

## **ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ОПЕРАТОРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИМ ОБ'ЄКТОМ НА ОСНОВІ ОБРАЗНО-КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ**

**Г. Я. Процюк, В. Р. Процюк, Я. М. Николайчук**

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (0342) 727107,  
e-mail: a s p u r @ n u n g . e d u . u a*

*Роботу присвячено синтезу структури образно-кластерної моделі інтерактивного моніторингу станів багатопараметричних об'єктів управління на основі системи автоматизованого проектування (САПР) алгоритму розпаралеленого опрацювання статистичних даних та кореляційних характеристик технологічних об'єктів. Викладені теоретичні засади методології побудови образно-кластерної моделі багатопараметричних об'єктів на основі запропонованого функціоналу оцінки стану об'єкту моніторингу. На основі аналізу структури та декларованих функцій сучасних інтегрованих комп'ютеризованих систем універсального призначення та проблемно-орієнтованих до моніторингу процесів буріння показана необхідність розвитку теорії, вдосконалення функцій та методів підвищення ефективності роботи операторів при взаємодії «оператор – моніторингова система». Визначено основні інтерфейсні та управлінські функції операторів підсистеми моніторингу технологічного процесу. Сформульовано основні функціональні обмеження існуючих моніторингових систем, які не забезпечують оперативного виявлення та редагування операторів на складні предаварійні та аварійні ситуації на об'єктах. Систематизовані функції інтерактивної взаємодії оператора в інформаційному середовищі комп'ютеризованої системи. Обґрунтована необхідність розроблення відповідного прикладного алгоритмічного та програмного забезпечення шляхом виконання високопродуктивних обчислень та генерації образно-кластерних моделей та дослідження у промислових умовах ефективності послідовних моделей захисту об'єктів управління від виникнення нештатних, предаварійних, прогнозу аварійних та катастрофічних ситуацій на об'єктах нафтогазового комплексу, у тому числі при моніторингу процесів буріння. Представлена структура розпаралеленого алгоритму побудови та відображення на моніторі образно-кластерної моделі об'єкта на основі розробленого програмного забезпечення САПР.*

Ключові слова: комп'ютеризовані система, моніторинг, оператор, образно-кластерна модель.

*Работа посвящена синтезу структуры образно-кластерной модели интерактивного мониторинга состояний многопараметрических объектов управления на основе системы автоматизированного проектирования (САПР) алгоритма распараллеленной обработки статистических данных и корреляционных характеристик технологических объектов. Изложены теоретические основы методологии построения образно-кластерной модели многопараметрических объектов на основе предложенного функционала оценки состояния объекта мониторинга. На основе анализа структуры и декларируемых функций современных интегрированных компьютеризированных систем универсального назначения и проблемно-ориентированных к мониторингу процессов бурения, показана необходимость развития теории, усовершенствования функций и методов повышения эффективности работы операторов при взаимодействии «оператор – мониторинговая система». Определены основные интерфейсные и управленческие функции операторов подсистемы мониторинга технологического процесса. Сформулированы основные функциональные ограничения существующих мониторинговых систем, которые препятствуют обеспечению оперативного выявления и реагированию операторов на сложные предаварийные и аварийные ситуаций на объектах. Систематизированы функции интерактивного взаимодействия оператора в информационной среде компьютеризированной системы. Обоснована необходимость разработки соответствующего прикладного алгоритмического и программного обеспечения путем выполнения высокопроизводительных вычислений и генерации образно-кластерных моделей и исследования в промышленных условиях эффективности последовательных моделей защиты объектов управления от возникновения нештатных, предаварийных, а также прогноза аварийных и катастрофических ситуаций на объектах нефтегазового комплекса, в том числе при мониторинге процессов бурения. Представлена структура распараллеленного алгоритма построения и отображения на мониторе образно-кластерной модели объекта на основе разработанного программного обеспечения САПР.*

Ключевые слова: компьютеризированные системы, мониторинг, оператор, образно-кластерная модель.

