

## АЛГОРИТМИ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ

*В статті пропонуються алгоритми моделювання для діагностування об'єктів на основі кластерних моделей. Проведена класифікація моделей об'єкта на основі різних кореляційних функцій та теоретико-числових базисах. Викладені теоретичні основи діагностування об'єктів управління на основі кластерних моделей, а також проведена класифікація станів, таких як стани норми, передаварії та аварії. Розроблено діалогову систему та алгоритми моделювання на основі кластерних моделей для діагностування об'єктів управління.*

*Ключові слова:* кластерна модель, стан норми, стан аварії, стан передаварії, алгоритми моделювання, об'єкт управління.

N.G. SHYRMOVSKA, G.I. LEVYTSKA

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

### MODELING ALGORITHMS FOR DIAGNOSING THE OBJECTS BASED ON CLUSTER MODELS

*Abstract – Existing methods tend to focus on diagnostics of object statuses that are described by stationary processes. This significantly narrows the area of modern software and hardware of distributed computer systems. Due to this fact, experience shows that about 70-80% of process operation objects have quasi-stationary characteristics. One of the main problems is effective diagnostic of process objects that are described by quasi-stationary characteristics. The scientific and technical challenge is to improve and increase the efficiency of diagnostic methods of quasi-stationary objects, as well as to develop software and hardware as components of problem-oriented distributed computer systems.*

*The article proposes modeling algorithms to diagnose the objects based on cluster models. We describe the classification of object models based on different correlation functions or theoretical and numerical basis. The article provides theoretical foundations of diagnosing the operation objects based on cluster models. It also defines classification statuses such as norm status, pre- and emergency status. Additionally, the article describes a dialog system and modeling algorithms based on cluster models to diagnose operation objects.*

*Key words:* cluster model, norm status, emergency status, preemergency status, modeling algorithm, operation object.

### Вступ

Темпи автоматизації, роботизації різних процесів, створення комп'ютеризованих систем діагностування надто швидко впроваджуються в наше життя і настільки ж швидко змінюються технології, тому ефективні засоби діагностування є на сьогодні актуальним питанням. При цьому кількість катастроф, кількість аварій не зменшується, хоча ресурсів на забезпечення діагностування різних об'єктів витрачається все більше і більше.

Вказані особливості ідентифікації аварійних та передаварійних станів об'єкта управління (ОУ) не дозволяють покласти задачу приведення ОУ в стан норми на регулятори окремих параметрів об'єкта, що потребує застосування потужного математичного апарату кластерних моделей.

Отже, постановку задачі по вдосконаленню та створенню програмно-апаратних засобів діагностування промислових об'єктів, які характеризуються квазістаціонарними характеристиками, можна визначити наступним комплексом завдань:

- розробка методу побудови кластерної моделі з використанням кореляційних характеристик та марківських переходів для діагностування ОУ;
- дослідження кореляційно-ймовірнісних характеристик квазістаціонарних ОУ;
- розробка структури та алгоритмів пристрою для контролю роботи технологічного об'єкту [1];
- розробка та реалізація програмно-апаратних засобів на основі кластерної моделі.

### Узагальнена класифікація моделей об'єктів управління на основі різних кореляційних функцій та теоретико-числових базисів

Аналіз теорії моделювання [2] та теорії джерел інформації (ДІ) [3] показує, що сучасні інформаційні технології діагностування станів промислових об'єктів базується на широкому класі моделей. З метою обґрунтування вибору моделей для діагностування квазістаціонарних об'єктів доцільно їх систематизувати по знаках часових характеристик, інтегрованості, виконанню математичного апарату та теоретико-числових базисів. На рис. 1 показана розроблена класифікація моделей джерел інформації.

З рис. 1 видно, що поряд з відомими сигнальними кореляційними, статистичними та логіко-статистичними моделями існує широкий клас матричного Хеммінгового простору [3], які базуються на одночасному використанні різних теоретико-числових базисів Фур'є, Хаара, Крейга, Радемахера, Крестенсона та Галуа, в результаті якого породжуються кластерні моделі.

