

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2023-47-2-78-89
УДК 621.56/.59:658.588(045)

*Хорольський В. П., д-р техн. наук,
професор
Коренець Ю. М., старший викладач
Петрушина Ю.М.*

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

ІДЕНТИФІКАЦІЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ХОЛОДИЛЬНІЙ МАШИНІ ПРОМИСЛОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

UDC 621.56/.59:658.588(045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering
Science, Professor
Korenets Yu. M., Senior Lecturer
Petrushyna Yu. M., a graduate of a master's
degree*

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rih, Ukraine), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

IDENTIFICATION OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE REFRIGERATING MACHINE OF AN INDUSTRIAL REFRIGERATOR

Мета. Метою статті є розробка рекомендацій для підвищення безаварійності складних промислових об'єктів за рахунок раннього розпізнавання аварійних ситуацій шляхом ідентифікації їх експлуатаційних параметрів.

Методи. У статті використано методи нечіткі методи для розробки моделі та методи розпізнавання аварійних ситуацій, аварій і оптимізації роботи холодильних машин, холодозабезпечення обладнання для заморожування продуктів харчування. Серед нечітких методів використано нечітку алгебру бінарних оцінок надійності обладнання холодильних машин: компресорів, конденсаторів, систем керування, систем енергоспоживання та випарників.

Результати. З метою створення бази даних і бази знань про небезпечні ситуації в процесах виробництва штучного холоду й холодозабезпечення промислового холодильника проведено аналіз виробничих ситуацій і станів обладнання процесів заморожування продуктів харчування.

Запропонований алгоритм оцінки експлуатаційних параметрів складається з таких основних етапів, як декомпозиція підприємства – промислового холодильника на відповідні складові технологічних блоків; визначення основних аварійних ситуацій в системі; визначення нормальних значень робочих характеристик процесу холодозабезпечення холодильних камер підприємства-холодильника; визначення можливих причин і варіантів дій щодо усунення несправностей; визначення взаємозв'язків несправностей та їх причин для відповідної комбінації експлуатаційних параметрів; створення бази даних можливих аварійних ситуацій для кожної несправності.

© Хорольський В. П., Коренець Ю. М.,
Петрушина Ю.М.

Розроблена система розпізнавання аварійних ситуацій має такі переваги: швидкодію алгоритмів розпізнавання аварійних ситуацій та захисту обладнання від аварій; можливість візуалізації аварійних ситуацій оператору в режимі реального часу та надання рекомендацій операційному персоналу щодо припущеного подолання аварійної ситуації; гнучка схема ICOAC опису і введення правил установки.

На основі проведеного тестування зроблено висновок, що ICOAC є найбільш ефективним засобом при рішенні задач ідентифікації аварійних ситуацій в режимі реального часу.

Ключові слова: холодильна машина, аварія, компресор, алгоритми, нейронечітка математика, розпізнавання аварій.

Постановка проблеми. Аварійні ситуації в промислових холодильниках (ПРХ) можуть становити серйозну небезпеку як для продуктів, що зберігаються, так і для персоналу.

Розповсюдженими надзвичайними ситуаціями, які можуть спостерігатися в роботі професійного холодильного обладнання, є:

- перепади напруги в електричній мережі або припинення живлення, що може призвести до підвищення температури всередині холодильника і призвести до псування продуктів, які в ньому зберігаються;
- різкі зміни температури в камерах холодильника, викликані будь-якими причинами, можуть вплинути на якість і безпеку харчових продуктів;
- витік холодоагенту може не тільки вплинути на ефективність системи охолодження, але й зашкодити здоров'ю людей та навколишньому середовищу;
- неправильно закриті або несправні двері холодильних камер можуть призвести до коливань температури та порушити цілісність зберігаються товарів;
- збої в самій системі охолодження можуть призвести до недостатнього охолодження та подальшого псування продуктів, що зберігаються;
- електричні несправності або перегрів компонентів можуть становити в промислових холодильниках небезпеку пожежі;
- забруднення товарів, що зберігаються, внаслідок розливів, витоків або неправильного поводження з системою охолодження і продуктами в холодильній камері.

Запобігти аваріям може регулярне технічне обслуговування, навчання персоналу та впровадження заходів безпеки. Такі дії мають вирішальне значення для запобігання аварійним ситуаціям у промисловому холодильнику або пом'якшення їх наслідків. Проте надзвичайно важливо регулярно моніторити роботу промислового холодильника на предмет виникнення можливих аварійних ситуацій та мати чіткі плани реагування на надзвичайні ситуації у випадку їх виникнення. Дана стаття присвячена розробці автоматизованої системи розпізнавання й попередження аварійних ситуацій в промислових холодильниках на підставі регулярного контролю і аналізу їх експлуатаційних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, які пов'язані з системним аналізом складних технологічних процесів, а також розробкою їх систем ідентифікацій з розпізнавання аварійних ситуацій з використанням комп'ютерних технологій і технологій штучного інтелектуального керування складними технологічними процесами розглядаються в наукових роботах авторів М. З. Згуровського, І. Б. Сіроджі, Ю. Г. Сухенка, О. А. Литвиненка, М. Г. Хмельнюка, О. С. Подмазка та інших представників вітчизняних наукових шкіл [1-7]. У той же час ці системи розроблялися, в основному, для технологій машинобудування, хіміко-технологічних збагачувальних процесів та металургії. Тому вони не враховують особливості технологічного процесу одержання штучного холоду, керування процесами заморожування продуктів харчування з різними режимами холодозабезпечення холодильних камер підприємства-холодильника та характеристиками зберігання продуктів харчування. Необхідно зазначити, що особливістю сучасних розробок іноземних авторів в цьому напрямку

