УДК 681.3:622.276

ЗАСТОСУВАННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПЕРЕДАВАРІЙНИХ ТА АВАРІЙНИХ СТАНІВ ПРОЦЕСІВ БУРІННЯ

Н.Г. Ширмовська, І.Б. Албанський, І.Р. Пітух, О.Л. Кулинин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 49358,
e-mail: p u b l i c @ n u n g . e d u . u a

Подано оперативно-контрольовані параметри в різних станах установки буріння. Описано типи логіко-статистичних інформаційних моделей та характеристики кореляційних функцій. Наведена архітектура та вказано характеристики кореляційного процесора обчислення структурної функції. Охарактеризовано квазістаціонарні логіко-статистичні та кластерні інформаційні моделі. Наведена теорія можливих переходів квазістаціонарних об'єктів управління в різні стани.

Ключові слова: логіко-статичтичні інформаційні моделі, кореляційний процесор, аварійні та передаварійні ситуації, кластерні моделі, установка буріння.

Представлены оперативно-контролируемые параметры в разных состояниях установки бурения. Описаны типы логико-статистических информационных моделей и характеристики корреляционных функций. Приведена архитектура и указаны характеристики корреляционного процессора вычисления структурной функции. Охарактеризованы квазистационарные логико-статистические и кластерные информационные модели. Проведена теория возможных переходов квазистационарных объектов управления в различные состояния.

Ключевые слова: логико-статичтические информационные модели, корреляционный процессор, аварийные и предаварийные ситуации, кластерные модели, установка бурения.

The paper presents the operational parameters monitored in different states setting drilling. Described types of logical-statistical models and properties of correlation functions. The above architecture and characteristics of the correlation processor computing structure function. Characterizes quasi-stationary statistical and logical cluster information model. An theory of possible transitions of quasi-stationary objects in different states.

Keywords: logical statychtychni information models, correlation processor, accidents and preaccidents, cluster model, installation of drilling.

Вступ

Технологія буріння належить до класу нестаціонарних та квазістаціонарних випадкових процесів. Важливою задачею інформаційних систем, які виконують функцію контролю технологічних станів установки буріння, є виявлення та передбачення аварійних відхилень технологічних процесів від норми. Теоретичною основою ідентифікацією станів процесів буріння та відхилення їх від норми є використання логіко-статичних інформаційних моделей (ЛСІМ) [1, 2], атрибутами яких є кореляційні та спектральні функції [3, 4], а також кластерні моделі [5]. В той же час відомі методи та комп'ютерні засоби базуються на використанні ЛСІМ-1 [6], яка реагує на відхилення технологічних процесів по амплітуді, що суттєво обмежує функціональні можливості та ефективність діагностування, оскільки використовуються інтегральні характеристики нормованої матриці коефіцієнтів взаємокореляції. Перспективним напрямком розвитку низових рівнів комп'ютеризованих систем управління процесами буріння є побудова відповідних кореляційних процесорів, які реалізовані на базі програмовано-логічних матриць.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та формалізація інформаційної технології діагностування відхилень процесів буріння від норми на основі кластерних моделей з метою підвищення ефективності передбачення та попередження аварійних ситуацій шляхом побудови спеціалізованих кореляційних процесорів.

1 Технологічні параметри процесів буріння, які використовуються для діагностування передаварійних станів установки буріння (УБ)

В табл. 1 подані оперативно-контрольовані параметри в різних станах установки буріння.

Серед названих параметрів найбільш важливими з точки зору аварійності станів УБ є навантаження на долото та питома вага бурового розчину. У разі відхилення параметрів навантаження на долото може відбуватися заклинювання бурового інструмента, його поломка або зниження швидкості буріння, що потребує оперативного застосування першої ЛСІМ (табл. 2), яка контролює відхилення по амплітуді. Контроль питомої ваги бурового розчину є особливо важливим при наближенні бурового інструмента до нафтогазових пластів. При цьому, неконтрольований прояв нафти чи газу призводить до викиду інструмента, виникнення пожеж та, відповідно, особливо небезпечних екологічних катастроф. В даному випадку актуальним є застосування ЛСІМ–2 яка контролює змінну динаміки характеристик бурового розчину на основі кореляційних функцій. ЛСІМ-3 реагує на порушення зміни фазових характери-