Хеммінгові моделі, як показано [3], можуть бути реалізовані на основі різних кореляційних функцій та в різних теоретико-числових базисах, тому число Хеммінгових моделей визначається табл. 1.

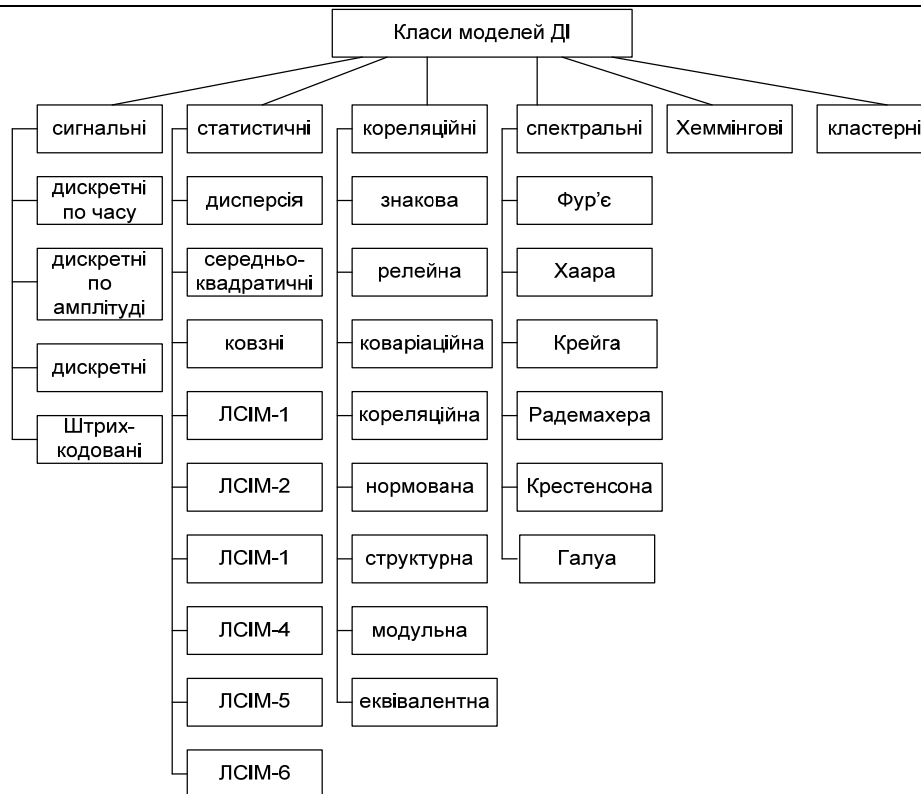


Рис. 1. Класифікація моделей джерел інформації

Таблиця 1

## Система хеммінгових моделей ОУ

№	Кореляційна функція	Теоретико-числовий базис							
		Фур'є	Унітарний	Хаара	Крейга	Радемахера	Крестенсона	Галуа	
1	Знакова	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	
2	Релейна	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	
3	Коваріаційна	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$	
4	Кореляційна	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$	$X_{46}$	$X_{47}$	
5	Нормована	$X_{51}$	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$	$X_{56}$	$X_{57}$	Кластерна модель
6	Структурна	$X_{61}$	$X_{62}$	$X_{63}$	$X_{64}$	$X_{65}$	$X_{66}$	$X_{67}$	
7	Модульна	$X_{71}$	$X_{72}$	$X_{73}$	$X_{74}$	$X_{75}$	$X_{76}$	$X_{77}$	
8	Еквівалентна	$X_{81}$	$X_{82}$	$X_{83}$	$X_{84}$	$X_{85}$	$X_{86}$	$X_{87}$	

Наприклад:  $X_{15} = \sum \text{sign} V_{ij} \cdot \text{sign} |Y_{ij} - Z_{ij}|$ ,  $X_{65} = \sum (V_{ij} - Y_{ij} \cdot Z_{ij})^2$ ,  $X_{75} = |V_{ij} - \dot{Y}_{ij} \cdot \dot{Z}_{ij}|$ .

