

ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ І ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА

УДК 681.518.22:622.691

МЕТОДИ ЗЛИТТЯ ДАНИХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЯВИЩА ПОМПАЖУ У ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧАХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

Л.І. Давиденко, Г.Н. Семенцов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504708,
e-mail: tdm@nuing.edu.ua

Виявлення явища помпажу у відцентрових нагнітачах (ВН) газоперекачувальних агрегатів (ГПА) нерозривно пов'язане з обробленням великої кількості інформативних параметрів. Покращення точності діагностування помпажу може бути забезпечене за рахунок злиття даних, тобто об'єднання декількох джерел цих даних в одне з метою отримання найбільш надійної інформації для систем антипомпажного захисту і регулювання. Технологія злиття даних здатна впоратися з проблемою неповноти інформації та невизначеності. У даній роботі проведено аналіз відомих методів злиття даних, освітлено переваги та недоліки таких методів, як: метод злиття ваг, метод Демпстера-Шафера, штучні нейронні мережі, фільтр Калмана, нечіткий інтеграл, діаграми Ойнера-Вейча-Карно. Зроблено висновок, що нечіткий інтеграл найбільш придатний для виявлення явища помпажу.

Ключові слова: злиття даних, метод злиття ваг, метод Демпстера-Шафера, штучні нейронні мережі, фільтр Калмана, нечіткий інтеграл, діаграми Ойнера-Вейча-Карно, відцентровий нагнітач.

Обнаружение явления помпажа в центробежных нагнетателях (ЦН) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) неразрывно связано с обработкой большого количества информативных параметров. Улучшение точности диагностирования помпажа может быть обеспечено за счет слияния данных, то есть объединения нескольких источников этих данных в один с целью получения наиболее надежной информации для систем антипомпажной защиты и регулирования. Технология слияния данных способна справиться с проблемой неполноты информации и неопределенности. В данной работе проведен анализ известных методов слияния данных, освещены преимущества и недостатки таких методов, как метод слияния весов, метод Демпстера-Шафера, искусственные нейронные сети, фильтр Калмана, нечеткий интеграл, диаграммы Ойнера-Вейча-Карно. Сделан вывод, что нечеткий интеграл подходит для обнаружения явления помпажа.

Ключевые слова: слияния данных, метод слияния весов, метод Демпстера-Шафера, искусственные нейронные сети, фильтр Калмана, нечеткий интеграл, диаграммы Ойнера-Вейча-Карно, центробежный нагнетатель.

The phenomenon of the surge in centrifugal superchargers (CS) gas pumping units (GPU) is inextricably linked with processing of a large number of informative parameters. Improving of the diagnostics accuracy of the surge can be achieved through data fusion that is combining multiple sources of data into one in order to obtain the most reliable information for the system of surging protection and regulation. Data fusion technology is able to cope with the problem of incomplete information and uncertainty. This paper highlighted an analysis of the known methods of data fusion, the advantages and disadvantages of such techniques as the weighted fusion, Dempster-Shafer's method, and neural networks, Kalman filter, Fuzzy integral, The Karnough map. It is concluded that fuzzy integral is best suited for detecting of the surge phenomenon.

Keywords: data fusion, the weighted fusion, Dempster-Shafer's method, neural networks, Kalman filter, Fuzzy integral, The Karnough map, centrifugal superchargers.

Вступ

Задача виявлення явища помпажу у ВН ГПА є однією з підзадач загальної проблеми антипомпажного керування компресорними станціями (КС), зокрема дотискувальними

компресорними станціями (ДКС) підземного сховища газу (ПСГ), які повинні забезпечувати високу надійність функціонування єдиної системи газопостачання України. Для вирішення задач захисту ГПА від помпажу сформувався