[8, 9] є використання нечіткого підходу до розробки моделей управління типу «ситуація – дія» і «ситуація – стратегія управління – дія».

Метою статті є розробка рекомендацій для підвищення безаварійності складних промислових об'єктів за рахунок раннього розпізнавання аварійних ситуацій шляхом ідентифікації їх експлуатаційних параметрів.

Виклад основного матеріалу. Інтелектуальна ситуаційна модель складного технологічного процесу (СТП) виробництва штучного холоду холодильними машинами промислового холодильника (ПРХ) і холодозабезпечення холодильних камер з оптимізацією параметрів заморожування може бути представлена у вигляді:

$$SM : \{X, Y, BP, BN, AI\}, \quad (1)$$

де X, Y – координати моделі (вхідні та вихідні параметри);

BP – база даних щодо продукційних правил;

BN – база даних щодо нормативів;

AI – алгоритм ідентифікації нечітких ситуацій.

Вхідними координатами моделі X є інформація (кількісна і якісна), яку ОПР вносить до бази знань щодо ситуації з холодозабезпечення холодильних камер ПРХ. Вихідними координатами моделі Y є інформація, яка надається ОПР промислового холодильника і включає:

- характеристику поточної ситуації;
- ознаки і причину несправності;
- спосіб усунення визначеної несправності (аварійної ситуації).

Внутрішня логіка моделі реалізує знання експертів щодо попередження аварійних ситуацій. Вона представлена у продукційній формі і складається в термінах опису стану об'єкту управління.

База даних продукційних правил BP має у формалізованому вигляді знання експертів про аварійні ситуації, несправності/аварії, а також про причини їх виникнення і технології управління процесом виведення ПРХ і його обладнання на рівень чіткого раціонального холодозабезпечення холодильних камер. База даних норми BN зберігає області нормальних значень для контрольованих величина та інших необхідних даних.

Будемо використовувати комбінації чітко-нечіткого виведення знань експертів.

Інтелектуальна ситуаційна модель (рис.1) описує залежність ситуації на об'єкті від сукупності величин факторів, які домінують в оцінці ситуації з метою визначення стану об'єкту управління холодильними машинами ПРХ.

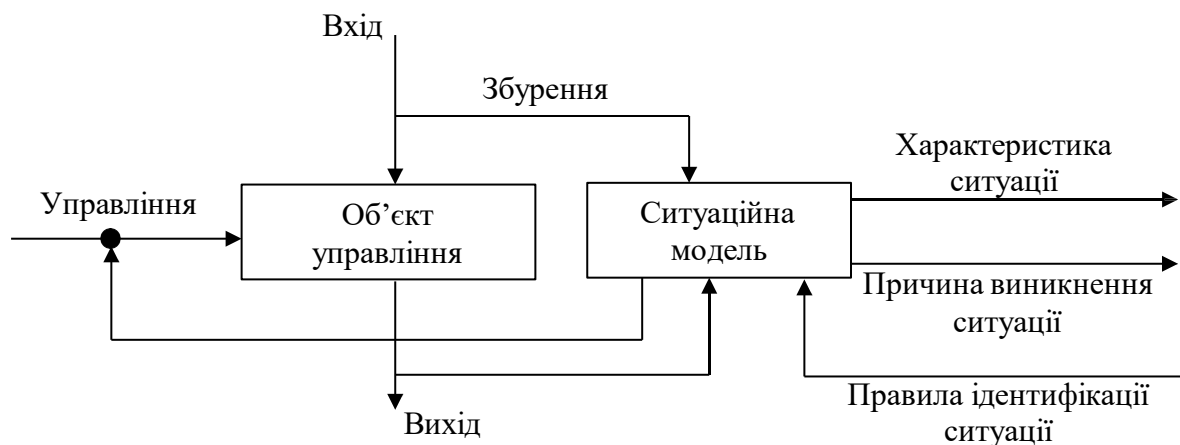


Рисунок 1 – Інтелектуальна ситуаційна модель (ИСМ) промислового холодильника

У поточний момент часу здійснюється оцінка усіх вхідних змінних ІСМ шляхом їх вимірювання або введення якісних параметрів оператором. Після цього інформація надходить в управлінський пристрій. Поточне значення кожної вхідної змінної описано відповідною нечіткою множиною, яка визначається БЗ, що зберігається в пам'яті ЕОМ.