Теорія кластерних моделей на сьогодні розроблена на основі нормованих ймовірностей переходу об'єкту з одного стану в інший згідно матриці  $|P_{ij}|$  (1), тому класифікація кластерних моделей буде визначена нормованою кореляційною функцією  $\rho_{xx}(0)$  буде представлена 5 кортежем табл. 1.

Названий клас інтегрованих моделей, який характеризується інтегрованими характеристиками врахування багатьох параметрів ОУ, в тому числі математичного сподівання, дисперсії, кореляції, спектру та інших, дозволяє підвищити ефективність діагностування передаварійних та аварійних станів ОУ.

Важливим класом моделей, який дозволяє оперативно ідентифікувати технологічні та інформаційні стани квазістаціонарних об'єктів, що в даний час має достатньо розвинене апробоване програмно-апаратне забезпечення в різних галузях промисловості є моделі на основі спеціальних кодів. Задача моделювання об'єктів нафтогазового комплексу на основі вказаних кодів є недостатньо досліджена і потребує розробки відповідної нової інформаційної технології, яка викладена нижче.

Перспективи розвитку методів діагностування квазістаціонарних об'єктів на основі кластерних моделей

Інформаційна технологія побудови кластерних моделей [5-7] квазістаціонарних ОУ базується на теорії побудови продукційних моделей подання знань [3] для багатоканальних об'єктів, які можуть характеризуватися квазістаціонарними властивостями.

При цьому матриця  $|P_{ij}|$  ймовірності переходу ОУ з  $i$ -го стану в  $j$ -й має вигляд:

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mj} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $P_{ij}$  - ймовірність переходу об'єкту з  $i$ -го стану в  $j$ -й.

На практиці значення  $P_{ij}$  класифікуються на стани норми, передаварії та аварії, тобто:

$$P_{ij} \geq 0,5 - \text{стан "норма"}$$

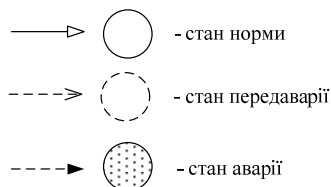
$$0,2 < P_{ij} < 0,5 - \text{стан "передаварія"}$$

$$P_{ij} \leq 0,2 - \text{стан "аварія"}$$

Наприклад, маємо наступну матрицю  $P_{ij}$  для  $n = 4$ ;  $\alpha = 0,5$ ;  $\alpha_1 = 0,2$ :

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.8 & 0.6 & 0.3 \\ 0.2 & 0.4 & 0.9 & 0.6 \\ 0.7 & 0.7 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 & 0.9 \end{bmatrix},$$

де  $P_{ij}$  - відповідає регламентному переходу об'єкта з одного стану в інший,



Кластеризована матриця  $P_{ij}$  є основою для побудови двох типів кластерних моделей:

- 1) таблична кластерна модель (рис. 2);
- 2) графова кластерна модель (рис. 3).