два підходи: класичний (за витратно-напірними характеристиками) і динамічний (за коливаннями у проточній частині). Проте недостатня швидкість існуючих систем антипомпажного регулювання і захисту ГПА не забезпечують їх надійну роботу на КС. Виявлення явища помпажу у ВН ГПА на основі динамічного підходу, як найбільш ефективного, нерозривно пов'язане з обробленням великої кількості інформативних параметрів. Тому аналіз методів опрацювання великої кількості даних для виявлення явища помпажу у ВН ГПА ДКС ПСГ є актуальною науково-практичною задачею сьогодення.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Дослідження із захисту компресорів від помпажу проводили багато вітчизняних і зарубіжних вчених [1, 2] – Ю.Д. Акульшин, Р.О. Баллок, В.Г. Веселовський, О.В. Городецький, В.М. Гуренко, Ю. Б. Жаров, Ю.І. Журавльов, Р.І. Измайлов, В. В. Казакевич, Р.Г. Караджі, Т.Е. Крутіков, Г.Н. Семенов, Т. Downer, I.R. Baher, E.O. King, I.F. Kuhlberg, H. Pearson, D.E. Sheppard та ін. Аналітичний огляд цих робіт показав, що у розробках і промислових реалізаціях систем автоматичного керування ГПА в Україні досягнуто позитивні результати [1]. З розвитком комп'ютерних технологій з'явилась можливість оброблення більшої кількості інформації, тому застосування новітніх методів для аналізу даних можуть покращити існуючі системи антипомпажного регулювання. Останнім часом набули поширення методи злиття даних серед методів, призначених для опрацювання інформації у різних галузях. Вони були висвітлені багатьма зарубіжними вченими, такими як: Varshney P.K., Vyington C.S., Городецький В.І., Самойлов В.В., Xiaofeng Liu та іншими [6, 7, 8].

Виділення невирішених частин

Аналіз літературних джерел [2-8] свідчить про необхідність детального аналізу методів злиття даних з метою вибору найбільш надійного для ефективного використання інформаційних ресурсів та виявлення явища помпажу у ВН ГПА ДКС ПСГ.

Формування цілі

Метою даної роботи є аналіз недоліків та переваг відомих методів злиття даних та вибір ефективного методу для виявлення явища помпажу у ВН ГПА, що дозволить підвищити надійність автоматичного захисту ВН ГПА від помпажу.

Виклад основного матеріалу

Помпаж є одним з найнебезпечніших режимів роботи ВН. У разі виникнення помпажу ВН та двигун можуть отримати пошкодження, несумісні з їх подальшою експлуатацією, а їх відновлення або ремонт потребуватимуть великих грошових витрат [2]. Явище помпажу у ВН характеризується великою кількістю параметрів, такими як температура, густина газу, перепад тиску на звужуючому пристрої (конфузорі)

перед нагнітачем, тиск за нагнітачем, швидкість обертання силової турбіни, осьовий зсув нагнітача, горизонтальна та вертикальна вібрація (вібропереміщення) передньої опори нагнітача, горизонтальна та вертикальна вібрація (вібропереміщення) задньої опори нагнітача та ін. Для вирішення проблеми ефективного використання цих даних проаналізуємо сучасні методи обробки інформації на основі злиття отриманих даних про досліджуваний процес.

Метою злиття даних є створення удосконаленої моделі або системи з набором даних від незалежних джерел [4]. Технологія злиття здатна впоратися з проблемою неповноти інформації та невизначеності. З розвитком штучного інтелекту, такого як ШНМ, нечітка логіка, теорія генетичних алгоритмів [4], методи злиття даних набули подальшого розвитку.

Найбільш поширені методи злиття даних є злиття ваг [6], метод Демпстера-Шафера [7], ШНМ, фільтр Калмана [4], нечіткий інтеграл та метод Ойнера-Вейча-Карно (рис. 1).

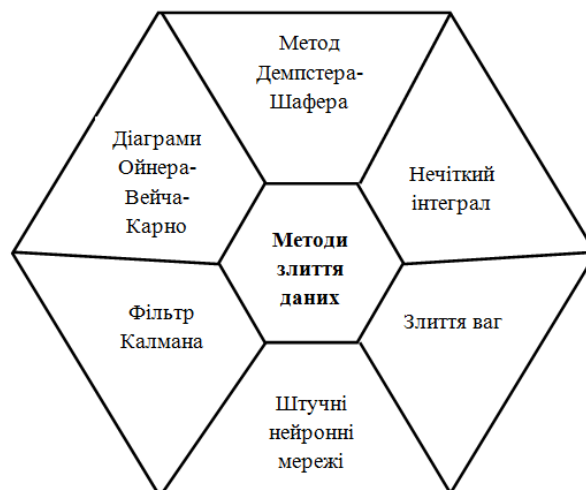


Рисунок 1 – Методи злиття даних

Злиття ваг

З усіх методів злиття даних, злиття ваг є, мабуть, найбільш широко використовуваним через свою простоту. Він генерує об'єднані рішення шляхом поєднання виходів з різних незалежних джерел інформації, яким встановлюється вага.

