



МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

УДК 351.861

*Абрамов Ю.О., д-р. техн. наук, гол. наук. співр
Тютюнник В.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Шевченко Р.І., канд. техн. наук, нач. лаб.*

Академія цивільного захисту України

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ АВАРІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

За допомогою математичного апарату логіко-імовірнісної теорії безпеки проведена оцінка безпечної роботи об'єктів підвищеної небезпеки нафтогазового комплексу на прикладі газонакопичувальної компресорної станції

Постановка проблеми. Нафто- та газо-продукти є одними із значних за масштабом забруднення навколишнього природного середовища факторами. У наслідок техногенних та аварійних розливів нафтопродуктів, аварійних ситуацій на об'єктах з переробки та транспортування природного газу, газо- і нафтопроводів, утворення несанціонованих звалищ нафтовміщуючих промислових відходів виникають додаткові, досить важкі, природоохоронні проблеми. Ґрунтам загрожує техногенне перетворення, майже зовсім подавляється життєдіяльність біоти, порушуються фізико-хімічні та біологічні властивості навколишнього середовища. З іншого боку, за даними НАН України [1-3], у разі виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах нафтогазового комплексу, у зону враження можуть потрапити понад 250 адміністративно-територіальних одиниць, на території яких мешкає понад 17 млн. чоловік. Якщо додатково врахувати той факт, що загальна протяжність трубопроводів по території України складає понад 43 тис. км., з них магістральних газопроводів понад 35 тис. км, магістральних нафтопроводів – 4 тис. км., то забезпечення дієвої безпеки об'єктів нафтогазового комплексу є актуальним завданням національної безпеки державного рівня. А з огляду на те, що інтегральний показник небезпеки Харківської області, у 2004 році, становив 0,258 [3, 4], що більше за серед-

ній по Україні, а кількість об'єктів підвищеної небезпеки (автозаправні, газокомпресорні станції, побутова мережа газопроводів, сховища нафтопродуктів) постійно зростає, це питання потребує постійної уваги з боку регіональних підрозділів МНС України. Сумним підтвердженням, нехтування цією проблемою, є резонансна надзвичайна подія, яка виникла на міському газопроводі наприкінці січня 2006 року у м. Алчевську Луганської області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення безпеки завжди було одним з найважливіших аспектів діяльності людини. У той же час не тільки реальне забезпечення безпеки, але і кількісна оцінка цієї характеристики потребує великих витрат та супроводжується труднощами принципового характеру. Тому на сьогодні не існує загальновизнаної теорії безпеки, як безпосередньо технічних систем, так і систем де присутні організаційні, соціальні елементи. З іншого боку об'єкти нафтогазового комплексу, а саме газонакопичувальні станції – це досить розповсюджені небезпечні промислові об'єкти, які застосовуються для прийому, зберігання та відпуску зріджених вуглеводневих газів – пропану, бутану та їх сумішей у балонах, а також у автоцистернах в якості палива для автомобілів. Основні технологічні операції, які проводяться на газонакопичувальних станціях – зливно-наливні, які пов'язані з прийомом та відпуском зріджених вуглеводневих газів. Наявність значних запасів зріджених вуглеводневих газів та висока їх небезпека дозволяють віднести газонакопичувальні станції до небезпечних промислових об'єктів, які становлять небезпеку не тільки для персоналу, але й для населення. Про неоднозначність та актуальність досліджень у цьому напрямку свідчить дискусія, що триває в наукових колах. Так у роботі [9] наведена теза, що безпека досягається автоматично у разі забезпечення високих рівнів надійності систем. Цю думку, але дещо в іншій формі сформульовано у [12] – надійний об'єкт не може бути небезпечним. У той же час поняття безпеки сформовано, як компонент надійності. Досить прогресивним шляхом, на наш погляд, є запропонована у [10] концепція логіко – імовірнісної теорії безпеки. З іншого боку, на сьогодні, існують досить відомі роботи російської наукової школи з моделювання небезпечних процесів, які виникають на об'єктах з переробки газу та магістральних газопроводах [5,6,8,11,13]. Утім вони мають ряд недоліків, які стосуються об'єктивного визначення небезпечних факторів, які, на наш погляд, можливо усунути за допомогою проведення попередньої експертної оцінки безпеки об'єктів [14].