*The work is devoted to the synthesis of the structure of the image-cluster model of interactive monitoring of the states of multi-parameter control objects based on the computer-aided design (CAD) algorithm for parallel processing of statistical data and correlation characteristics of technological objects. The theoretical foundations of the methodology for constructing an image-cluster model of multiparameter objects based on the proposed functional for assessing the state of the monitoring object are presented. Based on the analysis of the structure and declared functions of modern integrated computerized systems for universal use and problem-oriented monitoring of drilling processes, the necessity of developing the theory, improving the functions and methods of increasing the efficiency of operators' work in the interaction "operator – monitoring system" is shown. The main interface and management functions of the operators of the technological process monitoring subsystem have been determined. The main functional limitations of the existing monitoring systems are formulated, which do not ensure the prompt identification and editing of operators for complex pre-emergency and emergency situations at the facilities. The functions of the operator's interactive interaction in the information environment of the computerized system are systematized. The necessity of developing the corresponding applied algorithmic and software software by performing high-performance calculations and generating image-cluster models and researching in industrial conditions the effectiveness of sequential models of protecting control objects from the occurrence of abnormal, pre-emergency, forecasting emergency and catastrophic situations at oil and gas facilities, including monitoring of drilling processes. The structure of a parallelized algorithm for constructing and displaying on a monitor an image-cluster model model of an object based on the developed CAD software is presented.*

Key words: computerized systems, monitoring, operator, image-cluster model.

## **Вступ**

Актуальною проблемою розв'язання комплексу наукових задач, пов'язаних з розвитком теорії вдосконалення методології та техніки побудови в інтерактивних комп'ютеризованих систем (ІРКС), є проблемно-орієнтована структуризація потоків даних та їх опрацювання програмно-апаратними засобами САПР. До складу таких задач входять:

– синтез та оптимізація архітектури ІРКС на основі теоретичних засад та методів побудови комплексу моделей руху даних [1-3];

– збір та опрацювання в інтерактивному режимі структурованих даних про стани багатопараметричних технологічних об'єктів управління;

– обґрунтування доцільності та вибір кодової системи перетворення, опрацювання та реєстрації цифрових даних, які одночасно системно задовольняють оптимізованим умовам компактності, безнадлишковості, захисту від помилок та несанкціонованого доступу до технологічних даних;

– узгодження з задачами інтерфейсного та інтерактивного формування, кодування, цифрового передавання, архівування та використання проблемно-орієнтованих структурованих даних про технологічні стани об'єктів управління [4, 5];

– вдосконалення методології та техніки інтерактивної взаємодії операторів ІРКС з багатопараметричними об'єктами у реальному часі;

– синтез на основі САПР розпаралеленого алгоритму формування на моніторах операторів образно-кластерних моделей (ОКМ) технологічних процесів [5, 6];

– розроблення оптимізованої структури програмно-апаратних засобів контролю параметрів технологічного процесу [7].

## **Огляд опублікованих джерел та стану вирішення проблеми**

Світовий досвід розроблення та широкомасштабного застосування ІРКС зарубіжними та акредитованими в Україні фірмами АВВ, Motorola, FF, SPM, SCHENCK, Yocogawa, Електросвіт [4-6] свідчить, що задача організаційного, інформаційного та технічного програмно-апаратного забезпечення низових рівнів ІРКС вже достатньо успішно вирішена і практично реалізована.

У зв'язку з наявністю широкого класу об'єктів управління, які характеризуються високим рівнем пожежної, вибухової та екологічної небезпеки особлива увага, при визначенні систем характеристик таких ІРКС, приділяється забезпеченню їх високої надійності, живучості властивостей удосконалення та адаптації до екстремальних умов експлуатації. При цьому в інформаційному середовищі такого класу комп'ютеризованих систем зростають вимоги до рівня функціональної діяльності операторів.