Експертний аналіз розробленої моделі дозволяє провести її параметричну корекцію і встановити область необхідних умов, за яких точність результатів моделювання знаходиться в допустимих межах. Експертний аналіз також показав, що моделі адекватні процесу завдяки доведенню до ОПР результатів щодо відомих (еталонних) властивостей об'єкта управління.

Виникає потреба дослідження питання адаптації ІСМ до умов реального процесу холодозабезпечення холодильних камер.

Структура ІСМ складається із двох компонентів. Правила першого компоненту потрібні для завдання взаємозв'язків НС у продукційній базі правил на верхньому рівні інформаційної системи управління ПРХ. Правила другого компонента задаються один раз методом експертної оцінки (ЕО).

З метою створення бази даних і бази знань про небезпечні ситуації в процесах виробництва штучного холоду й холодозабезпечення $N - ХК$ промислового холодильника проведемо аналіз виробничих ситуацій і станів обладнання процесів заморожування продуктів харчування.

Для включення нових знань в ІСМ необхідно виконати наступний алгоритм:

1. Для нової аварійної ситуації ОПР фіксує набір актуальних термів.
2. Експерт використовує одержаний набір термів і діапазони зміни експлуатаційних параметрів для формування опису нового правила.
3. Виконується перевірка на збитковість і суперечливість.
4. Правило вноситься у базу знань або проводиться його корекція.

Алгоритм оцінки експлуатаційних параметрів складається із наступних основних етапів:

1. Декомпозиція ПРХ на відповідні складові технологічних блоків.
2. Визначення основних аварійних ситуацій в системі: холодильна машина $\rightarrow$ холодопостачання $\rightarrow$ холодильна камера $\rightarrow$ якість заморожуваного продукту.
3. Визначення нормальних значень робочих характеристик процесу холодозабезпечення холодильних камер ПРХ.
4. Визначення можливих причин і варіантів дій щодо усунення несправностей.
5. Визначення взаємозв'язків несправностей та їх причин для відповідної комбінації експлуатаційних параметрів.
6. Створення бази даних можливих аварійних ситуацій для кожної несправності.

З метою опису ситуації в ПРХ експертами задаються правила продукційної бази знань у такому вигляді:

«Якщо ($P = P1M$ та $P = P2M$ І...І $P = PKM$), тоді ($PR = PR1M$ та $SP = SP1M$) або ($PR = PR2M$ та $SP = SP2M$), ..., або ($PR = PRLM$ та $SP = SPLM$)»,

де PR – технологія попередження або усунення несправностей.

Наприклад: «Якщо (висока температура нагнітання пару компресором, найбільш високий перегрів пару), то (причина – недостатній рівень подачі води до сорочки компресора) або (причина – засолення рідинного трубопроводу або рідинної лінії та дії (дорівнює) = перевірити стан регулюючого вентиля або рідинної лінії)».

Для однієї і тієї ж ситуації, у загальному випадку, може бути декілька способів усунення причин цього відхилення і тому, для вказівки причини несправності з невеликою ймовірністю, у продукційних правилах пропонується використати коефіцієнт упевненості K_c ,

який є суб'єктивною оцінкою фахівця-експерта щодо домінуючої ймовірності розглянутої причини в конкретній аварійній ситуації, а також виконати перевірку на збитковість і достовірність. Значення коефіцієнта упевненості K_C розташовується на інтервалі $[0,1]$ можуть бути визначенні методом експертних оцінок [10]. Для кожного експлуатаційного параметра (рис. 2), який визначає аварійні ситуації, існують зони небезпечних значень H та L .

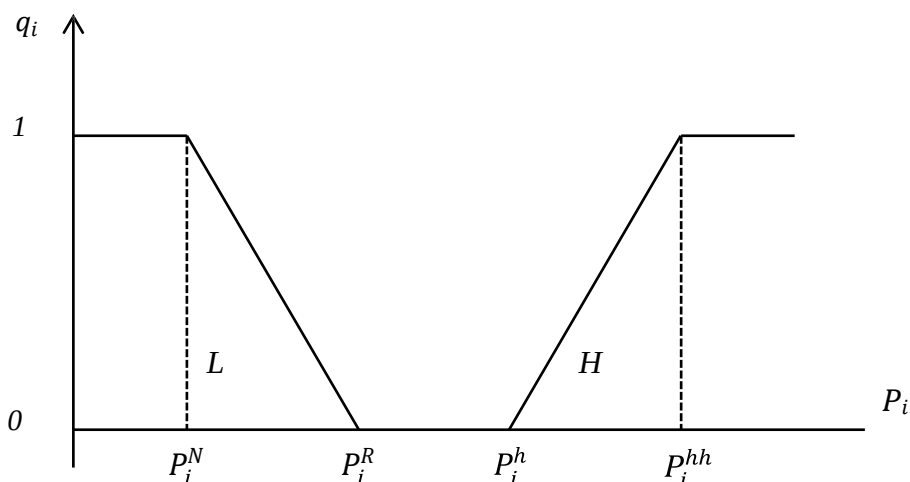


Рисунок 2 – Параметричні показники

$$q_i = \frac{P_i - P_i^h}{P_i^{hh} - P_i^h}; \quad q_i = \frac{P_i^l - P_i}{P_i^l - P_i^h} \quad (2)$$

За значеннями параметричного показника ОПР приймає рішення про безпеку виникнення аварійних ситуацій в умовах холодозабезпечення холодильних камер ПРХ.