Постановка завдання та його вирішення. За даними попередньої експертної оцінки [14] найбільшу небезпечними факторами, які можуть привести до аварії, визнано: недоліки підготовки та професійних дії операторів (0,379), у тому числі їх уміння приймати антикризові рішення в різних ситуаціях, а також фактор старіння технологічного обладнання (0,298), внаслідок економічних негараздів. У той же час відносна соціальна та при-

родна стабільність регіону призвела до незначних показників за іншими напрямками. Отримані дані за першим показником добре узгоджуються з даними наведеними у [7] щодо впливу людського фактору у структурі ризику, де загальний вплив антропогенних факторів (невикористання та недостаток набутих знань, недостаток інформації, невідомість ситуації, що склалась та ін.) на вірогідність виникнення надзвичайної ситуації внаслідок неправильних дій оператора становить 0,403, за другим показником, з матеріалами Національної доповіді [3], де серед причин виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру окрему увагу приділено незадовільному технічному стану виробничих об'єктів, який є наслідком зношеності основних виробничих фондів. Для спрощення аналізу, надалі будемо розглядати вплив на безпеку ОК лише двох факторів, а саме: виникнення пожежі та вибуху внаслідок техногенної аварії та аварії внаслідок помилок оператора. Іншими факторами, які за своїм впливом незначні, можна знехтувати.

Для формування задачі дослідження нам необхідно визначити основні поняття, які є базою логіко – імовірнісної теорії безпеки, а саме основні положення з визначення ризику виникнення аварій та катастроф структурно-складних систем, які базуються на логічному представленні розвитку небезпечних станів знаходження системи. Логіко – імовірнісні методи дослідження безпеки дозволяють об'єктивно виявити найбільш небезпечні місця, причини та ініціюючі небезпеку умови. Базовим поняттям логіко – імовірнісної теорії є поняття небезпечного стану системи (НСС) і відповідно логічною функцією безпеки системи (ФНС) [10]. За аналогією з теорією надійності, де початковим є визначення працездатності системи, в теорії безпеки потрібно у кожному випадку визначити аналітичний опис НСС, який може привести до загибелі людей або іншим втратам у великих масштабах. У логіко-імовірнісній теорії опис починається з побудови дерева небезпечних станів (ДНС) шляхом перебору всіх можливих станів системи зверху до низу: від конкретного НСС до причин, котрі його спричиняють – ініціюючим умовам (ГУ: відмова, поломка, порушення правил експлуатації та ін.

Потрібно зазначити необхідність максимальної конкретизації НСС: якщо, наприклад, оцінювати ризик аварії від вибуху, то необхідно визначити склад газів, їх параметри та інші складові. Крім того необхідно обмежити об'єкт досліджень (у тому числі при розрахунках катастроф з глобальними наслідками).

Після евристичної побудови ДНС та апробації його серед фахівців, що було зроблено на першому етапі, потрібно приступити до побудови ФНС за допомогою найкоротшого шляху небезпечного функціонування (НШНФ) або за допомогою мінімального перерізу запобігання безпеки (МПЗН).

Найкоротший шлях небезпечного функціонування є така логічна сума ІУ Z_i з якої жодний з компонентів неможливо вилучити, не порушив небезпечного функціонування системи. Таку логічну суму можна записати у вигляді:

$$\varphi_l = \bigwedge_{i \in K_{\varphi_l}} Z_i, \quad (1)$$

де K_{φ_l} – множина номерів ІУ, які відповідають l-му НШНФ;

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i \text{ умова виникла} \\ 0, & \text{якщо } i \text{ умова не виникла} \end{cases}$$

Інакше кажучи, НШНФ описує один з можливих самостійних варіантів потрапляння системи у небезпечний стан за допомогою мінімального набору ІУ, які необхідні для його виникнення (вибух, пожежа, ураження персоналу, іншого НСС).

Мінімальний переріз запобігання небезпеки є така логічна сума заперечень ІУ \bar{Z}_i з якої жодний з компонентів неможливо вилучити не порушив умов безпечного функціонування системи. Таку суму можливо представити у наступному вигляді:

$$\psi_j = \bigwedge_{i \in K_{\psi_j}} \bar{Z}_i, \quad (2)$$

де K_{ψ_j} - множина номерів, які відповідають j-му МПЗН.

Інакше кажучи, МПЗН описує один з можливих способів порушення небезпечного функціонування за допомогою мінімального набору заборонених умов \bar{Z}_i .

