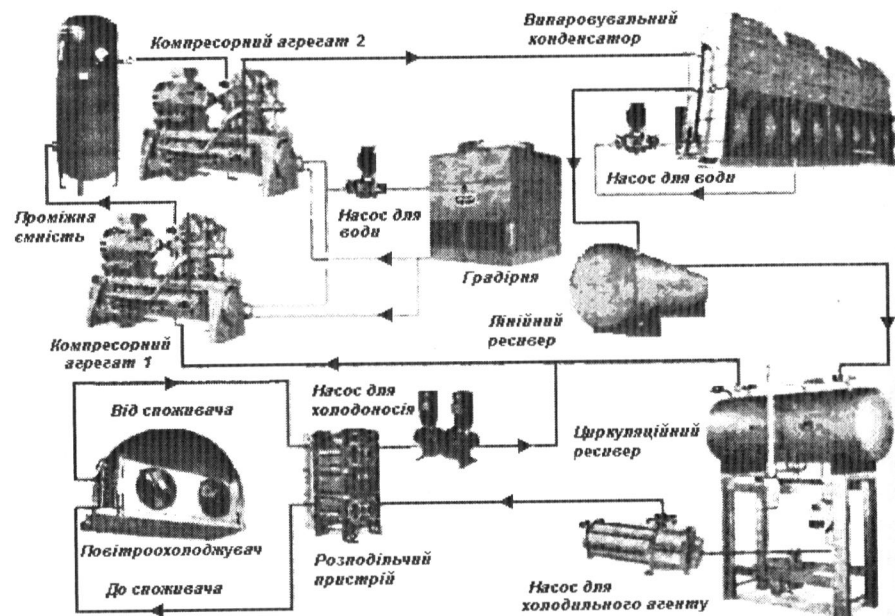


Рисунок 1 – Принципова схема типової аміачної холодильної установки

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

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

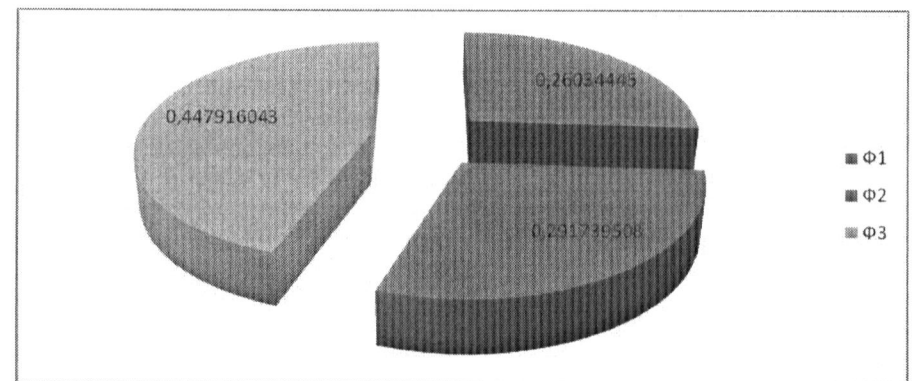


Рисунок 2 – Розподіл впливу на АХУ відповідного фактору небезпеки

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 холодної 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 небезпеки «зовнішнього впливу» на кожен з основних елементів установки

№ з/п	Елемент установки	Фактори небезпеки		
		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 конденсатора (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 насоса 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; η_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 ожеледе-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 η , приймемо 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 про щільність відмов трубопроводів системи водопостачання у різні місяці року для різних діаметрів та матеріалів труб [11].