Безмірна величина q є критерієм безаварійності і відображає поточні значення параметру P_i , $1 < i < n$, характеризує одну або дві зони несприятливих значень. З рисунку і моделі (2) визначаємо:

P_i – значення параметра поточні;

P_i^h , P_i^l – значення параметра попереджувальні;

P_i^{hh} , P_i^{ll} – значення параметра межові.

Припустимо значення величини q , близьке до нуля, визначає безпечний рух технологічного процесу заморожування продукції харчування.

Перейдемо до розробки методики ідентифікації аварійних ситуацій і передбачимо у ній наступні кроки:

1. Множину значень параметрів стану, вимірюваних за допомогою датчиків, з яких надходять на вхід ІСОАС:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_Q\}, \quad (3)$$

де Q – кількість параметрів.

Множина X надходить на вхід у ІСОАС дискретно через визначенні проміжки часу T . Період часу T є таким, що піддається налаштуванню.

Після цього із множини X виділяється множина параметрів групи A :

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_w\}, \quad (4)$$

де w – кількість параметрів.

2. Для параметрів групи A визначається швидкість їх зміни:

$$V_i = (a_i^K - a_i^{K-1})/T, \quad (5)$$

де K – порядковий номер такту опитування датчиків.

3. Для параметрів групи A визначення часу, за які значення параметру може досягти критичного значення при тій же швидкості зміни параметра:

$$\tau_j = (a_j^{cr} - a_j^K)/V_j, \quad (6)$$

де a_j^{cr} – критичні значення для j -го параметру, при якому спрацьовує ПАЗ. Якщо $\tau_j \leq \tau_{jcr}$, де τ_{jcr} – критичний час, щодо можливого виникнення аварійної ситуації, є параметром налаштування, то ІСОАС оцінює ситуацію, як АС з вказівкою ознаки несправності.

4. Для усіх параметрів стану визначаються прогнозовані значення методом екстраполяції:

$$x_i^P = x_i^K + (x_i^K - x_i^{K-1}), \quad (7)$$

де x_i^P – прогнозовані значення для i -го параметра.

5. Прогнозовані значення параметрів стану порівнюються з нормами:

$$P_L = (X^P, NR_i), \quad (8)$$

де NR_i – діапазон нормальних значень для i -го параметра, визначений на основі правил безпечної експлуатації ПО, технологічного регламенту, інструкцій заводу – виготовлення, а також експертних значень. Діапазон NR_i визначається граничними значеннями $NR_i \min$ та $NR_i \max$.

6. Після порівняння з нормами в робочу пам'ять ЕОМ в режимі реального часу заносять ознаки несправностей $P_{i \min}$ та $P_{i \max}$, які визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{якщо } x_i^P \geq NR_{i \max} \text{ і } \Delta x_i > 0, \text{ тоді } P_i &= P_{i \max}, \\ \text{якщо } x_i^P \leq NR_{i \min} \text{ і } \Delta x_i < 0, \text{ тоді } P_i &= P_{i \min}, \end{aligned}$$

де $\Delta x_i = x_i^K - x_i^{K-1}$.

Наприклад, для параметра «температура на вході з компресора $N_1 \geq t_{n1}$ », для якої, в базі нормативних даних, є граничні значення $NR_{i \min}$ та $NR_{i \max}$, ознаку несправності встановлюємо таким чином:

якщо $t_{n1} \geq NR_{i \min}$ та $\Delta t_{n1} > 0$, то P_i = «висока температура на вході з компресора N_1 »;

якщо $t_{n1} \leq NR_{i \min}$ та $\Delta t_{n1} < 0$, то P_i = «низька температура на виході з компресора N_1 ».

7. Проводиться обробка правил, яка визначає причину АС, варіанти їх усунення та пропонується набір рішень.

Розроблену методику можливо використати для оцінки, також, вихідних показників якості замороженої продукції, для цього сформована база продукційних правил, яка містить правила в кількості 327, у тому числі 106 правил відносяться до оцінки можливих АС, 233 – дозволяють визначати причини АС і варіанти їх усунення, а також, підготовлена нормативна база.