Кожна реальна технічна система має кінцеву кількість НШНФ ($l = 1; 2; \dots; d$) та ($j = 1; 2; \dots; n$). Використав ці поняття, можна по-різному записати умови НСС:

у вигляді диз'юнкції усіх НШНФ

$$y(Z_1, \dots, Z_m) = y(Z_m) = \bigvee_{l=1}^d \varphi_l = \bigvee_{l=1}^d \left[\bigwedge_{i \in K_{\varphi_l}} Z_i \right]; \quad (3)$$

через кон'юнкцію інверсій усіх МПЗН

$$y(Z_1, \dots, Z_m) = y(Z_m) = \bigwedge_{j=1}^n \psi_j = \bigwedge_{j=1}^n \left[\bigvee_{i \in K_{\psi_j}} Z_i \right]. \quad (4)$$

Таким чином, умови небезпечного стану реальної системи можна навести у вигляді умов небезпечного функціонування еквівалентної системи, структура якої є паралельним з'єднанням НШНФ, або іншої еквівалентної системи, структура якої є послідовне з'єднання інверсій МПЗН.

Далі запишемо рівняння для знаходження ймовірності небезпечного стану системи:

$$H_c = P\{y(Z_m) = 1\} = f_1(H_{Z_i}, B_{Z_i}), \quad (5)$$

або ймовірність її безпечного стану

$$B_c = P\{\bar{y}(Z_m) = 1\} = f_2(H_{Z_i}, B_{Z_i}), \quad (6)$$

де $H_{Z_i} = P\{Z_i = 1\}$ та $B_{Z_i} = P\{\bar{Z}_i = 1\}$.

Для складних задач, до якої, наприклад, відноситься оцінка ризику вибуху газової суміші на компресорній станції, перехід до ймовірності за наведеними формулами (5)-(6) досить складна та кропітка робота.

По-перше, необхідно побудувати еквівалентну схему системи безпеки. Так реальній технологічній схемі автомобільної газонакопичувальної компресорної станції (рис. 1) буде відповідати наступна еквівалентна структура паралельного з'єднання НШНФ (рис. 2).

Проведений аналіз свідчить, що найбільш небезпечними з позиції виникнення аварійної ситуації (витікання газової суміші та досягнення вибухонебезпечної концентрації) є компресорне відділення та відділення запираючої апаратури, які, у свою чергу, обладнані системою газоаналізу та вентиляції СГВ 1 та відповідно-дублюючою системою СГВ 2, запуск якої, у разі виходу зі строю основної системи, відбувається автоматично САД або примусово оператором - 9 (див. рис. 1)

Потрібно проаналізувати розвиток небезпечної ситуації - досягнення небезпечної концентрації, вибух, пожежа. У якості НСС прийнято сам факт вибуху, а розвиток подій, які можуть спричинити даний сценарій представлені на рис. 3 у вигляді ДНС, основу якого становлять небезпечні фактори відібрані внаслідок експертизи I етапу.

У якості первинних ІУ виступають Z_1, Z_2 – порушення герметичності газопроводу у компресорному відділенні і відділенні запираючої апаратури у разі техногенної аварії; Z_3, Z_4 – відмови систем СГВ-1 і СГВ-2 у разі

техногенної аварії; Z_5 – неможливість включення системи САД у разі нечітких дій оператора.

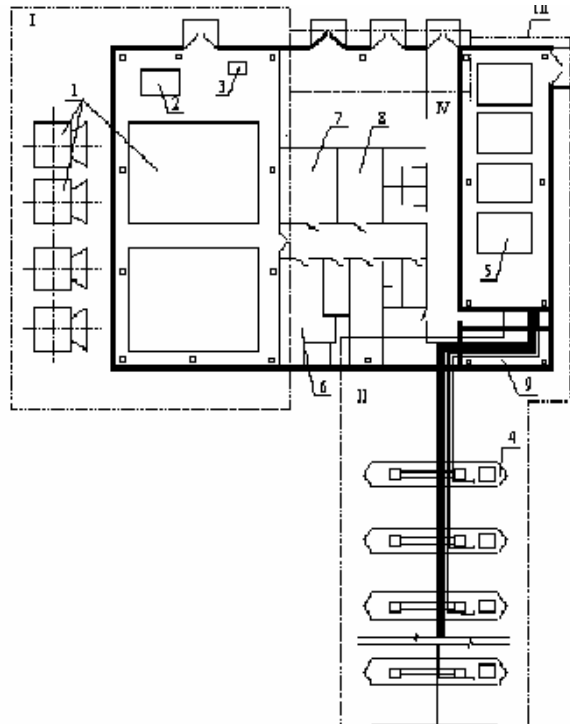


Рис. 1 – Схема газонакопичувальної компресорної станції (I – компресорне відділення: 1 – компресорна установка, 2 – блок сушки газу, 3 ємність збору рідини; II – розподільча газу: 4 – колонка газозаправна; III – відділення запираючої апаратури: 5 – блок арматурний подвоєний; IV – службові приміщення: 6 – вентиляційна камера, 7 – електрощитова, 8 – щитова, 9 – операторська