Таблиця 1 – Параметри УБ

№ з/п	Оперативно контрольовані параметри	Стан бурової установки													
		Буріння				СПО			Промивка				Випро-бування			Компоновка
1	Вага інструмента	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ					Ọ	Ọ	Ọ	
2	Навантаження на долото	+	+	+	+											
3	Момент на роторі	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ								Ọ	Ọ	Ọ	
4	Глибина вибою	+	+	+	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ					Ọ	Ọ	Ọ	
5	Кількість свічок свердловини					+	+	+								Час виконання операції
6	Проходка / час	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	+	+	Ọ					+	Θ	Ọ	
7	Час / одиниця проходки	+	+	+	+											
8	Проходка на долото	+	+	+	+											
9	Обороти ротора / од. часу	Θ	Θ	Ọ	Ọ											
10	Обороти на вибої	+	+	+	+											
11	Загальне число оборотів	+	+	+	+											
12	Зношування обладнання	+	+	+	+											
13	Спрацювання опори	+	+	+	+											
14	Кількість ходів / од.часу	+	+	+	+	+	+	Ọ	+	+	Ọ	Ọ				
15	Загальна кількість ходів	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
16	Рівень в ємностях	Θ	Θ	Θ	Ọ	Θ	Ọ	Ọ	Θ	Θ	Ọ	Ọ	Θ	Θ	Ọ	
17	Тиск на вхідній свердловині	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	
18	Розхід на вході	Θ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Θ	Ọ	Ọ	
19	Розхід на виході	Θ	Θ	Θ	Ọ				Θ	Ọ	Ọ	Ọ				
20	Щільність на вході	Θ	Θ	Ọ	Ọ	Θ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Ọ				
21	Щільність на виході	Θ	Θ	Θ	Ọ				Θ	Ọ	Ọ	Ọ				
22	Вміст газу	Θ	Ọ	Ọ	Ọ				Ọ	Ọ	Ọ	Ọ	Θ	Ọ	Ọ	

Умовні позначення:

Ọ – безпосередній контроль параметра

\+ – розрахунок параметра непрямим шляхом

Θ – "дефіцит" контролю параметра

□ – відсутність потреби контролю

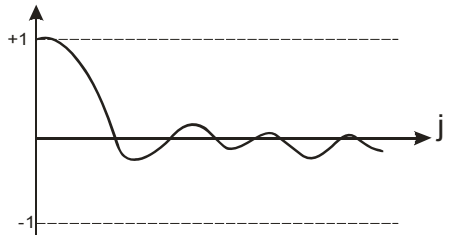
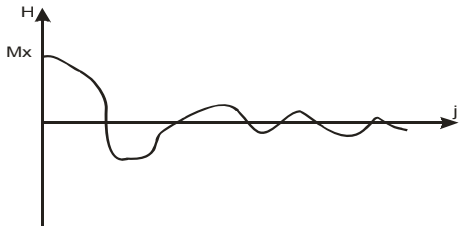
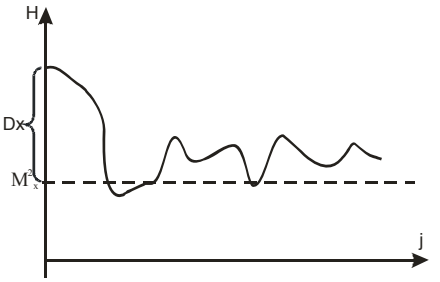
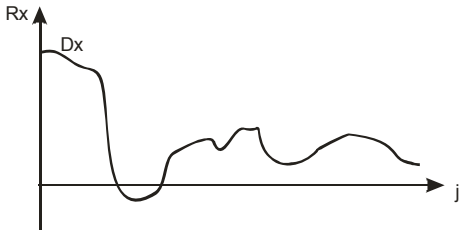
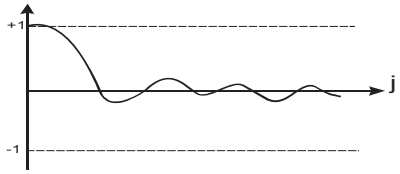
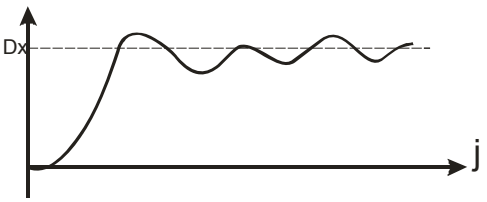
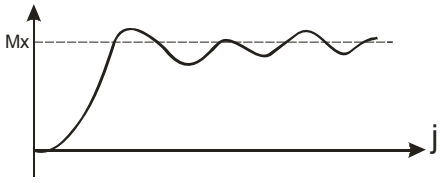
Таблиця 2 – Типи ЛСІМ