У класичних роботах відомих американських вчених з теорії складних систем Харіса, Фрітча, Джеймса Мартіна, а також українських науковців Н. Алішова [5] та Я. Николайчука [6] однозначно визначена концепція організації функцій таких систем.

В основу сформульованої концепції покладено вимогу, що інтерактивна система управління як багатометричний об'єкт повинна проєктуватись таким чином, щоб бути здатною

успішно і достатньо надійно виконувати свої функції не лише в умовах режиму «норма», але, що важливо, у невизначених квазістаціонарних та нестационарних екстремальних умовах перемінливих, передаварійних та аварійних режимах.

Слід зауважити, що саме в таких ситуаціях провідну роль виконують оператори комп'ютеризованої системи, які працюють в інтерактивному режимі контролю станів об'єктів на моніторах промислових комп'ютерів.

Запропонована нами розробка концепції теоретичних засад, методології та способу контролю параметрів технологічного процесу на основі САПР образно-кластерної моделі (ОКМ) дозволяє розширити функціональні можливості та підтримати інформативність процедур аналізу технологічних процесів контролем не тільки відхилень їх параметрів за амплітудою, але й відхилень статистичних значень: ковзного математичного сподівання, середньостатистичної динаміки ковзної структурної кореляції, матриці нормованих коефіцієнтів взаємкореляції між парами технологічних параметрів, логіко-статистичних інформаційних, спектральних, кластерних та ентропійних моделей.

### **Розроблення способу контролю параметрів технологічного процесу**

Суть відомого способу контролю параметрів технологічного об'єкта, який реалізований у пристрої контролю роботи технологічного об'єкта [7] полягає у тому, що стани технологічного об'єкта "норма", "прогноз аварії" та "аварія" розраховуються на основі вимірних параметрів та обчисленої кластерної моделі, і кожен з цих станів відображається на окремому індикаторі.

Недоліком такого способу є вузькі функціональні можливості та низька інформативність, оскільки результатом аналізу технологічного процесу є контроль відхилення від норми тільки ймовірнісних переходів кластерної моделі без врахування його вимірних та розрахованих статистичних характеристик. Також недоліком є контроль параметрів технологічного процесу шляхом відображення його станів "норма", "прогноз аварії" та "аварія" на багатьох окремих індикаторах, які здійснюють тільки реєстрацію факту відхилення від норми і не дозволяють інтегровано ідентифікувати ці стани у вигляді структуризованої образно-кластерної фейс-моделі.

Найбільш близьким технічно є спосіб контролю параметрів технологічного процесу [8], який включає циклічне вимірювання і запам'ятовування значень кожного параметра, визна-

чення стану технологічного процесу шляхом порівняння вимірюваних значень параметра в області можливих значень норми, ідентифікацію стану квазістаціонарного об'єкта, а також визначення структурної автокореляційної функції та нормованого коефіцієнта взаємкореляції, за якими порівнюють:

– ковзні статистичні характеристики математичного сподівання, відповідно до виразів:

$$L_1 = \begin{cases} 0, a_1 < M_j < a_2 \\ 1, a_1 \geq M_j \geq a_2 \end{cases},$$

де  $M_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} x_{i+j}, i = 1, 2, \dots, I, n$  - число кон-

трольованих параметрів технологічного об'єкту;

– структурну кореляційну функцію, згідно з виразом:

$$L_2 = \begin{cases} 0, b_1 < C_{xx}(j) < b_2 \\ 1, b_1 \geq C_{xx}(j) \geq b_2 \end{cases},$$

де  $C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} (x_i - x_{i-j})^2, j = \overline{0, m}$  ;

– коефіцієнти нормованої взаємкореляції між двома параметрами, згідно з виразом:

$$L_3 = \begin{cases} 0, 0 < \rho_{xy} < 1 \\ 1, 0 \geq \rho_{xy} \geq -1 \end{cases},$$