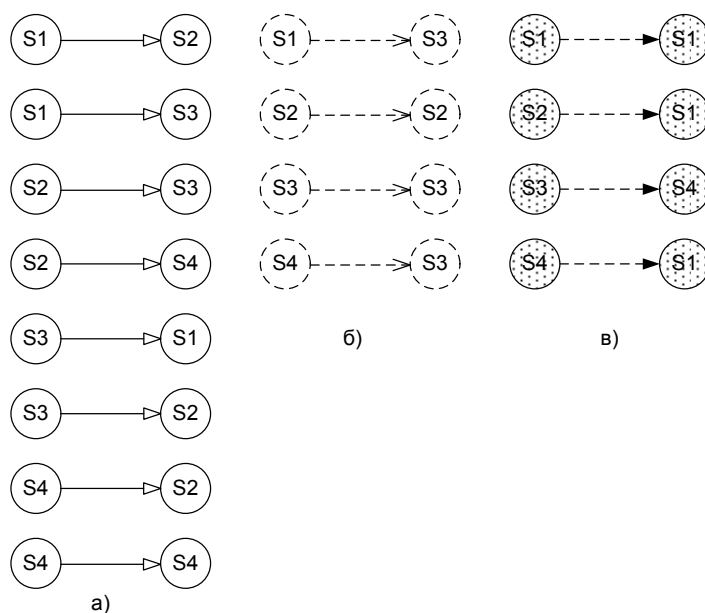


Рис. 2. Таблична кластерна модель стани аварії (а), стани передаварії (б), стани норми (в)

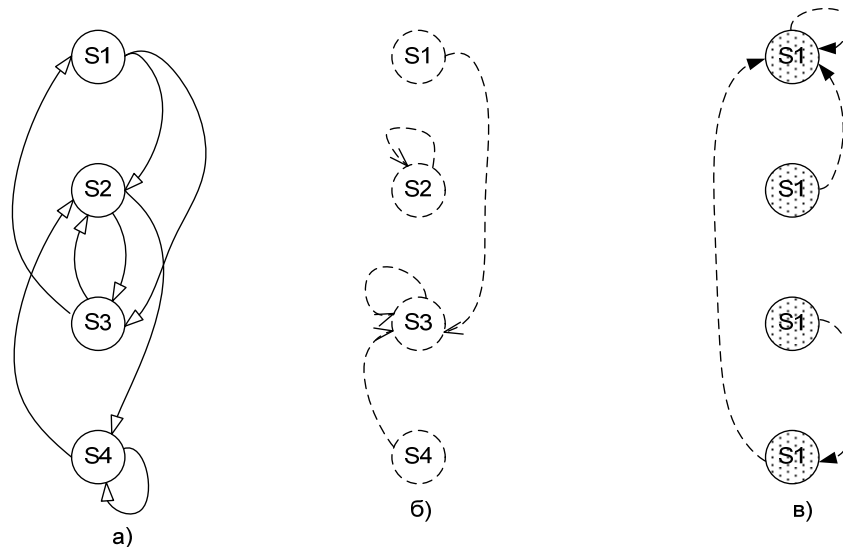


Рис. 3. Графова кластерна модель стани аварії (а), стани передаварії (б), стани норми (в)

Таким чином, проведений аналіз системних характеристик існуючих комп'ютерних систем діагностування ОУ, викладені положення теорії та інформаційної технології діагностування складних об'єктів управління, а також фундаментальні основи теоретико-числових базисів Фур'є, Радемахера, Крестенсона, Галуа показують, що застосування базису Крестенсона та Галуа є важливим резервом розвитку теорії та вдосконалення засобів діагностування квазістаціонарних об'єктів.

#### Розробка та організація діалогової системи та алгоритмів моделювання

Задача ідентифікації передаварійних та аварійних станів об'єкта управління (ОУ) характеризується рядом особливостей наступного характеру:

1. Об'єкт перебуває в стані норми як правило описується стаціонарними характеристиками, згідно функціоналу:

$$S(t) = F(x[t_0, t_1], D_x, \sigma_x, M_x, M_j, M_v, R_{xx}, P_{ij}, LCIM, S(\omega), I_x) \quad (2)$$

2. Об'єкт, який переходить в передаварійний стан ідентифікується стрибками окремих параметрів характеристичного функціоналу (2), що відповідає квазістаціонарності його статистичних характеристик.

Об'єкт, який переходить в аварійний стан найчастіше описується дрейфом практично всіх параметрів характеристичного функціоналу (2), суттєвою зміною коефіцієнтів матриці взаємкореляцій і нестационарністю статистичних характеристик.