Розглянемо архітектуру ІСОАС та процедуру її впровадження в АСУТП ПРХ. Будемо вважати, що ІСОАС є інтегровальним шаром захисту, який значно скорочує ризики аварійних ситуацій і знаходиться перед системою протиаварійних засобів захисту (ПАЗ) за умови, що загальний коефіцієнт захисту системи нижче 0,2. Розглянемо більш детально роль цього коефіцієнту і математичну модель роботи комплексу безпеки ХМПРХ і ПАЗ, які є марковським процесом $\eta(t)$ [11], який для будь-якого $t \in [0, T]$ визначається виразом:

$$\eta(t) = \xi_{k(t)}(t), \quad (9)$$

$k(t)$ – ціле число з множини $\{1, 2, \dots, n\}$;
 $\eta = T/\tau$ визначається за умови:

$$k(t) = K, \text{ якщо } t \in [(k-1)\tau, k\tau]. \quad (10)$$

Тоді $\xi_k(t) = \xi(a^{(k)}, A^{(k)}, t)$ – це однорідний марковський процес, який віднесено до інтервалу часу $[t_k - 1, t_k] = [(K-1)\tau, K\tau]$, T – час експлуатації, τ – період між контрольними перевірками. Цей визначається вектором початкового розподілення та матрицею ймовірності переходів $A^{(k)}$, де $a^{(k)} = (a_i^{(k)}, \dots, a_s^{(k)})$, $\Lambda^{(k)} = (a_{ij}^{(k)})$, а $\lambda_{ij}^{(k)}$ – частота переходу і стану i в стан j , де: $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, 5$.

Під поняттям ризику експлуатації ХМ ПРХ приймаємо частоту потрапляння його технологічного процесу виробництва холоду в критичну зону. Якісний показник ефективності роботи системи ПАЗ щодо зниження цієї частоти є КСР(ф), який дорівнює відношенню частоти вхідних запитів d до інтенсивності h запитів на виході ПАЗ. Тут h – середня частота потраплянь системи в стан безумовної АС (п'ятий стан). Значення h при відомій ймовірності $P(T)$ визначається, як:

$$h = \frac{-\ln(1 - (P(T)))}{T}, \text{ тобто } \Phi = \frac{-dt}{\ln(1 - P(T))}. \quad (11)$$

Тут використані наступні лінгвістичні змінні, які характеризують п'ять станів, в яких може перебувати холодильна машина ПРХ.

Ω_1 – працездатний стан;

Ω_2 – виникнення при експлуатації ПАЗ АС (працездатний стан ХМ, відмова САР холодопродуктивності та холодозабезпечення ХК ПРХ);

Ω_3 – виникнення при експлуатації ХМ аварійних ситуацій, пов'язаних з очікуваними відмовами (працездатний стан ХМ, небезпечні спрацювання ПАЗ у робочому стані, відмова ПАЗ, які визначені власне діагностикою);

Ω_4 – поява при експлуатації ХМ ПРХ аварійних ситуацій, пов'язаних з появою порушень (режим роботи ХМ з потраплянням одного або декількох технологічних параметрів холодозабезпечення в критичну зону за рахунок нерозпізнаних відмов);

Ω_5 – виникнення при експлуатації ХМ безумовної чіткої АС у передаварійному стані через нерозпізнані відмови ПАЗ.

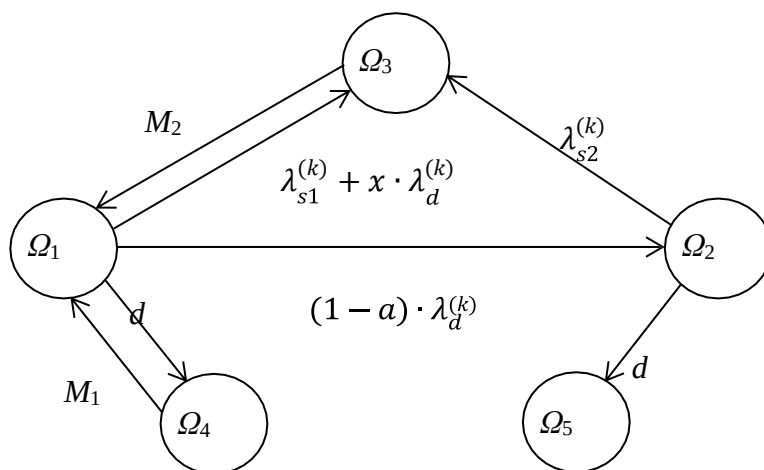


Рисунок 3 – Граф безпечності експлуатації ХМ ПРХ

Теоретико-множинний опис системи безпеки SKз АСУТП ПРХ може бути представлено у вигляді SK:

$$\{X, d, \lambda_d, a, \lambda, \lambda_s, \Phi\}, \quad (12)$$

де X – інтенсивність вхідних запитів системи безпеки;

d – інтенсивність вхідних запитів на вхід ІСОАО;

λ_d – інтенсивність переходу ПАЗАС в стан відмови;

λ – відмови, що виявленні самодіагностикою;

λ_s – інтенсивність хибних (несправних) відключень системи заморожування;

Φ – коефіцієнт зниження ризику (КЗР).

Для візуалізації продукційних правил оператору-диспетчеру (ОПР) ІСОАО виконується побудова діаграми взаємозв'язків (ДВ) можливих несправностей конкретно СПО відповідно розробленої бази правил. На рис. 4 наведена блок-схема оцінки несправності «Високий нагрів підшипників компресорів».