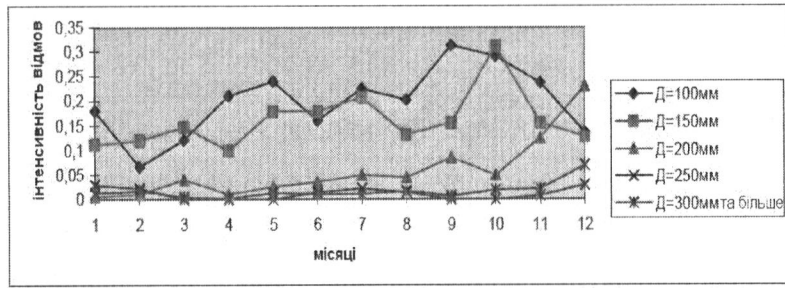


Рисунок 3 – Діаграма щільності відмов сталевих трубопроводів системи водопостачання для різних діаметрів труб [відм./од.довж×міс.].

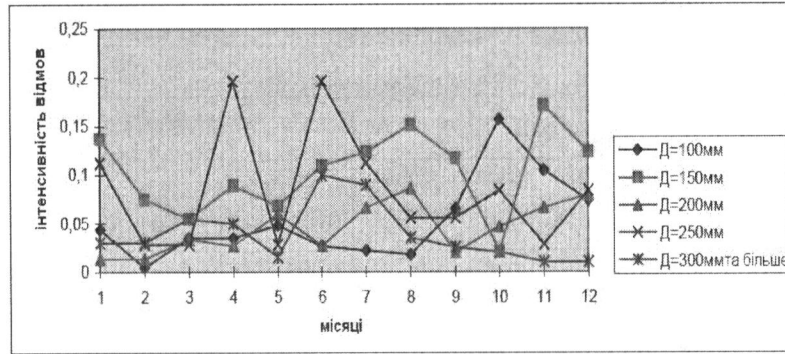


Рисунок 4 – Діаграма щільності відмов чавунних трубопроводів системи водопостачання для різних діаметрів труб [відм./од.довж×міс.].

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів безпеки елементів установки при дії факторів небезпеки «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
КМ-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
ІП до ІЄ	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
ІЄ	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
ІП до КМ-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
КМ-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
ІП 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
ІП 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
ІП 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
ІП 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	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60
ІП до РП	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	0,64	0,63	0,62
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	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58
ІП 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	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60	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
ІП до НКМ-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 КМ-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
ІП до КМ-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 прийємо 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 η_2 для сталюго трубопроводу діаметром 150 мм, яка становить 0,16 [відм./од.довж×рік].

Ще одним фактором безпеки, 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.