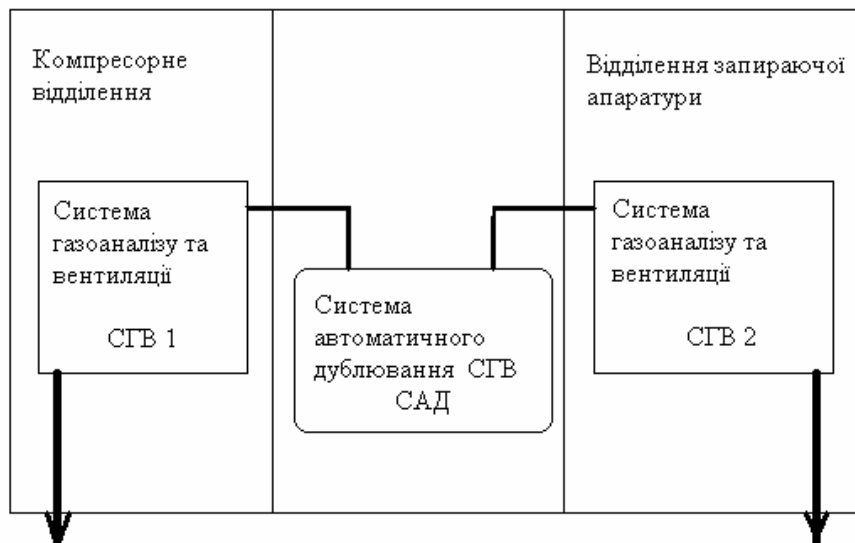


Рис. 2 – Побудова еквівалентної схеми системи безпеки газонакопичувальної компресорної станції