Метод злиття ваг можна описати формулою [8]:

$$y(j) = \sum_{i=1}^n w_{ij} x(i, j), \quad (1)$$

де $y(j)$ – об'єднаний результат для об'єкта j ;
 i – число джерел інформації, $\forall i = 1 : n$;
 j – число об'єктів, $\forall j = 1 : m$;
 $x(i, j)$ – результат спостереження з джерела інформації i об'єкта j .
 w_{ij} – вага джерела інформації i для об'єкта j :

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (2)$$

Для визначення ваги використовується апріорне припущення про надійність джерела

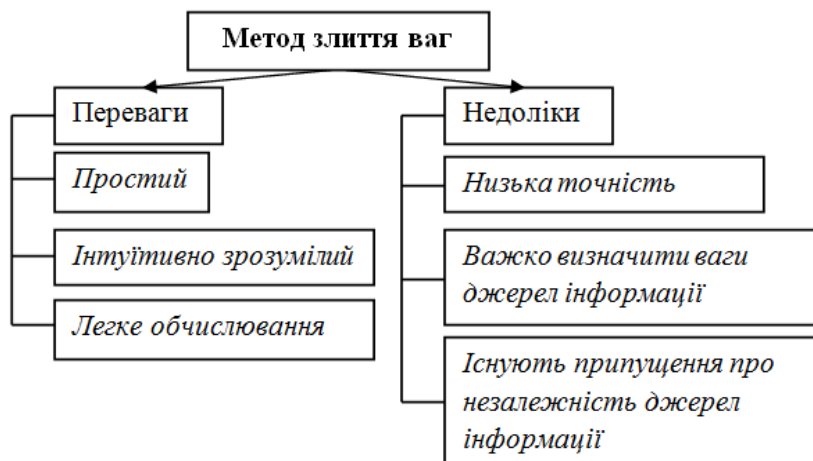


Рисунок 2 – Переваги та недоліки методу злиття ваг

інформації. Відзначимо, що для реалізації цього методу можуть бути використані експертні знання. У разі, якщо такі знання недоступні, однакову надійність і довіру можна віднести до кожного джерела інформації. Це припущення зводить метод злиття ваг до більш простого злиття голосів, де кожне джерело інформації має те ж саме «право» голосу.

Одним з основних недоліків методу злиття ваг є те, що він не розглядає взаємодію між джерелами інформації. Метод злиття ваг припускає, що кожне джерело інформації не залежить від інших джерел інформації. Це припущення може обмежити ефективне використання цього методу. Іншим недоліком є те, що у багатьох випадках ваги для джерел інформації визначаються експертними знаннями, які можуть бути суб'єктивними. В результаті точність злиття даних може бути знижена.

Переваги та недоліки методу злиття ваг зображено на рисунку 2.

Метод Демпстера-Шафера

Метод Демпстера-Шафера розглядається як узагальнена Байєсівська теорія [7]. Теорія очевидності Демпстера-Шафера може показувати неточність і невизначеність задачі, шляхом введення двох функцій: правдоподібності і довіри, обидві з яких є похідними від функції маси ймовірності. За спостереженням давача і ймовірність можливих несправностей "А" може бути описана за допомогою довірчого інтервалу:

$$[Belief(A)_i, Plausibility(A)_i], \tag{3}$$

де $Belief(A)_i$ – функція довіри, що являє собою міру достовірності даних давача і про несправність "А" (гіпотеза А);

$Plausibility(A)_i$ – функція правдоподібності, що означає величину максимального значення довіри до гіпотези А.

Нижньою межею довірчого інтервалу є рівень довіри:

$$Belief_i(A) = \sum_{B \subseteq A} m_i(B), \tag{4}$$

де $m_i(B)$ – довіра по всіх підмножинах А;

$B \subseteq A$ – будь-яка непорожня множина, що належить множині А.

Верхня межа довірчого інтервалу – це правдоподібність, яка враховує всі зауваження, які не виключають помилку "А". Правдоподібність описується так:

$$Plausibility(A)_i = 1 - Belief_i(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \phi} m_i(B), \tag{5}$$

де \bar{A} – доповнення до гіпотези, міра сумніву щодо гіпотези А;

$B \cap A \neq \phi$ – усі непорожні підмножини, що перетинають множину А.