Тип ЛСІМ	Аналітичний вираз
ЛСІМ-1	$L_1 = \begin{cases} 0, & X_i \in \varepsilon_1 \\ 1, & X_i \notin \varepsilon_1 \end{cases}$
ЛСІМ-2	$L_2 = \begin{cases} 0, & C_{xx}(j) < \varepsilon_2 \\ 1, & C_{xx}(j) \geq \varepsilon_2 \end{cases}$
ЛСІМ-3	$L_3 = \begin{cases} 0, & \rho_{xy} > 0 \\ 1, & \rho_{xy} \leq 0 \end{cases}$
ЛСІМ-4	$L_3 = \begin{cases} 0, & S(\omega) > 0 \\ 1, & S(\omega) \leq 0 \end{cases}$
ЛСІМ-5	$L_5 = \begin{cases} 0, & D > \varepsilon_5 \\ 1, & D \leq \varepsilon_5 \end{cases}$

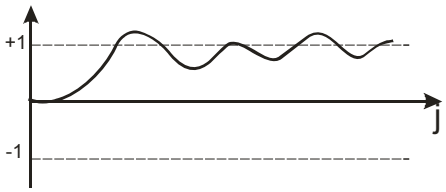
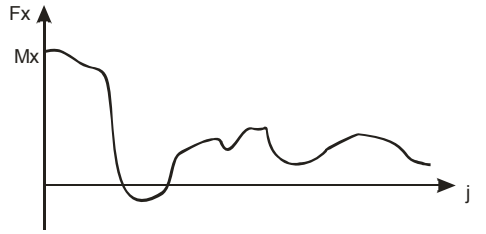
стик між параметрами промислового об'єкта, але не реагує на спектр сигналу. ЛСІМ-4 аналізує та реагує на недопустимі зміни спектра сигналу, але не несе інформації про момент часу, коли змінюється характеристика об'єкта. ЛСІМ-4 успішно застосовується при зашумлених процесах, коли на основі описаних вище моделей в часовій області неможливо розрізнити відхилення контрольованої величини від норми. Принцип роботи ЛСІМ-5 базується на аналізі зміни глобальної дисперсії станів промислових об'єктів.

В табл. 3 наведено системні характеристики кореляційних функцій, які можуть бути ефективно використанні для діагностування відхилення важливих параметрів буріння від норми.

Таблиця 3 – Характеристики кореляційних функцій

№ з/п	Тип моделі	Аналітичний вираз	Продукційна модель
1	2	3	4
1	знакова	$B_{xx}(j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} sign\,\overset{o}{x}_i \cdot sign\,\overset{o}{x}_{i+j}$ $sign\,\overset{o}{x}_i=\begin{cases}+1, \overset{o}{x}_i \ge 0\\ -1, \overset{o}{x}_i < 0\end{cases};$	
2	релейна	$H_{xx}(j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{o}{x}_i \cdot sign\,\overset{o}{x}_{i+j}$	
3	коваріаційна	$K_{xx}(j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot x_{i+j}$	
4	кореляційна	$R_{xx}(j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \overset{o}{x}_i \cdot \overset{o}{x}_{i+j}$	
5	нормована кореляційна	$\rho_{xx}(j)=\frac{R_{xx}(j)}{D_{xx}}$	
6	структурна	$C_{xx}(j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{i+j})^2$	
7	модульна	$G_{xx}(j)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\|x_i - x_{i+j}\right\|$	

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
8	нормована модульна	$g_{xx}(j)=\frac{C_{xx}(j)}{M_x}-M_x$	
9	еквівалентна	$F_{xx}(j)=\frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}\overset{\vee}{Z}_{ij};$ $\overset{\vee}{Z}_{ij}=\begin{cases}x_i, & x_i<x_{i+j}\\ x_j, & x_i\geq x_{i+j}\end{cases}.$	