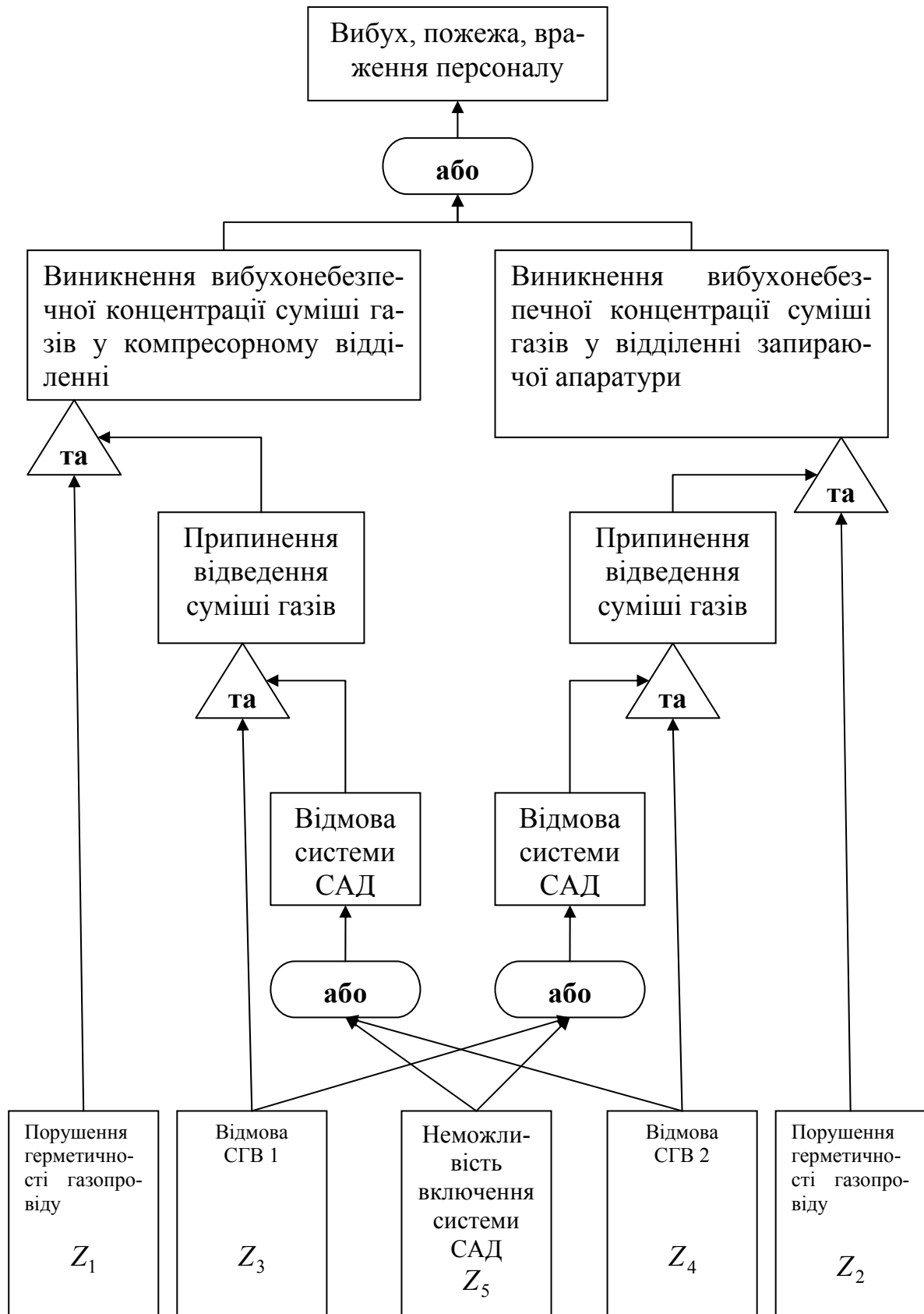


Рис. 3 - Побудова дерева небезпечних станів еквівалентної системи

Модельовання процесу виникнення техногенної аварії на об'єктах підвищеної безпеки нафтогазової промисловості

Складемо ФНС:

$$\varphi_1 = Z_1 Z_3 Z_4; \varphi_2 = Z_1 Z_3 Z_5; \varphi_3 = Z_2 Z_4 Z_5; \varphi_4 = Z_2 Z_4 Z_5; \quad (7)$$

$$y(Z_1, \dots, Z_5) = y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_1 Z_3 & Z_4 \\ & Z_5 \\ Z_2 Z_4 & Z_3 \\ & Z_5 \end{vmatrix},$$

де кон'юнкції позначені розташуванням аргументів Z_i у рядку, а диз'юнкції – їх розташуванням у стовпці.

Функція алгебри логіки (7), яка записана у диз'юнктивно нормальній формі (ДНФ), монотонна та циклічна. Для проведення подальших розрахунків її необхідно перетворити за допомогою алгоритму ортогоналізації у ортогональну ДНФ (ОДНФ). У результаті проведення цієї процедури ФНС в ОДНФ має вигляд:

$$y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_1 Z_3 Z_4 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_4 Z_5 \\ \bar{Z}_1 Z_2 Z_3 Z_4 \\ Z_2 \bar{Z}_3 Z_4 Z_5 \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Відповідно до рівнянь (5), (6) та формалізованим записом умов виникнення небезпечного стану об'єкту контролю визначимо рівняння для розрахунку імовірності вибуху газової суміші на газонакопичувальній компресорній станції:

$$H_c = P\{y(Z_5) = 1\} = H_1 H_3 H_4 + H_1 H_3 B_4 H_5 + B_1 H_2 H_3 H_4 + H_2 B_3 H_4 H_5. \quad (9)$$

За допомогою математичного апарату наведеному у [10] визначимо індивідуальні та парні внески ІУ Z_i в небезпеку системи

$$B_{Z_i} = H_c - H_{CB}^{(i)}; B_{Z_i \vee Z_j} = H_c - H_{CBB}^{(i,j)}, \quad (10)$$

де $H_{CB}^{(i)} = P\{y_B^{(i)}(Z_m) = 1\}$; $H_{CBB}^{(i,j)} = P\{y_{BB}^{(i,j)}(Z_m) = 1\}$ – вірогідності небезпеки системи при відсутності і-го; або сукупності і-го та j-го ІУ.