Для кожного можливого випадку, теорія очевидності Демпстера-Шафера пропонує таке правило об'єднання спостережень давачів:

$$m(A) = \frac{\sum_{A_1 \cap A_k = A} m_1(A_1) \cdots m_k(A_k)}{\sum_{A_1 \cap A_k \neq \phi} m_1(A_1) \cdots m_k(A_k)}, \tag{6}$$

де $m(A)$ – міра довіри до гіпотези А про несправність А з давачів 1,2,...,k;

$A_1 \cap A_k = A$ – множина А, що складається з усіх елементів множини А₁, які одночасно належать і множині А_к.

$A_1 \cap A_k \neq \phi$ – усі непорожні підмножини, що перетинають множину А.

Одна з основних проблем теорії очевидності Демпстера-Шафера є визначення функції маси ймовірності, так як функції правдоподібності й функції довіри є похідними від функції маси ймовірності. У деяких випадках, функція мас ймовірності визначається з емпіричних знань і знань відповідної галузі.

Отже, недоліком методу Демпстера-Шафера є складність визначення функції маси ймовірності.

Штучні нейронні мережі

ШНМ є ще одним методом злиття даних, що часто використовується [9], завдяки їх можливості розпізнавання образів і здатності розпізнавати нечіткі і неточні сигнали.

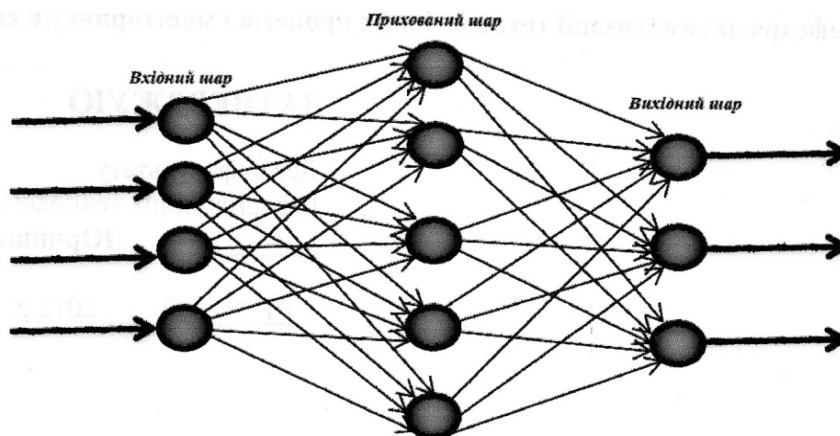


Рисунок 3 – Багатошарова ШНМ прямої дії



Рисунок 4 – Переваги та недоліки ШНМ

Основною одиницею обробки сигналів в ШНМ є нейрон, що продукує вихід, формуючи суми ваг входів. Вихід нейрона є нелінійною функцією суми ваг. Характеристика нейрона може бути описана як [8]

$$y = f \left[\sum_{i=1}^m w_i x_i \right], \quad (7)$$

де y – виходи;
 f – нелінійна функція перетворення чи функція активації;
 w_i – ваги, $i=1,2,\dots,m$;
 x_i – входи, $i=1,2,\dots,m$.

З усіх ШНМ, найчастіше використовуються багатошарові ШНМ прямої дії (рис. 3). Багатошарова ШНМ прямої дії також відома як багатошаровий перцептрон.

ШНМ мають особливості, завдяки яким ШНМ можна застосовувати в області синтезу інформації і діагностування несправностей, а саме:

- мають змогу отримувати нові знання, що схоже на те, як людина здобуває знання. Процес навчання здійснюється через безперервну регуляцію цінностей ваги серед нейронів;
- можуть бути системою з багатьма входами/виходами. Ця структура показує, що нейронна мережа може обробляти складні численні проблеми об'єкта керування;
- обробляють інформацію паралельним способом, який схожий на те, як люди обробляють складну інформацію. Ця особливість вказує, що нейронні мережі можуть об'єдну-

вати інформацію з різних джерел одночасно і природно;

- мають добрі показники відмовостійкості. Ця особливість в основному виходить з паралельної структури і розподіленої системи зберігання інформації;

- є одними з кращих у апроксимації функцій. Багатошарова мережа прямої дії, наприклад, може апроксимувати будь-яку нелінійну функцію з будь-якою точністю, а також може бути використана для інтерполяції.