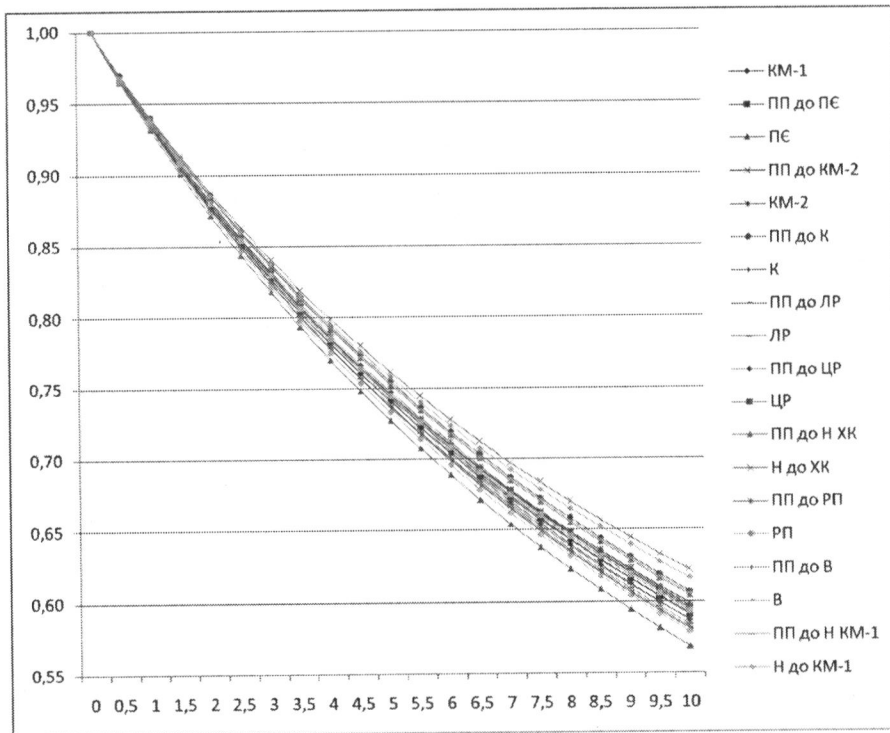


Рисунок 5 – Динаміка зміни коефіцієнтів безпеки основних елементів АХУ при дії факторів безпеки «зовнішнього впливу»

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 безпеки «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 η_3 , що провокують виникнення даного фактору безпеки:

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

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 η_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 безпеки «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 безпеки «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. Сингх*; 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. *Скопинце В.А.* Оценка надежности работы электрической сети / *В.А. Скопинце, В.И. Чемоданов,*

М.И. Чичинский. – М.: НМЦ НЭС, 2004. – 37 с. 10. Тарадуда Д.В. Визначення показників небезпеки 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 «ХПІ»

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 Рейснера 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 Рейснера проведено сравнение напряженно-деформированного состояния 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 Рейснера [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.

Розв'язки задач та їх порівняння. Розглядається задача контакту двохшарового тіла, яке складається з зовнішнього шару – пружного тіла, та внутрішнього шару – абсолютно жорсткої круглої вставки. На верхній кромці зовнішнього шару задано рівномірно розподілене навантаження, а три інші кромки жорстко закріплені (див. рис. 1).

Подібні задачі були розглянуті у роботах [2] і [3]. У роботі [2] цей метод був застосований для аналізу впливу жорсткості пружної рухливої вставки на розподіл напруг на контурі її повного зціплення з зовнішнім пружним тілом, тобто в умовах ідеального контакту. Зауважимо, що під ідеальним контактом розуміють повне зчеплення шарів (наприклад, зварка, або склеювання), а під неідеальним – можливість виникнення зазору між шарами (не утримуючі внутрішні в'язі). Було встановлено що для абсолютно жорсткої вставки найбільші значення нормальних напружень досягаються в зоні контакту, яка розташована з боку прикладення навантаження.

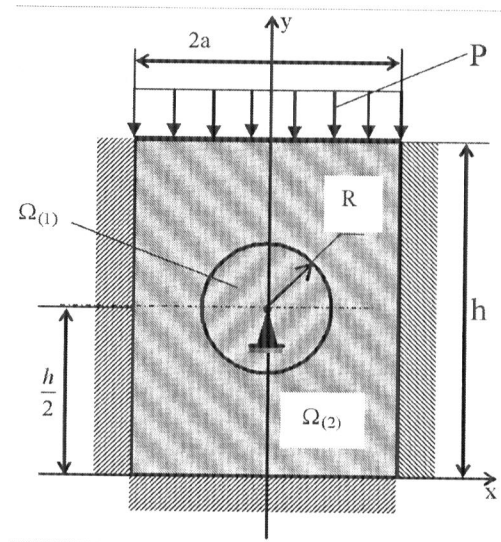


Рисунок 1 – Пружне тіло з круглою абсолютно жорсткою вставкою.

В роботі [3] абсолютно жорстка нерухлива вставка знаходилась в умовах неідеального контакту. Нерухливість вставки означає, що вона спирається на нерухомі опори. Чисельні дослідження проводились в програмуючій системі «ПОЛЕ». Для контролю збіжності та точності розв'язку використовувались інтегральні і локальні критерії, які були запропоновані в роботі [5]. Слід звернути увагу, що при перевірці виконання інтегральних критеріїв, які стосуються умов рівноваги у перерізах, враховувалось, що жорсткий шар є нерухомою опорою для пружного шару і інтеграл по нормальним напруженням обчислений на контурі, який обме-