Рівняння для $H_{CB}^{(i)}$, $H_{CBB}^{(i,j)}$ легко визначаються шляхом підстановки у (9) замість $H_{Z_i} = 0$ та $B_{Z_i} = 1$.

$$\begin{aligned}
 H_{CB}^{(1)} &= H_2 H_3 H_4 + H_2 B_3 H_4 H_5; \\
 H_{CB}^{(2)} &= H_1 H_3 H_4 + H_1 H_3 B_4 H_5; \\
 H_{CB}^{(3)} &= H_2 H_4 H_5; \\
 H_{CB}^{(4)} &= H_1 H_3 H_5; \\
 H_{CB}^{(5)} &= H_1 H_3 H_4 + B_1 H_2 H_3 H_4
 \end{aligned}$$

Якщо, наприклад, $H_1 = H_2 = 10^{-5}$; $H_3 = 2 \cdot 10^{-3}$; $H_4 = 10^{-3}$; $H_5 = 10^{-2}$, внески ІУ Z_i в небезпеку системи приведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Величини внесків небезпечних умов у безпечне функціонування системи

I	1	2	3	4	5
$B_{Z_i} \cdot 10^{10}$	2.2	1.2	2.4	1.4	3.0
B_{Z_i} / H_C	0.650	0.354	0.710	0.413	0.885

$$B_{Z_5} > B_{Z_3} > B_{Z_1} > B_{Z_4} > B_{Z_2}; H_C = 3,4 \cdot 10^{-10}.$$

Приведені результати свідчать, що основний вклад у небезпеку системи вносять відмова елементів еквівалентної системи Z_5 та Z_3 .

Наступний крок дослідження – оцінка парних внесків ІУ (табл. 2).

Таблиця 2 – Величини парних внесків небезпечних умов у безпечне функціонування системи

I	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
J	2	3	4	5	3	4	5	4	5	5
$B_{Z_i \vee Z_j} \cdot 10^{10}$	3.4	2.4	3.4	3.2	3.4	1.4	3.2	3.4	3.4	3.4
$B_{Z_i \vee Z_j} / H_C$	1	0.71	1	0.94	1	0.41	0.94	1	1	1

Як бачимо з табл. 2. парних вкладів шість, а саме:

$$B_{Z_1 \vee Z_2} = B_{Z_1 \vee Z_4} = B_{Z_2 \vee Z_3} = B_{Z_3 \vee Z_4} = B_{Z_3 \vee Z_5} = B_{Z_4 \vee Z_5} = H_C. \quad (11)$$

Внески інших пар розподілені наступним чином:

$$B_{Z_1 \vee Z_5} = B_{Z_2 \vee Z_3} > B_{Z_1 \vee Z_3} > B_{Z_2 \vee Z_4}. \quad (12)$$

Ці рівняння мають логічне пояснення, але для систем з великим числом ІУ та складними логічними зв'язками виявлення ризику всієї системи, вкладів індивідуальних та парних внесків ІУ є складною задачею, яку неможливо вирішити без відповідного математичного апарату. Інвертуючи логічну функцію (7) отримуємо шість МПЗН, які „захищають” систему від небезпеки:

$$\bar{y}(Z_5) = \left| \begin{array}{c|c} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \\ \hline \bar{Z}_4 \bar{Z}_5 & \bar{Z}_3 \bar{Z}_5 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_1 \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_2 \bar{Z}_3 \\ \bar{Z}_3 \bar{Z}_4 \\ \bar{Z}_3 \bar{Z}_5 \\ \bar{Z}_4 \bar{Z}_5 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c|c} \bar{Z}_1 & \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 & \bar{Z}_4 \\ \hline \bar{Z}_3 & \bar{Z}_5 \\ \bar{Z}_4 & \end{array} \right|. \quad (13)$$

Даний підхід до аналізу безпеки системи дозволяє у першому наближенні кількісно оцінити важливість різних ІУ при відсутності даних про вірогідність їх виникнення B_{Z_i} . Для цього вводиться „ваговий коефіцієнт” [10]:

$$g_{Z_i} = P\{\Delta_{Z_i} y(Z_m)\}, \quad (14)$$

де $\Delta_{Z_i} y(Z_m) = y_1^{(i)}(Z_m) \wedge \bar{y}_0^{(i)}(Z_m)$ – булева різниця функції $y(Z_m)$ за аргументом Z_i ; $y_1^{(i)}(Z_m)$ – одинична функція, яка отримана шляхом заміни Z_i на одиницю; $y_0^{(i)}(Z_m)$ – нульова функція, яка отримана шляхом заміни Z_i на нуль. Для того щоб провести розрахунок вірогідності (14) приймаємо наступні умови:

$$H_{Z_i} = B_{Z_i} = 0.5, \quad i = 1, \dots, m. \quad (15)$$

Таким чином, бульові різниці ФНС (7) для усіх аргументів мають наступний вигляд:

$$\Delta_{Z_1} y(Z_5) = \left| \begin{array}{c} \bar{Z}_2 Z_3 Z_4 \\ \bar{Z}_2 Z_3 Z_5 \\ \hline Z_3 \bar{Z}_4 Z_5 \end{array} \right|; \quad (16)$$

$$\Delta_{Z_2}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_2 Z_3 Z_4 \\ \bar{Z}_1 Z_4 Z_5 \\ \bar{Z}_3 Z_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad (17)$$

$$\Delta_{Z_3}y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_1 \bar{Z}_2 Z_4 \\ Z_1 \bar{Z}_2 Z_5 \\ Z_1 \bar{Z}_4 Z_5 \\ Z_1 Z_4 \bar{Z}_5 \\ Z_2 Z_4 \bar{Z}_5 \end{vmatrix}; \quad (18)$$

$$\Delta_{Z_4}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 Z_2 Z_3 \\ \bar{Z}_1 Z_2 Z_5 \\ Z_2 \bar{Z}_3 Z_5 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_5 \\ Z_2 Z_3 \bar{Z}_5 \end{vmatrix}; \quad (19)$$

$$\Delta_{Z_5}y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_2 \bar{Z}_3 Z_4 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_4 \end{vmatrix}. \quad (20)$$

Після приведення рівнянь (16) – (20) до ОДНФ вони мають наступний вигляд:

$$\Delta_{Z_1}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_2 Z_3 Z_4 \\ Z_3 \bar{Z}_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{Z_2}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 Z_3 Z_4 \\ \bar{Z}_3 Z_4 Z_5 \end{vmatrix}; \quad (21)$$

$$\Delta_{Z_3}y(Z_5) = \begin{vmatrix} Z_1 \bar{Z}_2 Z_4 \\ Z_1 \bar{Z}_4 Z_5 \\ Z_2 Z_4 \bar{Z}_5 \end{vmatrix}; \quad \Delta_{Z_4}y(Z_5) = \begin{vmatrix} \bar{Z}_1 Z_2 Z_3 \\ Z_1 Z_3 \bar{Z}_5 \\ Z_3 \bar{Z}_3 Z_5 \end{vmatrix}.$$

Підставив у рівняння (20) та (21) вірогідність, яка дорівнює 0.5 з умови (15), отримаємо $g_{Z_1} = 0.25$; $g_{Z_2} = 0.25$; $g_{Z_3} = 0.375$; $g_{Z_4} = 0.375$; $g_{Z_5} = 0.25$. З об'єктивного розгляду, увагу слід привернути розгляду умов Z_3 та Z_4 .

Вагові коефіцієнти парних внесків ІУ Z_i та Z_j визначаються як:

$$g_{Z_i \wedge Z_j} = P\{\Delta_{Z_i} y(Z_m) \wedge \Delta_{Z_j} y(Z_m)\};$$

$$g_{Z_i \vee Z_j} = g_{Z_i} + g_{Z_j} - g_{Z_i \wedge Z_j},$$
(22)

де $g_{Z_i \wedge Z_j}$ – спільна вага; $g_{Z_i \vee Z_j}$ – сумарна вага елементів Z_i та Z_j у системі. Результат розрахунку за рівняннями (20), (21) та (22) наведено у таблиці 3.

Складові елементи ваги вказують на ступень важливості внесків ІУ у систему безпеки газонакопичувальної компресорної станції, які ілюструються графом взаємозв'язків елементів ФНС (рис. 3), де товщина ліній зв'язку відповідає результатам табл. 3.

Таблиця 3 – Величини вагових коефіцієнтів взаємодії елементів функції безпеки системи

i	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
j	2	3	4	5	3	4	5	4	5	5
$g_{Z_i \wedge Z_j}$	0.0625	0.125	0.0625	0.0625	0.0625	0.125	0.0625	0.0625	0.125	0.125
$g_{Z_i \vee Z_j}$	0.4375	0.500	0.4375	0.4375	0.4375	0.500	0.4375	0.6475	0.500	0.500