Для подальшого покращення ефективності використання ШНМ для злиття даних, було запропоновано ансамбль штучних нейронних мереж [10]. Ансамбль ШНМ є різновидом навчання, де кінцеве число складових ШНМ навчається для тієї ж задачі. Дослідження підтвердили, що ансамбль працює краще, ніж окремі мережі. Аналогічний висновок був зроблений і шляхом злиття різних ШНМ з методом нечіткої логіки [11].

Хоча ШНМ знайшли успішне застосування в злитті даних, теоретичний аналіз і реальні випадки їх використання показують, що вони мають недоліки.

По-перше, успішне застосування ШНМ багато в чому залежить від підготовки даних. Якщо навчальні дані є неповними або недостатніми, ШНМ не можуть добре працювати.

По-друге, нейронна мережа являє собою систему "чорного ящика". Цей недолік може обмежити його застосування.

Переваги та недоліки ШНМ зображено на рисунку 4.

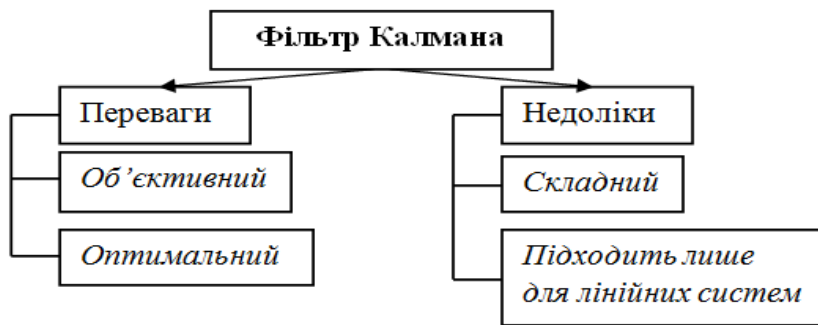


Рисунок 5 – Переваги та недоліки фільтра Калмана

Фільтр Калмана

Фільтр Калмана є одним з широко застосовуваних методів оцінки стану об'єктів. Фільтр Калмана є лінійним, неупередженим та рекурсивним алгоритмом з мінімальною дисперсією помилки для оптимальної оцінки невідомого стану лінійної динамічної системи спостережень шумів з розподілом Гауса. Фільтр Калмана заснований у таких методах злиття даних, як злиття вимірювань [4] і злиття вектора стану. Зазвичай злиття вимірювань має менші похибки оцінювання, але вищі обчислювальні витрати. Існує два види синтезу вимірів. Перший просто поєднує вимірювання у розширений вектор спостережень, другий поєднує в собі вимірювання за допомогою мінімальної середньоквадратичної оцінки.

Фільтр Калмана може бути описаний таким виразом [4]:

$$z_k = H_k x_k + v_k, \quad (8)$$

де z_k – вектор вимірів розмірністю m ;

H_k – матриця вимірів $m \times n$, що характеризує зв'язок вектора стану з вектором вимірів;

x_k – вектор стану розмірністю n ;

v_k – білий гаусівський шум вимірів з нульовим математичним сподіванням і коваріаційною матрицею R_k .

Фільтр Калмана успішно використовується для передбачення різких збоїв в роторних машинах [4]. Цей метод може бути використаний також для оцінки технічного стану системи в реальному часі, оскільки різкі зміни в оцінюванні помилки можуть бути використані як попередження для різних несправностей обладнання.

Фільтр Калмана є різновидом лінійного оптимального алгоритму і підходить для лінійних динамічних систем. Проте, у більшості випадків системи мають нелінійні характеристики і традиційний лінійний алгоритм може не дати задовільного результату.

Переваги та недоліки методу злиття даних на основі фільтра Калмана зображено на рисунку 5.

Нечіткий інтеграл

Багато властивостей техніки мають нечіткий характер, що робить нечіткі методи придатними для моніторингу їх параметрів. Нечіткий аналіз є більш ефективним, ніж традиційні ме-

тоди обробки даних, які, як правило, є неточними та неоднозначними. Нечіткі методи здатні класифікувати помилки моделей недихотомічним шляхом, який схожий на спосіб обробки неточної інформації людиною. Поняття нечіткої міри і нечіткого інтегралу взяті з класичної теорії множин, теорії нечітких множин і теорії міри. Нечіткі міри і нечіткі інтеграли мають деякі важливі властивості - вони можуть відображати важливість критеріїв і представляють певні взаємодії між критеріями. Ці властивості роблять нечіткі міри та нечіткі інтеграли найбільш раціональними для вибору функції і механізмів контролю стану та діагностики несправностей обладнання.