З метою моделювання станів квазістаціонарних ОУ, що досліджуються, була створена програма, графічний алгоритм якої представлений на рис. 4.

Для спрощення відладки та демонстрації програми матриця ймовірних переходів з одного стану в інший зменшена до розмірності  $4 \times 4$ . На початку програми вводяться значення матриці  $P_{ij}$  та коефіцієнтів  $\alpha$  та  $\alpha_1$ . На практиці  $P_{ij}$  класифікуються на дозволені та недозволені, тобто:

$$\begin{aligned} P_{ij} &\geq \alpha - \text{"норма"} \\ \alpha_1 &< P_{ij} < \alpha - \text{"передаварія"} \\ P_{ij} &\leq \alpha_1 - \text{"аварія"} \end{aligned}$$

Основний текст програми після оголошення змінних розподілений в процедурних блоках 6–10 (рис. 4). Після ініціалізації програми на виконання здійснюється процедура ButtonClick. Натискаємо на віконну кнопку "розрахунок" (рис. 5), що призводить до запуску на виконання процедури Calculate. Розгорнутий графічний алгоритм представлений на рис. 6.

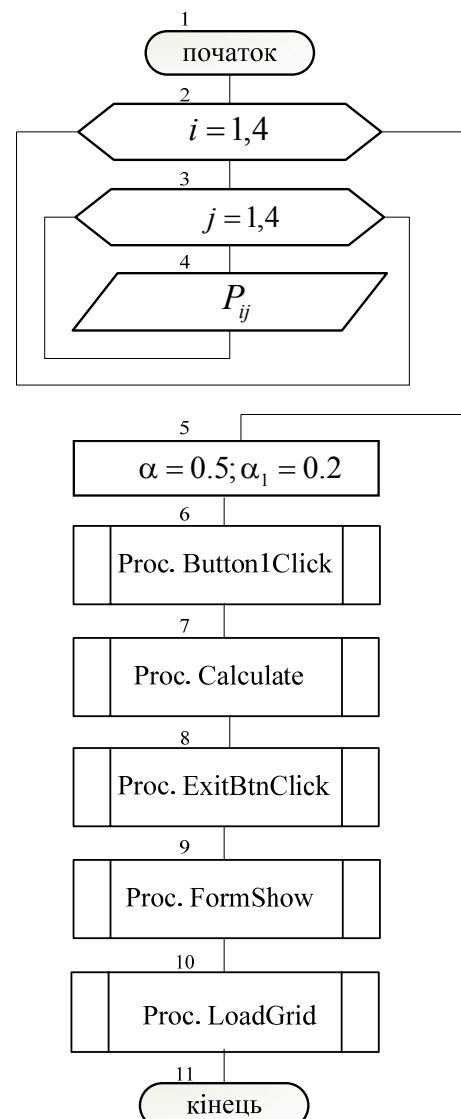


Рис. 4. Графічний алгоритм програми моделювання станів об'єкта

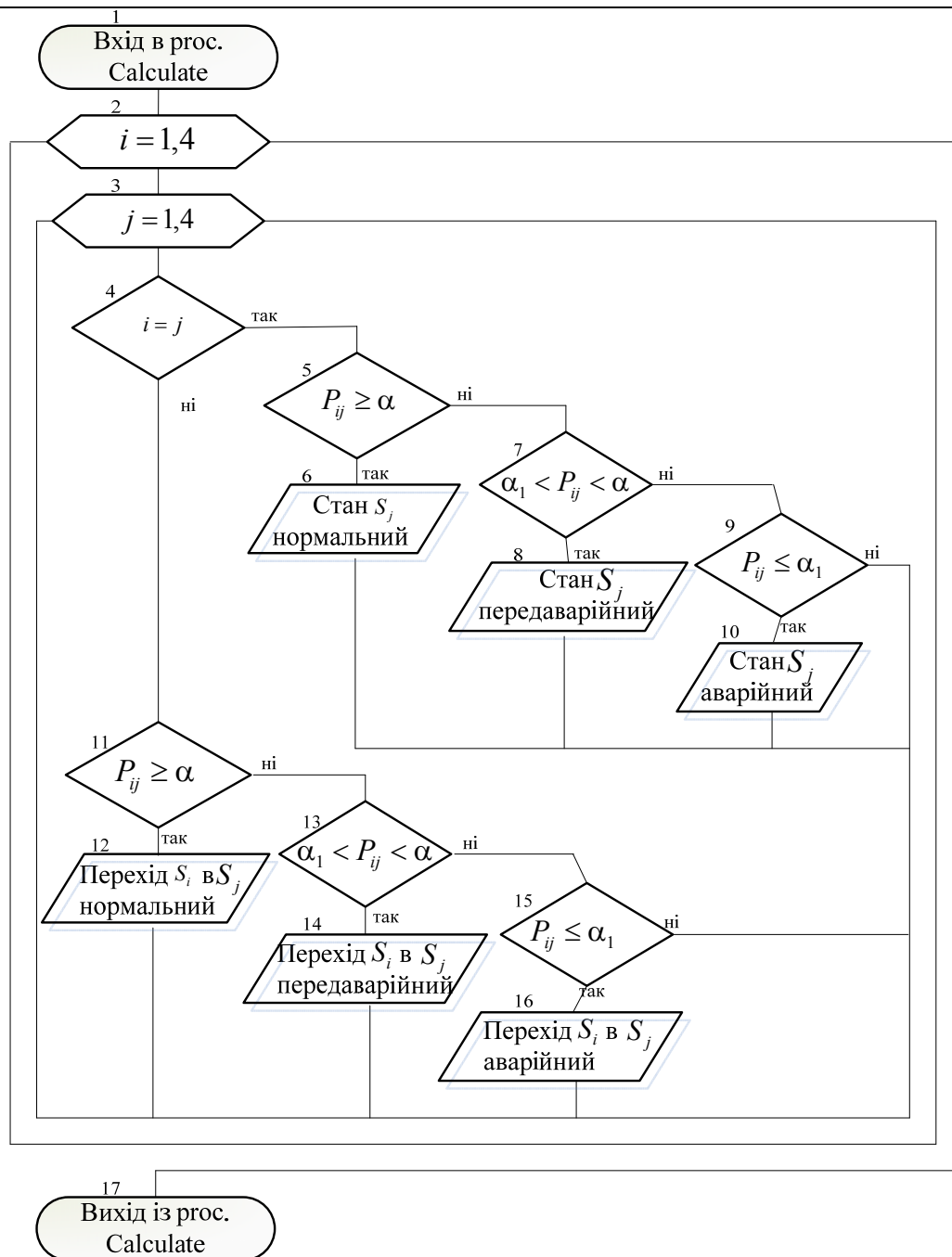


Рис. 5. Розгорнутий графічний алгоритм процедури Calculate

Результати виконання цієї процедури після аналізу відповідних значень матриці  $P_{ij}$  та значень  $\alpha, \alpha_1$  приведені у вікні реєстрації значень (рис. 5).

Процедура LoadGrid дозволяє сформувати ліве вікно з індикацією відповідних станів  $S_1 - S_4$  та числових значень матриці  $P_{ij}$ . Розгорнутий графічний алгоритм LoadGrid показаний на рис. 6.

Процедура FormShow показує програмне вікно і дозволяє запустити процедуру LoadGrid. Завершує програму моделювання процедурний блок ExitBtnClick, який закриває вікно, припиняє дію програми. Результати програми показані на рис. 7.