де  $\rho_{xy} = \frac{R_{xy}(0)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \sigma_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} (x_i - M_{xj})^2,$

$\sigma_y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} (y_i - M_{yj})^2.$

Таким чином, відповідно до наведеної сукупності вимірних та визначених параметрів технологічного процесу за таким способом виконується певна послідовність операцій;

$$X_{III} = F(\{x_i\}, \{y_i\}, S, M_j, M_{xj}, M_{yj}, \sigma_x, \sigma_y,$$

$$C_{xx}(j), R_{xy}(0), \rho_{xy}, L_1, L_2, L_3),$$

де  $\{x_i\}, \{y_i\}$  – вимірювання параметрів технологічного процесу;

$S$  – ідентифікація квазістаціонарного стану технологічного процесу;

$M_j, M_{xj}, M_{yj}$  – визначення ковзних статистичних характеристик математичного сподівання;

$\sigma_x, \sigma_y$  – визначення середньоквадратичних оцінок дисперсії;

$C_{xx}(j)$  - визначення структурної кореляційної функції;

$R_{xy}(0)$  - визначення центрованої взаємодкореляційної функції в нульовій точці між параметрами  $x_i, y_i$ ;

$\rho_{xy}$  - визначення коефіцієнта нормованої взаємодкореляції між кожною парою параметрів, на основі яких визначаються  $L_1, L_2, L_3$  - логіко-статистичні оцінки порівняння вимірюваних значень параметрів в області можливих значень норми, відповідно за амплітудою ( $L_1$ ), динамікою ( $L_2$ ) та фазою ( $L_3$ ).

Недоліком даного способу є вузькі функціональні можливості, обумовлені тим, що контроль параметрів технологічного процесу не передбачає порівняння спектральних характеристик вимірювальних значень параметрів технологічного процесу в області можливих значень норми, визначення матриці ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший, визначення оцінки кореляційної ентропії технологічного процесу, формування еталонного зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу "норма", порівняння параметрів еталонного стану з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу "норма", "прогноз аварії" та "аварія" та ідентифікації стану технологічного процесу відображення на моніторі оператора у вигляді образно-кластерної моделі, що знижує інформативність ідентифікації стану технологічного процесу.

Удосконаленим є спосіб контролю параметрів технологічного процесу шляхом розширення функціональних можливостей та підвищення його інформативності, що включає циклічне вимірювання і запам'ятовування значень кожного параметра, визначення стану технологічного процесу шляхом порівняння вимірюваних значень параметра з граничними уставками, ідентифікацію стану квазістаціонарного об'єкта, визначення структурної автокореляційної функції та нормованого коефіцієнта взаємодкореляції. З цим коефіцієнтом порівнюють ковзні статистичні характеристики математичного сподівання, в якому

- визначають вибірккові математичні сподівання за виразами:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad M_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i,$$

які характеризують відповідність значень уставкам регуляторів технологічного процесу;

- визначають зважені ковзні математичні сподівання параметрів відповідно до виразів:

$$M_{vx} = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} V_{i-j} X_{i+j}, \quad M_{vy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} V_{i-j} Y_{i+j},$$

які дозволяють виконувати екстраполяцію та передбачати зміни станів технологічного процесу в часі, де  $V_{i-j}$  - вагова функція, що визначає інформативність вимірюваного значення технологічного процесу з нульовим ефектом старіння інформації, що дозволяє прогнозувати тенденцію та майбутні стани технологічного процесу;

- виконують порівняння спектральних характеристик вимірюваних значень параметрів в області можливих значень норми відповідно до виразів:

$$L_4 = \begin{cases} 0, S_1 < S_w < S_2 \\ 1, S_1 \geq S_w \geq S_2 \end{cases},$$

де  $S_w = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \rho_{xx}(j) \cdot w_j \cdot e^{-\alpha \cdot j},$