Нечіткий інтеграл може бути представлений виразом [8]

$$FI = \int h \circ \mu, \quad (9)$$

де FI – нечіткий інтеграл;

h – вимірна функція (функція належності);

\circ – композиція, найчастіше використовується максимінна композиція;

μ – нечітка міра.

Аналіз літературних джерел [8,11] довів, що нечіткі інтеграли (Сугено і Шоку) володіють особливими властивостями, що придатні для безлічі критеріїв злиття даних:

– інтеграли Сугено і Шоку є ідемпотентними (тобто повторна дія над об'єктом не змінює його), безперервними, монотонно неспадними операторами;

– інтеграл Шоку по відношенню до адитивної міри μ збігається з середньозваженим арифметичним, де ваги $w_i \in \mu(\{x_i\})$;

– інтеграл Шоку є стійким при позитивних лінійних перетвореннях. Інтеграл Сугено не володіє цією властивістю, але він задовольняє аналогічну властивість з \min і \max заміною вибірки і суми. Інтеграл Шоку придатний для основної агрегації, в той час як інтеграл Сугено, більше придатний для порядкової агрегації;

– інтеграли Сугено і Шоку містять всі порядкові статистичні характеристики, зокрема, \min , \max і середнє;

– зважене мінімальне і зважене максимальне є окремими випадками інтеграла Сугено.

Недоліком нечіткого інтегралу є складність визначення нечіткої міри.

Метод Ойнера-Вейча-Карно

Об'єкти з двома можливими станами характеризуються булевими змінними, які здатні набувати лише двох різних значень: 0 або 1. Відношення між булевими змінними описуються булевими функціями. Їх особливість полягає у тому, що вони, як і їх аргументи, набувають значень або 0 або 1. Це дозволяє задавати функції невеликої кількості змінних за допомогою таблиць в яких для кожного з наборів аргументів вказуються конкретні значення булевої функції. При реалізації булевої функції у заданому базисі вона має бути представлена у вигляді суперпозиції тільки тих функцій, що входять в даний базис. Між формулою, яка описує булеву функцію, і схемою, що реалізує цю функцію, є відповідність. Проте, та сама функція може бути виражена різними формулами і тому її реалізація неоднозначна. Отже, із множини схем треба виділити найбільш просту шляхом отримання мінімальної форми булевої функції.

Для мінімізації логічних функцій широко використовується діаграми Ойнера-Вейча-Карно. Вони реалізують координатний спосіб задання функції алгебри логіки у вигляді координатної карти станів або діаграм Ойнера-Вейча-Карно.

Карта має $N = 2^n$ комірок, де n – кількість аргументів x_1, x_2, \dots, x_n логічної функції $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, якщо вона сама то її аргументи можуть набувати лише двох значень: нуля, або одиниці.

Кожна комірка відповідає набору, який визначається координатами рядка і стовпця. Усі змінні розбиваються на дві групи: одна група визначає координати рядка, друга – стовпця. В комірках карти представляється значення функції відповідного набору. Зазвичай в комірках карти записуються лише одиниці; комірка залишається незаповненою, якщо значення функції при цьому наборі дорівнює нулю.

На рисунку 6 наведено координатну карту станів Ойнера-Вейча-Карно для функції чотирьох змінних, заданої координатним способом. Вона містить $N = 2^4 = 16$ комірок.

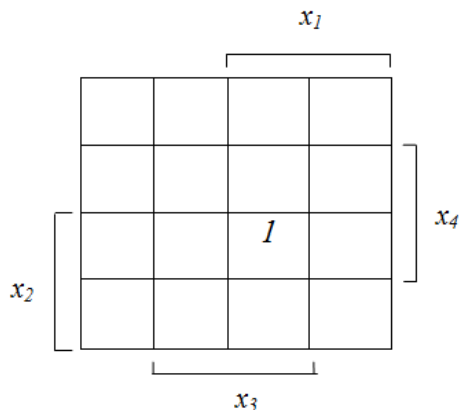


Рисунок 6 – Координатний спосіб задання функції алгебри логіки операції І -
 $f(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4$

Карти для функції п'яти і більше аргументів складаються з карт для чотирьох аргументів. При цьому аргументи, починаючи з x_5 , визначають вибір однієї з карт, яка складається з 16 комірок, а аргументи x_1, x_2, x_3, x_4 визначають вибір комірки всередині карти.