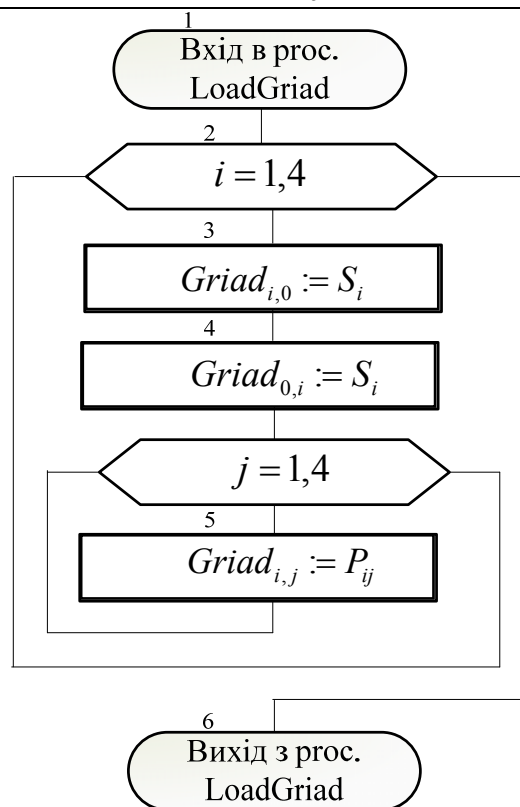


Рис. 6. Розгорнутий графічний алгоритм процедури LoadGrid

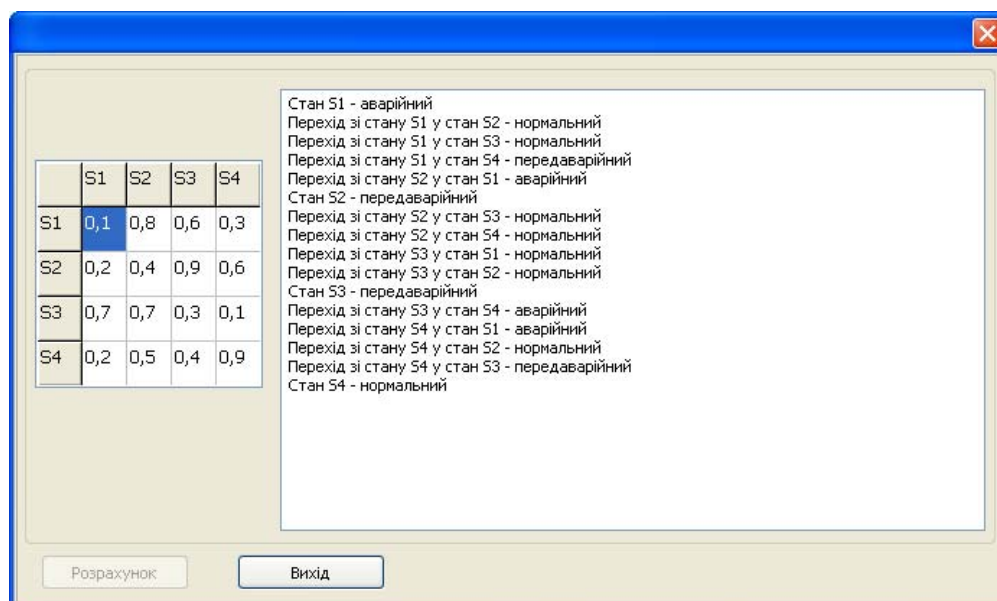


Рис. 7. Вікно управління та реєстрації результатів виконання програми

### Висновки

Розроблено та досліджено багатовимірну кластерну модель квазістаціонарного об'єкту управління, що дозволяє формалізувати складні процеси виявлення та попередження аварійних станів об'єкта, яка є основою для розробки відповідних програмно-апаратних засобів на низових рівнях широкого класу розподілених комп'ютерних систем.