$w$  - кругова частота косинусного перетворення Фур'є,

$$\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x} - \text{нормована і центрована}$$

автокореляційна функція контрольованого параметра технологічного процесу,

$D_x = \sigma_x^2$  - дисперсія технологічного процесу,

$$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i \cdot \dot{x}_{i+j} - \text{центрована автокореляційна}$$

функція параметра технологічного процесу,  $\dot{x}_i = x_i - M_x$ ;

- визначають матрицю ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший  $P_{ij}$ , де

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

де  $P_{ij}$  - ймовірнісний стан норми,  $P_{ij}$  - ймовірнісний стан прогнозу різних видів передаварійних станів,

$P_{ij}$  - ймовірнісний стан аварії,  $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ ;

- здійснюють оцінку кореляційної ентропії технологічного процесу, яка відображає деградацію кореляційних характеристик технологічного процесу і передбачає розвиток передаварійних станів технологічного процесу відповідно до виразу:

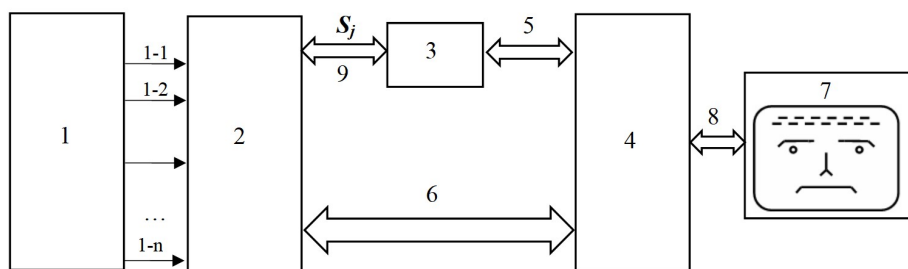


Рисунок 1 – Система контролю параметрів технологічного процесу

$$I_x = n \cdot \hat{E} \left[ \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}(j)) \right],$$

де  $m$  - число точок автокореляційної функції,

$\hat{E}[\bullet]$  – цілочисельна функція з округленням до більшого цілого [9];

– формують еталонне зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу "норма", додатково порівнюють параметри еталонного стану з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу "норма", "прогноз аварії" та "аварія" та ідентифікують стан технологічного процесу додатковим відображенням на моніторі оператора структуризованої образно-кластерної фейс-моделі.

Система контролю, що реалізує пропонуванний спосіб, наведена на рисунку 1, де зображено давачі вимірів параметрів 1, 1-2, ... 1-n, блок збору інформації 2, до інформаційного входу якого підключені давачі 1-1, 1-2, ... 1-n, пульт оператора 3, пристрій підготовки інформації 4, першу шину 5, що з'єднує пристрій підготовки інформації 4 і пульт оператора 3, другу шину 6, що з'єднує пристрій підготовки інформації 4 і блок збору інформації 2, блок введення інформації 1, третю шину 8, що з'єднує блок виведення інформації 7, і пристрій підготовки інформації 4, шину 9, що з'єднує пульт оператора 3 і блок збору інформації 2; яка додатково містить постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) 10, вхід якого з'єднаний додатковою шиною 11 з додатково введеним першим виходом блоку виводу 7, а вихід ПЗП 10 з'єднаний з першим входом блоку порівняння 12, другий вхід якого з'єднаний додатковою шиною 13 з другим виходом блоку виводу 7, а вихід з'єднаний додатково введеною шиною 14 з додатково введеним монітором оператора 15, на якому відображається образно-кластерна модель.

Блок збору інформації 2 призначений для видачі за сигналом ідентифікації стану об'єкта

контролю від пульта 3 кодів значень вимірних параметрів і передачі їх в пристрій підготовки інформації 4.

Коди вимірних значень, які передаються по шині 6, супроводжуються кодом стану об'єкта  $S$ , які передаються по шині 5 з пульта оператора 3 в блок попередньої підготовки інформації 4.