Алгоритмічне забезпечення діагностичної системи оцінки стану обладнання холодильних машин – холодозабезпечення холодильних камер ПРХ. Серед них найважливішими є:

– алгоритм опитування датчиків. Опитування датчиків виконується циклічно по кільцевому одно контурному маршруту з різними періодами T ;

– алгоритм первинної обробки даних. Визначення дійсного значення параметру за результатами вимірювання.

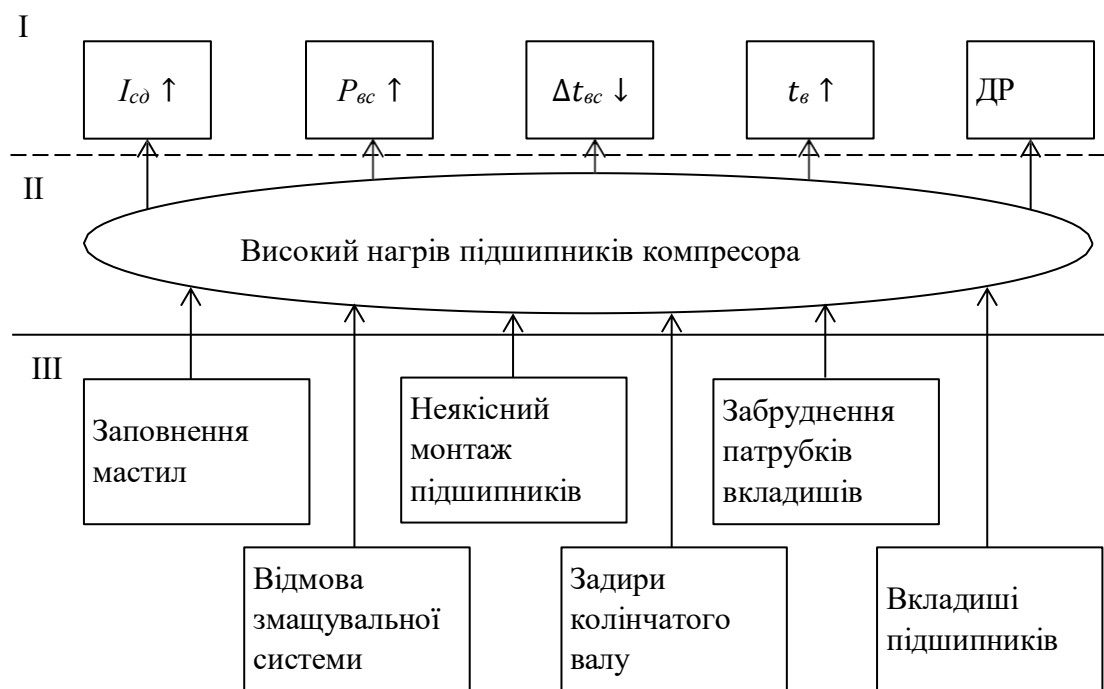


Рисунок 4 – ДВ для АС «Високий рівень підшипників компресора»

Нехай x_d – дійсна величина, y_d – показники датчика, тоді $y_d = y(x_d)$. Задача алгоритму – одержати цифрові значення.

I – рівень сукупностей параметрів, які впливають на дану АС або є її наслідком;

II – рівень типу АС;

III – рівень сукупності причин, які є джерелом даної несправності;

стрілки поряд з позначеннями показують збільшення (зменшення) параметрів;

I_{cd} – сила струму в двигуні компресора, А;

$P_{вс}$ – тиск на всмоктування компресора, мПа;

$\Delta t_{вс}$ – температура пару, що нагнітається °С;

$t_{с}$ – перегрів на всмоктування в компресор, °С;

ДР – брязкіт підшипників групи поршневого компресорів.

ДВ характеризують наявність різних взаємних впливів між контрольованими параметрами та причинами, які визивають дану АС. Сукупність цих діаграм дозволяє у подальшому згенерувати список можливих нештатних експлуатаційних ситуацій для кожної несправності та формалізують знання експертів про фактори, які впливають на розвиток аварійних експлуатаційних ситуацій у вигляді продукційних правил.

Перевірку розроблених алгоритмів та бази знань було здійснено на реальному промисловому об'єкті. Для цього було змодельовано:

- нештатні аварійні ситуації;

- масиви значень робочих параметрів ХМ в стаціонарних режимах для шести термодинамічних циклів, при трьох температурах кипіння (-10, -30 і -40 °С) та двох температурах конденсації (+30°С і +45°С);

- для означених несправностей із розробленої БЗ змодельовані НС зі зміною експлуатаційних параметрів.

Параметри підбирались, як ті, що впливають на конкретну несправність, так і ті, від яких вона залежить.

Для перевірки на збитковість результати роботи системи фіксувалися, після чого була проведена відповідна корекція БЗ і ПЗ. Це збільшило якість розпізнавання АС до 98,8 %.