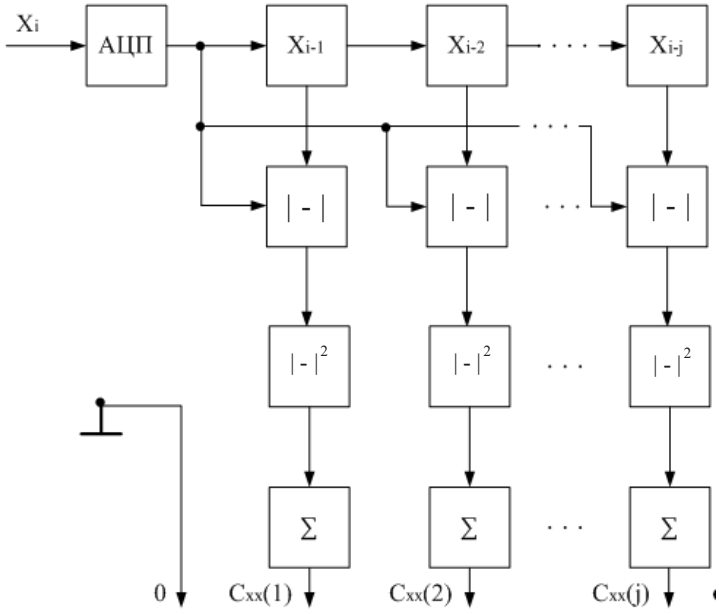


Рисунок 1 – Архітектура кореляційного процесора обчислення структурної функції

2 Структура та критерії ефективності кореляційного процесора структурної функції

Питання цифрового кореляційного опрацювання сигналів та інформаційних потоків є одним з ключових при створенні, реорганізації та вдосконаленні розподілених комп'ютерних мереж. На рис. 1 наведена архітектура кореляційного процесора обчислення структурної функції, який містить АЦП у базисі Радемахера, регістр зсуву поточного значення x_i, пристрої обчислення модульних різниць(| - |), квадратори (| - |^2), та суматори (Σ).

Особливістю даної архітектури корелятора є високий рівень регулярності, а також відсутність операцій множення, що забезпечує високу швидкодію обчислень. В табл. 4 описано характеристики складності SH-моделі кореляційного процесора, які розраховуються на основі теоретичних положень, запропонованих професором М.В.Черкаським [5].

Таблиця 4 – Характеристики SH моделі кореляційного процесора

Характеристика складності SH – моделі	Аналітичне представлення складності SH – моделі
Апаратна складність	$A=\lvert x\rvert$
Часова складність	$L=\lvert\max x_i\rvert$
Програмна складність	$P=-F\log_2\frac{F}{n\cdot m}$
Структурна складність	$S=-C\log_2\frac{C}{r(r-1)}$
Ємнісна складність	$E=\sum_{i=1}^{k}\prod_{l=1}^{m}E_{il}\cdot n_{il}$

В таблиці 4:

x – множина елементів схеми, i=1,2,… – число елементів;

$F = \sum_{L} f_1$, f_1 – кількість сигналів управління l-ого фрагмента часової діаграми для вибраного рівня ієрархії побудови апаратних засобів;

n – кількість входів управління;

m – кількість дискретів часу (часової діаграми);

L – кількість фрагментів часової діаграми, конфігурації яких не повторюються;

C – кількість елементів матриці інцидентності системи;

r – розмір матриці.

Перелічені оцінки складності доцільно використовувати для синтезу, аналізу та оптимізації процесів кореляційного опрацювання потоків (табл.3). При цьому апаратна складність визначається кількістю елементарних перетворювачів і елементів оперативної пам'яті; часова – кількістю елементарних перетворювачів у максимальному шляху розповсюдження сигналу $L = |\max x_i|$; програмна складність визначає число операторів для реалізації програми обчислення.