Пристрій підготовки інформації 4 є програмним контролером, що реалізує паралельне опитування давачів 1 і перетворення кодів вихідних величин давачів, отриманих від блоку збору інформації 2, у значення відповідних параметрів. На виході блоку збору інформації 2 за допомогою шини 6 в пристрій підготовки інформації надходить набір кодів ансамблю параметрів, які визначаються кодом стану керування  $S$ , що надходять з пульта оператора 3 шиною 9 в блок збору інформації 2. В додатково введеному блоці ПЗП 10 зберігаються коди еталонного зображення стану технологічного процесу "норма" образно-кластерної моделі, які порівнюються у блоці порівняння 12 з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу, а на моніторі оператора 15 динамічно відображаються слайди у відповідності з реальним станом технологічного процесу: "норма", "прогноз аварії", "аварія".

Як образно-кластерне відображення динаміки станів "норми", "прогноз аварії" та "аварії" технологічного процесу на моніторі оператора формується структуризована образно-кластерна модель динамічних слайдів, стилізовано наближених до ознак обличчя (фейс-моделі) людини з циклічним оновленням слайдів у реальному часі з дискретністю в межах 0,8-2,4 с, що відповідає вимогам ергономіки сприймання інформації суб'єктом – оператором.

Принцип побудови структуризованої образно-кластерної моделі полягає в тому, що в особливих точках монітору, наближених до структуризованого зображення обличчя людини, формуються статичні або динамічні дворівневі чи кольорові символи, що відображають

динаміку вимірних та розрахованих параметрів технологічного процесу. При цьому зображення образно-кластерної моделі (рис. 1 а,б,в) відповідно відображають стани технологічного процесу – "норма", "прогноз аварії" та "аварія". Відображення на моніторі оператора образно-кластерної моделі технологічного процесу у стані "норма" є еталонним, яке задається постійним запам'ятовуючим пристроєм, порівнюється з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу і динамічно відображається на моніторі оператора. При зміні вимірних та розрахованих параметрів технологічного процесу у відповідних позиціях образно-кластерної моделі відбувається реструктуризація образно-кластерного відображення станів технологічного процесу, відповідно "норма", "прогноз аварії" та "аварія".

**Структура розпаралеленого алгоритму побудови образно-кластерної моделі об'єкта управління**

Розпаралелений алгоритм побудови ОКМ подамо у вигляді системи графів:

1. Аналого-цифрове перетворення сигналів сенсорів та формування за кожним параметром оцінок математичних сподівань центрованих значень, дисперсії та середньоквадратичного відхилення

$$\left. \begin{matrix} x_1(t) \rightarrow \\ \dots \\ x_k(t) \rightarrow \\ \dots \\ x_p(t) \rightarrow \end{matrix} \right\} \{x_{ik}\}; i \in \overline{1, n}; k \in \overline{1, m}; (M_{xk});$$

$$\{\dot{x}_{ik} = x_{ik} - M_{xk}\}; D_{xj} = \overline{\dot{x}_{ik}^2}; \delta_{xk} = \sqrt{D_{xk}}$$

2. Визначення оцінок дискретних функцій авто- та взаємкореляції між парами технологічних параметрів та матриці нормованих коефіцієнтів взаємкореляції

$$\left. \begin{matrix} \{x_{i1}\} \rightarrow \\ \dots \\ \{x_{ik}\} \rightarrow \\ \dots \\ \{x_{ip}\} \rightarrow \end{matrix} \right\} \begin{matrix} H_{xx}(j) & H_{xy}(j) \\ P_{xx}(j) & P_{xy}(j) \\ K_{xx}(j) & K_{xy}(j) & j \in \overline{0,} \\ R_{xx}(j) & R_{xy}(j) & \|\rho_{ik}\|, \\ \rho_{xx}(j) & \rho_{xy}(j) & i \in \overline{1, p}, \\ C_{xx}(j) & C_{xy}(j) & k \in \overline{1, p}, \\ G_{xx}(j) & G_{xy}(j) \\ F_{xx}(j) & F_{xy}(j) \end{matrix}$$