Інтелектуальна система розпізнавання АС (рис. 5) функціонує під управлінням ОС родини Windows, яка розроблена засобами середовища програмування MS Visual-Studio NET 2012 на мові Visual C++. База даних створена з використанням СУБД MS SQL Server 2012. В ІСОАС використані контролери АК2 фірми «Danfoss».

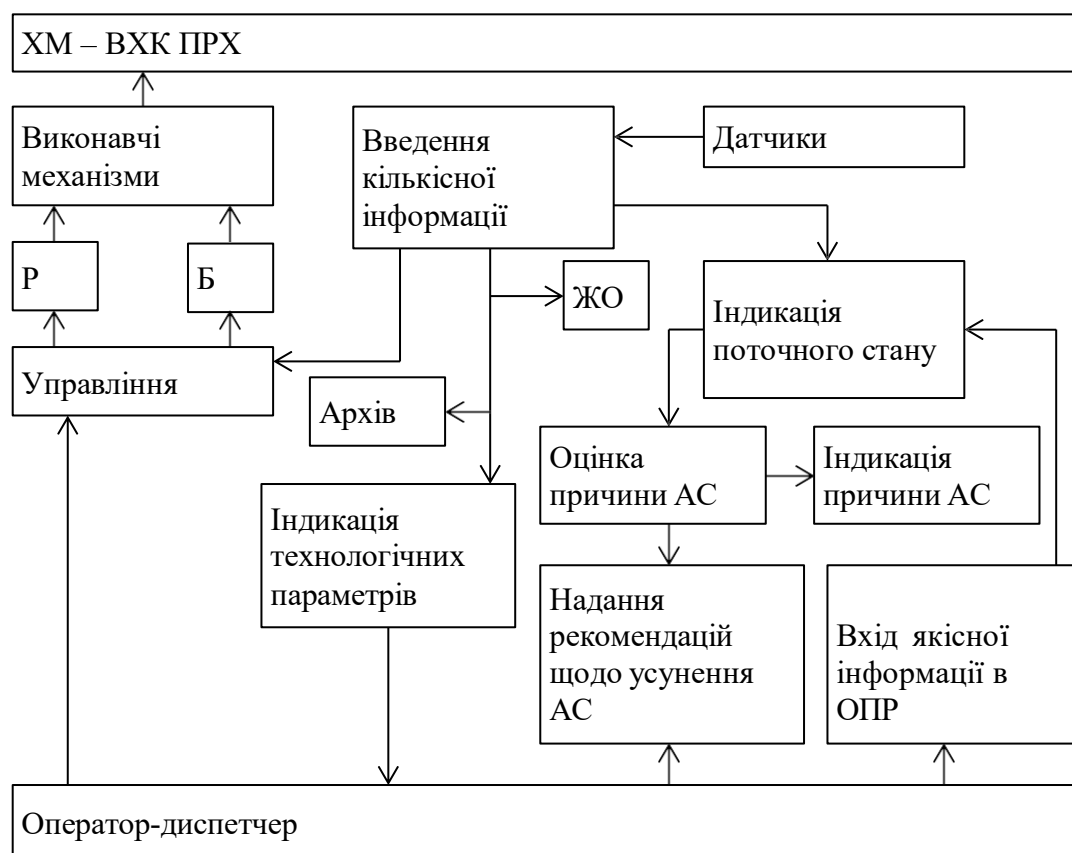


Рисунок 5 – Схема функціонування ІСОАС

Р – регулятор, Б – блокування, ЖО – журнал оператора, ХМ-ВХК – холодильна машина випарника камери холодильної ПРХ.

Висновки. Експериментальні дослідження, виконані на промисловій установці в лабораторії кафедри ЗІДО ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського, довели, що в системі ІСОАС з АСУТП холодильного підприємства можна отримати найкращі результати швидкодії алгоритмів на реакцію розпізнавання аварійних ситуацій та мінімізації викидів CO₂ у навколишнє середовище.

Розроблена система має такі функціональні переваги:

- швидкодію алгоритмів розпізнавання АС та захисту обладнання від аварій;
- можливість візуалізації аварійних ситуацій ОПР в реальному масштабі часу та надання рекомендацій операційному персоналу щодо пришвидшеного подолання аварійної ситуації;
- гнучка схема ІСОАС опису і введення правил установки.

На основі проведеного тестування зроблено висновок, що ІСОАС є найбільш ефективним засобом при рішенні задач ідентифікації аварійних ситуацій в режимі реального часу.