Для вирішення задачі структурного синтезу кінцевого автомату (пристрою захисту ГПА під помпажу) запропоновано використовувати канонічний метод структурного синтезу, який передбачає використання таких операцій:

а) кодування вхідних і вихідних сигналів пристрою і його внутрішніх станів в двійковій системі числення; для цього необхідно попередньо визначити кількість структурних символів, достатніх для кодування входів, виходів і станів кінцевого автомату;

б) складання структурних (кодованих) таблиць переходів і виходів за результатами пункту а);

в) складання структурних таблиць функції збудження пам'яті кінцевого автомату за отриманою структурною таблицею переходів і таблицею роботи елементарного автомата (комірки пам'яті), що входить до складу структури повної системи елементів;

г) складання системи канонічних рівнянь або таблиць істинності канонічних функцій за отриманими структурними таблицями виходів;

д) мінімізація системи канонічних рівнянь в булевому базисі;

е) побудова схеми кінцевого автомату згідно з мінімізованою системою рівнянь на основі заданої системи елементів.

Висновок

Застосування методу багатопараметричного злиття даних може покращити продуктивність системи оцінювання поточних значень в декількох напрямках, таких як точність, надійність і робастність. Перенесення цієї технології для виявлення явища помпажу у ВН ГПА ДКС ПСГ, безумовно, підвищить можливості системи атипомпажного захисту і регулювання та їх швидкодію.

Нечіткі міри і нечіткі інтегралі мають кілька важливих властивостей, таких як представлення важливості кожного параметра та деяких взаємодій між параметрами. Ці властивості дозволяють нечіткій мірі і теорію нечітких інтегралів використати при виборі функцій (ознак, властивостей, параметрів) і діагностиці несправностей ГПА.

Література

1 Бляут Ю.Є. Автоматична ідентифікація помпажних характеристик газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом для ефективного регулювання: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.13.07 / Юрій Євстахович Бляут; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2013. – 20 с.

2 Семенцов Г.Н. Синтез одноконтурної системи автоматичного захисту компресора від помпажу / Г.Н. Семенцов // Технологічні комплекси. – 2010. – № 2. – С. 137–151.

3 Gorodetski V. Multi-agent data fusion systems: design and implementation issues / V. Gorodetski, O. Karsayev, and V. Samoilov // Proceedings of the 10th International Conference of Telecommunication Systems – Modeling and Analysis. – Monterey, CA, 2004. – P. 762-774.

4 Gao Junbin. Some Remarks on Kalman Filters for the Multisensor Fusion / J. Gao, C.J.Harris // Information Fusion Journal.– 2002. – V.3. – P. 191–201.

5 He Y. Using genetic algorithms to detect and configure shaft crack for rotor-bearing system. / Y.He, D. Guo, F. Chu // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2001. – V.190. – P. 5895-5905.

6 Varshney P. K. Distributed detection and data fusion / P.K. Varshney. – New York, NY: Springer-Verlag New York Inc., 1996. – 288 p.

7 Byington C.S. Data fusion for development predictive diagnostic for electromechanical systems / C. S. Byington, K. Garga // Handbook of Sensor Fusion, CRC Press. – 2000. – P. 23-31.

8 Xiaofeng Liu. Machinery Fault Diagnostics Based on Fuzzy Measure and Fuzzy Integral Data Fusion Techniques / Liu Xiaofeng. – School of Engineering Systems, 2005. – 220 p.

9 Sun Z. Z. Theory and technology of intelligent control / Z. Sun, Z. Zhang, Z. Deng. – Beijing: Qinghua University Press, 1997. – 373 p.

10 Wu Y. Fusing output information in neural networks: ensemble performs better / Y. Wu, J.I. Arribas // Proceedings of the 25th Annual International Conference of IEEE EMBS. – Cancun, Mexico, 2003. – P. 2265-2268.

11 Cho S.B. Multiple network fusion using fuzzy logic / S. B. Cho, J.H. Kim // TFFF Transactions on Neural Networks. – 1995. – V 6(2). – P. 497- 501.

12 Grabisch M. The application of fuzzy integrals in multi criteria decision making / M. Grabisch // European Journal of Operational Research. – 1996. – V. 89. – P. 445-456.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.09.13*

*Рекомендована до друку
професором **Горбійчуком М.І.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Тодорцевим Ю.К.**
(Одеський національний політехнічний
університет, м. Одеса)*