3. Визначення спектрів у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ)

$$\left. \begin{matrix} \{x_{i1}\} \rightarrow \\ \dots \\ \{x_{ik}\} \rightarrow \\ \dots \\ \{x_{ip}\} \rightarrow \end{matrix} \right\} \begin{matrix} S(w_1) \rightarrow & \text{ТЧБ Фур'є} \\ S(w_2) \rightarrow & \text{ТЧБ Радемахера} \\ S(w_3) \rightarrow & \text{ТЧБ Хаара} \\ S(w_4) \rightarrow & \text{ТЧБ Крестенсона} \end{matrix}$$

4. Визначення логіко-статистичних інформаційних моделей (ЛСІМ)

$$\left. \begin{matrix} \{x_{i1}\} \rightarrow \\ \dots \\ \{x_{ik}\} \rightarrow \\ \dots \\ \{x_{ip}\} \rightarrow \end{matrix} \right\} \begin{matrix} \text{ЛСІМ.1 – амплітудна} \\ \text{ЛСІМ.2 – динамічна} \\ \text{ЛСІМ.3 – фазова} \\ \text{ЛСІМ.4 – спектральна} \\ \text{ЛСІМ.5 – глобальна} \end{matrix}$$

5. Побудова образно-кластерної моделі технологічного процесу.

Відповідно до визначення введених нових параметрів технологічного процесу маємо удосконалений контроль параметрів технологічного процесу з можливістю передбачення розвитку передаварійних та аварійних станів технологічного процесу. Запропонований спосіб здійснюється за такою послідовністю операцій:

$$X_{ТП} = F(\{x_i\}, \{y_i\}, S, M_j, M_{xj}, M_{yj}, \sigma_x, \sigma_y, C_{xx}(j), R_{xy}(0), \rho_{xy}, L_1, L_2, L_3, M_x, M_y, M_{vx}, M_{vy}, L_4, P_{ij}, I_x)$$

де  $M_x, M_y, M_{vx}, M_{vy}, L_4, P_{ij}, I_x$  – визначаються нові параметри технологічного процесу, які розширюють функціональні можливості й інформативність способу контролю параметрів технологічного процесу та формування еталонного зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу "норма", порівняння параметрів еталонного стану з вимірними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу "норма", "прогноз аварії" та "аварія", ідентифікацію стану технологічного процесу відображенням на моніторі оператора образно-кластерної моделі, що дозволяє додатково підвищити швидкодію реакції оператора на відхилення технологічного процесу від норми та попередити виникнення його аварійних станів.

**Висновки**

Система управління з використанням образно-кластерної моделі дозволяє здійснювати контроль складних технологічних параметрів в режимі реального часу. Забезпечує чіткий контроль перехідних технологічних станів контролюваного об'єкта.

**Література**

1. Пітух І.Р., Возна Н.Я., Процюк Г.Я., Николайчук Я.М. Метод прийняття рішень структуризованої ідентифікації станів промислових об'єктів в інтерактивних комп'ютеризованих системах. *Праці VIII Міжнародної школи-семінару «Теорія прийняття рішень»*. Ужгород: УжНУ, 2016. С. 64-65.

2. Возна Н.Я., Процюк Г.Я., Пітух І.Р., Николайчук Я.М. Структуризація, методи та моделі інтерактивної взаємодії оператор-інформаційна система моніторингу об'єктів нафтогазової галузі. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2015. № 2(55). С. 111-118.

3. Igor Pitukh, Liubov Nykolaychuk, Halyna Protsiuk, Vasyl Protsiuk Information and Legal Aspects of the Communication Functions of the Computerized System Operator. *Modern Problem of Radio Engineeriong, Telecommunikations and Computer Science: proceedings of the XIII th International Conference TSET'2016*, February 23-26. 2016. P. 885-888.