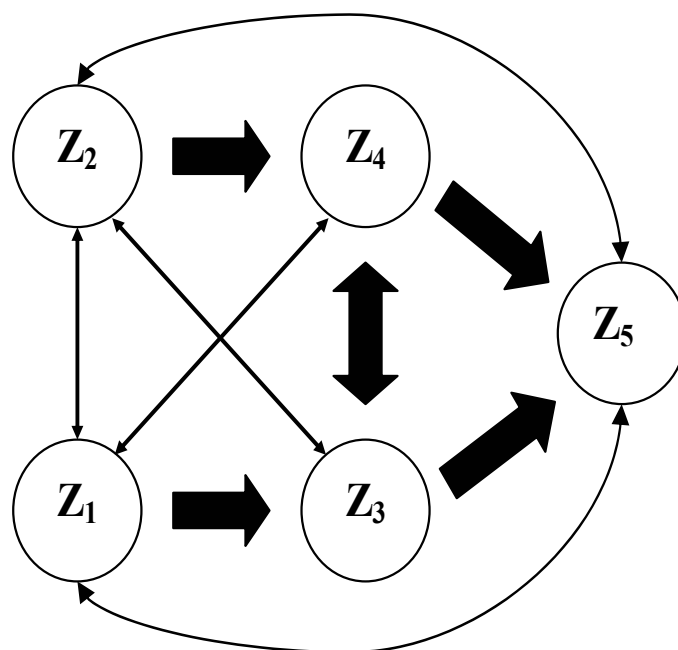


Рис. 4 – Граф взаємозв'язків елементів забезпечення безпечного функціонування системи

Як бачимо, аргументи Z_3 та Z_4 мають три контакти. Суміжні вершини мають два контакти, і відповідно важать дещо менше - 0,5, ще меншу вагу (0.4375) мають дальні вершини, незважаючи на те, що вони також мають два контакти.

Висновки. Таким чином ми отримали найпростіший сценарій виникнення аварії на газонакопичувальній компресорній станції з урахуванням найбільш впливових, з погляду експертів [14], небезпечних факторів. Оцінили вразливість технологічних елементів системи та їх взаємовплив на забезпечення ефективного функціонування об'єкту. Побудували детерміновану модель, яка дозволяє застосувати практичні міри захисту від попадання системи об'єкта контролю у небезпечні стани та надалі розробити дієві заходи пов'язані, як з технічним переоснащенням об'єктів нафтогазового комплексу, так і підвищенням рівня підготовки персоналу цих об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2002 році” – К.: Чорнобильінтерінформ, 2003. - 291 с.
2. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2003 році” – К.: Чорнобильінтерінформ, 2004. - 320 с.
3. Національна доповідь „Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2004 році” – К.: Чорнобильінтерінформ, 2005. - 298 с.
4. Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю., Коротинський П.А., Миронец С.М., Росоха В.О., Тютюник В.В., Чучковский С.М., Шевченко Р.І. Моніторинг надзвичайних ситуацій. - Харків: АЦЗУ, 2005. – 530 с.
5. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М., 2003. – 506 с.
6. Васюков Г.В., Корольченко А.Я., Рубцов В.В. Образование взрывоопасных объемов при аварийном поступлении пропан-бутановых смесей в помещение // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – вып. 6. – С. 39-42.
7. Вишняков Я.Д., Лосева В.В. О влиянии человеческого фактора в задачах ликвидации чрезвычайных ситуаций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2005. – вып. 4. – С. 137-146.
8. Едигаров А.С., Сулейманов В.А. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа при разрыве газопровода // Математическое моделирование. – 1995, - т. 7. № 4. – С. 37-52.

9. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. - М.: Наука, 1986. – 350 с.
10. Рябинин И.А. Концепция логико-вероятностной теории безопасности // Приборы и системы управления. – 1993. - № 10. – С. 6 - 9.
11. Серебровский А.Н. Об оценках ситуаций по потенциально опасным объектам на этапе превентивного мониторинга // Мат. машини і системи. – 2000. – № 1. – С. 57 – 64.
12. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. / Под общ. редак. Сиромятникова В.С. – М.: Машиностроение, 1984, - 620 с.
13. Чурбанов О.И., Овсяник А.И., Олтян И.Ю. Научно-методический аппарат прогнозирования параметров опасных зон для населения и территорий при авариях на магистральных газопроводах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2004. – вып. 1. – С. 80-84.
14. Шевченко Р.І., Одарюк П.В., Тютюник В.В. Оцінка ефективності інтегрованої системи безпеки функціонування підприємств нафтопереробної промисловості // Проблеми пожежної безпеки. – 2005. – вип. 18. – С. 185 – 191.