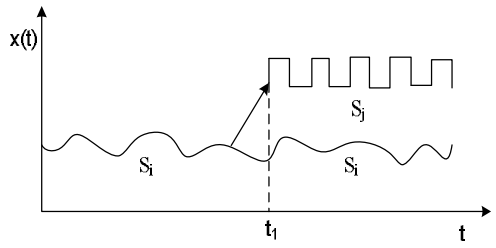
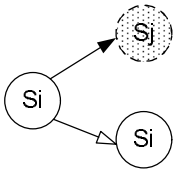
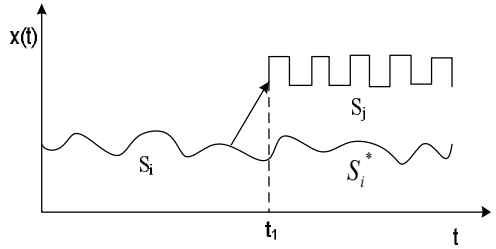
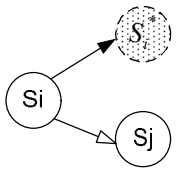
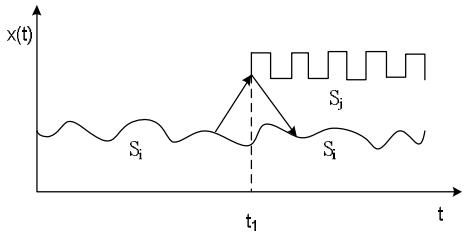
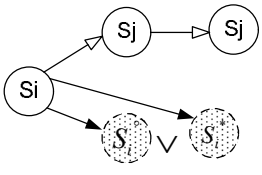
На основі критеріїв, поданих в табл.4, доцільна оптимізація характеристик кореляційного процесора на основі використанні різних теоретико-числових базисів таких типів: унітарного, Хаара, Радемахера, Крестенсона та Галуа.

3 Характеристики квазістаціонарності процесів буріння та кластерного аналізу передаварійних та аварійних станів

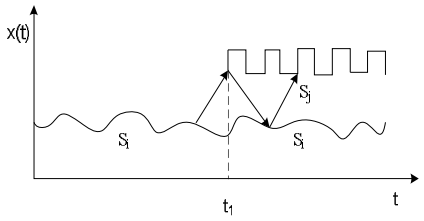
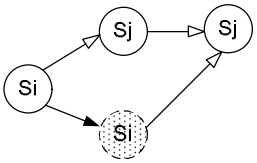
При побудові ідентифікації графів кластерних моделей використовуються кореляційні функції, наведені в табл. 3, які дозволяють зменшити вплив завад на інформаційні потоки, що використовуються для обчислення матриць ймовірності переходу об'єкта управління з одного стану в інший, зниження гіперчутливості та підвищення надійності виявлення передаварійних та передбачення аварійних станів об'єкта.

Продукційні моделі та квазістаціонарні ЛСІМ на основі матриці переходу з одного стану в інший наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Квазістаціонарні ЛСІМ на основі матриці переходу з одного стану в інший

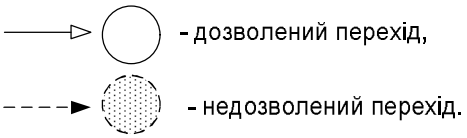
Продукційна модель подання знань про аварійні та передаварійні стани ОУ	Кластерна модель	Матриця P_{ij} переходу об'єкта з *i*-го стану в *j*-й	ЛСІМ-6
1	2	3	4
		$\begin{array}{ccc} & S_i & S_j \\ S_i & 0.9 & 0.1 \\ S_j & 0.01 & 0.6 \end{array}$	$L_6 = \begin{cases} 0, S_i = S_i \\ 1, S_i = S_j \end{cases}$
		$\begin{array}{ccc} & S_i & S_j \\ S_i & 0.9 & 0.1 \\ S_j & 0.01 & 0.6 \end{array}$	$L_6 = \begin{cases} 0, S_i = S_j \\ 1, S_i = S_i \end{cases}$
		$\begin{array}{ccc} & S_i & S_j \\ S_i & 0.9 & 0.1 \\ S_j & 0.01 & 0.6 \end{array}$	$L_6 = \begin{cases} 0, S_i = S_j \\ 1, S_i = S_i \end{cases}$

Продовження таблиці 5

Продукційна модель подання знань про аварійні та передаварійні стани ОУ	Кластерна модель	Матриця P_{ij} переходу об'єкта з *i*-го стану в *j*-й	ЛСІМ-6
1	2	3	4
		$\begin{array}{c\|cc} & S_i & S_j \\ \hline S_i & 0.9 & 0.1 \\ S_j & 0.01 & 0.6 \end{array}$	$L_6 = \begin{cases} 0, S_i = S_j \\ 1, S_i = S_i \end{cases}$