Розроблено структуру та реалізовано програмний алгоритм на основі побудови моделей подання знань кластеризації, яка дозволяє провести детальний автоматизований аналіз перехідних станів ОУ, що спрощує діагностику станів "норми", "передаварії" та "аварії" в реальному масштабі часу.

### Література

1. Ширмовська Н.Г. Діагностування станів квазістаціонарних об'єктів засобами логіко-статистичного опрацювання / Н.Г. Ширмовська, Г.І. Левицька, М.І. Гучій // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – 2013. – № 2 (199). – С. 231–239.

2. Локазюк В.М. Контроль і діагностування обчислювальних пристроїв та систем : [навч. посібник для вузів] / Локазюк В.М. – Хмельницький : ТУП, 2001. – 242 с.
3. Теорія джерел інформації : [монографія] / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.
4. Николайчук Я.М. Базис Галуа та його використання для ідентифікації станів квазістаціонарних об'єктів / Я.М. Николайчук, Н.Г. Ширмовська // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький.- 2012. – № 2 (187). – С. 224–230.
5. Ширмовская Н.Г. Компьютеризированная система диагностирования квазистационарных объектов на основе кластерных моделей / Н.Г. Ширмовская // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2013. – № 1 (42). – С. 155–159.
6. Ширмовська Н.Г. Кластерний аналіз квазістаціонарних об'єктів управління / Н.Г. Ширмовська, Я.М. Николайчук // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. – Євпаторія : ХНТУ, 2013. – С. 519–521.
7. Shyrmovska Nadiia Computer Diagnosing the Control Object Emergency Conditions Using Cluster Analysis // Nadiia Shyrmovska, Yaroslav Nykolaychuk, Artur Voronych, Tetyana Zavedyuk // Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. – Berlin, Germany, 2013. – P. 179–182.

#### References

1. Shyrmovska N.H. Diahnostuvannia staniv kvazistatsionarnykh ob'ektiv zasobamy lohiko-statystychnoho opratsiuvannia. // N.H. Shyrmovska, H.I. Levytska, M.I. Huchii // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu.- Khmelnytskyi.- 2013.- #2(199).- s. 231-239.
2. Lokaziuk V.M. Kontrol i diahnostuvannia obchyslivalnykh prystroiv ta system. //Navch. posibnyk dlia vuziv.-Khmelnytskyi: TUP, 2001.- 242 s.
3. Nykolaichuk Ya.M. Teoriia dzherel informatsii // Monohrafiia: Ternopil:-TNEU, Ekonomichna dumka, 2008.-396s.
4. Nykolaichuk Ya.M. Bazys Halua ta yoho vykorystannia dlia identyfikatsii staniv kvazistatsionarnykh ob'ektiv. / Ya.M. Nykolaichuk, N.H. Shyrmovska // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu.- Khmelnytskyi.- 2012.- #2(187).- S. 224-230.
5. Shyrmovskaia N.H. Kompiuteryzovannaia systema dyahnostyrovannia kvazystatsyonarnykh ob'ektiv na osnove klasternykh modelei // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh.-Khmelnytskyi.-2013.-#1(42).-s. 155-159.
6. Shyrmovska N.H. Klasternyi analiz kvazistatsionarnykh ob'ektiv upravlinnia. // N.H. Shyrmovska, Ya.M. Nykolaichuk // Intelktualni systemy pryiniattia rishen ta problemy obchyslivalnoho intelektu: Materialy mizhnarodnoi naukovoї konferentsii. – Yevpatoriia: KhNTU, 2013.- s. 519-521.
7. Shyrmovska Nadiia Computer Diagnosing the Control Object Emergency Conditions Using Cluster Analysis // Nadiia Shyrmovska, Yaroslav Nykolaychuk, Artur Voronych, Tetyana Zavedyuk // Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. - Berlin, Germany, 2013.- p. 179-182.

Рецензія/Peer review : 24.12.2013 р.

Надрукована/Printed :7.2.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Юрчишин В.М.