4. Возна Н.Я., Алишов Н.И., Процюк Г.Я., Николайчук Я.Н. Метод структуризации образно-кластерной модели состояний квазистационарного объекта управления. *Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science*. Baku. Azerbaijan, 2015. Volume 3, No 2. P.105–115.

5. Процюк Г. Я., Николайчук Я.М. Теоретичні засади та метод побудови образно-кластерної моделі оператора бурової установки. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2015. № 29. С. 96–102.

6. Vozna N., Protsiuk H., Pituh I., Nykolaychuk Y. Image-cluster Method of Data Strukturung of Multipsrsmeter Objects Monitiring of Interactive Computer Systems. *Proceedings of XIIIth International Conference CADSM'2015*. Lviv, 2015. P. 295-299.

7. Патент України на корисну модель № 68874. – 10.04.2012 р., Бюл. № 7.

8. Деклараційний патент України на корисну модель № 71122. – 10.07.2012р., Бюл. № 13.

9. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації. Тернопіль: ТНЕУ, 2008. 536 с.

**References**

1. Pitukh I.R., Vozna N.Ya., Protsiuk H.Ya., Nykolaychuk Ya.M. Metod pryiniattia rishen strukturyzovanoi identyfikatsii staniv promyslovykh ob'ektiv v interaktyvnykh kompiuteryzovanykh systemakh. *Pratsi VIII Mizhnarodnoi shkoly-seminaru «Teoriia pryiniattia rishen»*. Uzhgorod: UzhNU, 2016. P. 64-65. [in Ukrainian]

2. Vozna N.Ya., Protsiuk H.Ya., Pitukh I.R., Nykolaychuk Ya.M. Strukturyzatsiia, metody ta modeli interaktyvnoi vzaïemodii operator-informatsijna systema monitoryngu ob'ektiv naftogazovoi haluzi. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i gazovykh rodovyshch*. 2015. No 2(55). P. 111-118. [in Ukrainian]

3. Igor Pitukh, Liubov Nykolaychuk, Halyna Protsiuk, Vasyl Protsiuk Information and Legal Aspects of the Communication Functions of the Computerized System Operator. *Modern Problem of Radio Engineeriong, Telecommunikations and Computer Science: proceedings of the XIII th International Conference TSET'2016*, February 23-26. 2016. P. 885-888.

4. Vozna N.Ya., Alishov N.I., Protsiuk H.Ya., Nykolaychuk Ya.N. Metod strukturizatsii obrazno-klasternoj modeli sostoianij kvazistatsionarnogo objekta upravleniia. *Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science*. Baku. Azerbaijan, 2015. Volume 3, No 2. P.105–115. [in Russian]

5. Protsiuk H.Ya., Nykolaychuk Ya.M. Teoretychni zasady ta metod pobudovy obrazno-klasternoi modeli operatora burovoy ustanivky. *Optyko-elektronni informatsijno-energetychni tekhnologii*. 2015. No 29. P. 96–102. [in Ukrainian]

6. Vozna N., Protsiuk H., Pituh I., Nykolaychuk Y. Image-cluster Method of Data Strukturung of Multipsrsmeter Objects Monitiring of Interactive Computer Systems. *Proceedings of XIIIth International Conference CADSM'2015*. Lviv, 2015. P. 295-299.

7. Patent Ukrainy na korysnu model No 68874. – 10.04.2012 r., Biul. No 7. [in Ukrainian]

8. Deklaratsijnyi patent Ukrainy na korysnu model No 71122. – 10.07.2012 r., Biul. No 13. [in Ukrainian]

9. Nykolaychuk Ya.M. Teoriia dzherel informatsii. Ternopil: TNEU, 2008. 536 p. [in Ukrainian]