S_i°, S_j° - передаварійна ситуація,

S_i^{*}, S_j^{*} - аварійна ситуація,



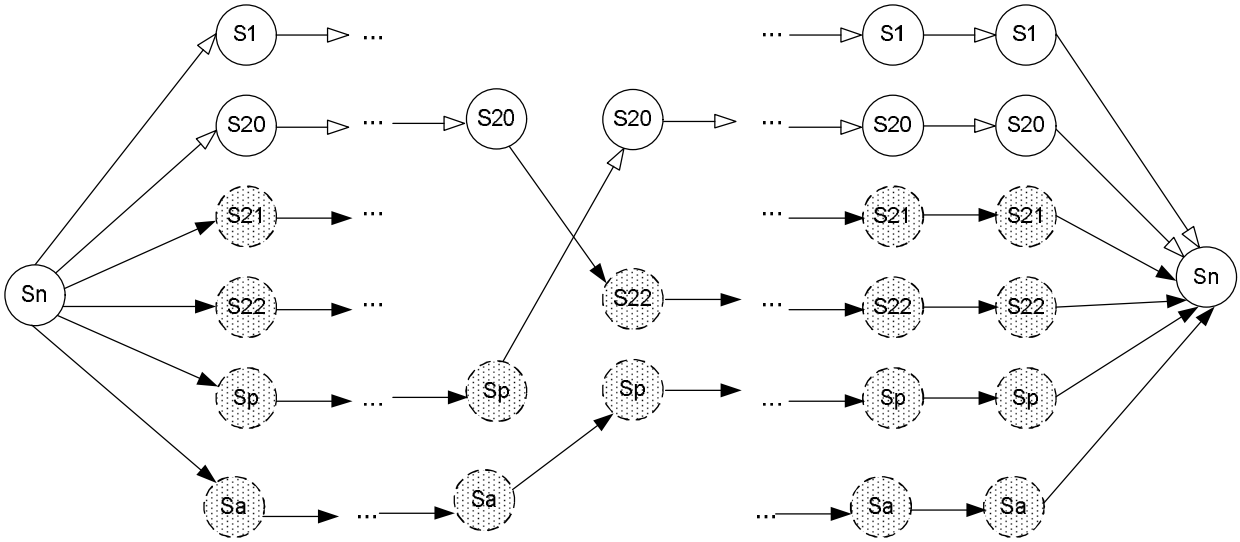


Рисунок 2 – Узагальнена теорія переходів квазістаціонарних ОУ

На рис. 2 наведено узагальнену теорію можливих переходів квазістаціонарних ОУ в різні стани.

Узагальнена теорія можливих переходів квазістаціонарних ОУ описується такою залежністю:

$$L_6 = \begin{cases} 0, S_n = S_n \\ 0, S_1 = S_{20} \\ 1, S_1 = S_{21} \vee S_{22} \\ 1, S_n = S_a \vee S_p \end{cases} \quad (1)$$

Висновки

Викладено теоретичні засади кореляційного та кластерного аналізу в якості інформаційної технології діагностування виявлення та попередження аварійний ситуацій процесів буріння на основі ЛСІМ, кореляційних процесорів та кластерних моделей.

Завданням наступних досліджень є створення відповідного класу спецпроцесорів, які можна впровадити в системи контролю та управління процесами глибокого буріння.

Література

1 Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації: монографія / Я.М. Николайчук. – Тернопіль: ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.

2 Ширмовська Н.Г. Теоретичні основи та методологія формалізації станів квазістаціонарних об'єктів / Н.Г. Ширмовська // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – № 24. – С.116-120.

3 Албанський І.Б. Дослідження системних характеристик складності кореляційних спецпроцесорів реалізованих у різних ТЧБ / І.Б. Албанський // Поступ в науку: Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – 2010. – № 6. – С. 67.

4 Бендат Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа; пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсон. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

5 Черкаський М.В. Універсальна SH-модель / М.В. Черкаський, Мурад Хусейн Халіл // Комп'ютерні системи та мережі: Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2004. – №523. – С.150-154.

6 Пат 6593 СССР, МПК G06F 15/46, G05B 23/02. Пристрій для контролю роботи технологічного об'єкту / Горшков Б.Г.; наук.-дослідний електротехнічний інститут Науково-виробничого об'єднання. – № 4733986/24, Бюл. №8-1.

Стаття надійшла до редакційної колегії
17.06.11
Рекомендована до друку професором
М.І. Горбійчуком