Список літератури

1. System Analysis & Intelligent Computing: Theory and Applications. Edited by: Michael Zgurovsky, Nataliya Pankratova. Cham, Switzerland: Springer, 2022. 199 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94910-5>.
2. Згуровський М. З. Сценарний аналіз як системна методологія передбачення. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2002. № 1. С. 7–38.
3. Інформаційне забезпечення систем прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах: колективна монографія. Під заг. ред. Л. М. Савчук. Донецьк: LONDON-XXI, 2013. 592 с.
4. Сухенко В. Ю., Сухенко Ю. Г., Муштрук М. М. Показники надійності обладнання харчових виробництв. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2016. № 4. С. 12–16.
5. Сухенко Ю. Г., Литвиненко О. А., Сухенко В. Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв. Київ: НУХТ, 2010. 547 с.
6. Остапенко О. В., Зімін О. В., Подмазко І. О., Хмельнюк М. Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості. *Холодильна техніка та технологія*. 2016. Т. 52, № 6. С. 4–10.
7. Ощипок І. М., Онишко Л. Й. Модернізація та переоснащення холодильного обладнання. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2023. № 34. С. 46–54. <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2023-34-06>.
8. Institut für Kälte- Klima- und Energietechnik GmbH (Hrsg.) Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik: Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften. Berlin: VDE Verlag, 2018. 874 p.
9. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. Economical, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. New York City : Springer, 2006. 288 p.
10. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 557 с.
11. Piunovskiy A. B. Examples in Markov Decision Processes. Liverpool, UK: Imperial College Press. 2012. 308 p.

References

1. Zgurovsky, M., Pankratova, N. (2022). System Analysis & Intelligent Computing: Theory and Applications. Edited by Michael, Nataliya Pankratova. Cham, Switzerland: Springer, 199 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94910-5>.
2. Zghurovskiy, M. Z. (2002). *Stsenarnyi analiz yak systemna metodolohiia peredbachennia* [Scenario analysis as a systematic forecasting methodology], *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii* [System research and information technologies], 1, pp. 7-38.
3. Savchuk, L. M. (2013). *Informatsiine zabezpechennia system pryiniattia rishen v ekonomitsi, tekhnitsi ta orhanizatsiinykh sferakh* [Information support of decision-making systems in the economy, technology and organizational spheres], Donetsk, LONDON-XXI. 592 p.
4. Sukhenko, V. Yu., Sukhenko, Yu. H., Mushtruk, M. M. (2016). *Pokaznyky nadiinosti obladnannia kharchovykh vyrobnytstv* [Indicators of reliability of food production equipment], *Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist* [Standardization. Certification. Quality], 4, pp. 12–16.
5. Sukhenko, Yu. H., Lytvynenko, O. A., Sukhenko, V. Yu. (2010). *Nadiinist i dovhovichnist ustatkuvannia kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstv* [Reliability and durability of equipment of food and processing industries], Kyiv, NUFT, 547 p.
6. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. H. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti* [Ways to increase the energy efficiency of the refrigerating plant of the food industry enterprise], *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration equipment and technology], 52 (6), pp. 4–10.

7. Oshchypok, I. M., Onyshko, L. Y. (2023). *Modernizatsiia ta pereosnashchennia kholodylnoho obladnannia* [Modernization and re-equipment of refrigeration equipment], *Visnyk LTEU. Tekhnichni nauky* [Bulletin of LTEU. Technical sciences], 34, pp. 46–54. <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2023-34-06>.

8. Institut für Kälte- Klima- und Energietechnik GmbH (Hrsg.). (2018). Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik : Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften, Berlin, VDE Verlag, 874 p.

9. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2006). Decision making with the analytic network process. Economical, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks, New York City, Springer, 288 p.

10. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M. (2023). *Avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv kharchovykh tekhnolohii* [Automation of production processes of food technologies], Kryvyi Rih, DonNUET, 557 p.

11. Piunovskiy, A. B. (2012). Examples in Markov Decision Processes, Liverpool, UK, Imperial College Press, 308 p.

Objective. The purpose of the article is to develop recommendations for increasing the safety of complex industrial facilities due to early recognition of emergency situations by identifying their operational parameters.

Methods. The article uses fuzzy methods for developing a model and methods for recognizing emergency situations, accidents and optimizing the operation of refrigerating machines, cold supply of food freezing equipment. Among the fuzzy methods, a fuzzy algebra of binary evaluations of the reliability of refrigerating machine equipment is used: compressors, condensers, control systems, energy consumption systems, and evaporators.

Results. In order to create a database and a knowledge base about dangerous situations in the processes of artificial cold production and cold supply of an industrial refrigerator, an analysis of production situations and equipment conditions of food freezing processes was carried out.

The proposed algorithm for evaluating operational parameters consists of such main stages as the decomposition of the enterprise - an industrial refrigerator into the corresponding components of technological units; determination of the main emergency situations in the system; determination of the normal values of the operating characteristics of the cooling process of the refrigerating chambers of the refrigerator company; determination of possible causes and options for troubleshooting; determination of fault relationships and their causes for the appropriate combination of operating parameters; creating a database of possible emergency situations for each malfunction.

The developed system for recognizing emergency situations has the following advantages: the speed of algorithms for recognizing emergency situations and protecting equipment from accidents; the possibility of visualizing emergency situations to the operator in real time and providing recommendations to the operational staff for faster emergency response; flexible scheme of ISOAS description and introduction of installation rules.

Based on the conducted testing, it was concluded that ISOAS is the most effective tool for solving the problems of identifying emergency situations in real time.

Keywords: refrigerator, accident, compressor, algorithms, neuronum mathematics, accident recognition.