

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА МЕТОД МОНІТОРИНГУ СТАНІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МАЛИХ ГІДРОСТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ОБРАЗНО-КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ

У статті розглянуто синтез структури моделі інтерактивного моніторингу квазістаціонарних станів технологічного обладнання малих гідроелектростанцій на основі образно-кластерної моделі. Основною метою даної роботи є розробка теорії та методології побудови образно-кластерних моделей моніторингу станів малих гідроелектростанцій, яка включає розробку теоретичних основ побудови комплексу моделей квазістаціонарних станів багатопараметричних технологічних об'єктів, аналіз структури та характеристик інформаційних потоків, які формуються на гідроелектростанції для моніторингу їх станів. Важливим елементом інформаційної взаємодії компонентів у складі технологічного обладнання гідроелектростанцій є інтерактивний режим реалізації моніторингу, ефективна структуризація моделей об'єктів управління, а також надійне розпізнавання квазістаціонарних, нештатних, перед аварійних, аварійних та екологічно-небезпечних ситуацій на об'єктах електроенергетики. Застосування глибокого статистичного, кореляційного, ентропійного та логіко-статистичного аналізу станів об'єктів є перспективним інструментом підвищення ефективності роботи операторів в умовах виникнення нештатних ситуацій для підвищення ефективності аварійної та екологічної безпеки складних промислових об'єктів. Побудова образно-кластерної моделі проводиться з використанням 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. Проаналізовані структурні рішення комп'ютеризованих систем контролю параметрів технологічного процесу. Систематизовані функції інтерактивної взаємодії оператора з об'єктом в інформаційному середовищі комп'ютеризованої системи. Представлена структура розпаралеленого алгоритму побудови та відображення образно-кластерної моделі об'єкта на основі розробленого програмного забезпечення САПР.

Ключові слова: образно-кластерна модель, інтерактивний моніторинг, технологічне обладнання малих гідро-електростанцій, алгоритм розпаралеленого опрацювання статистичних даних, кореляційні характеристики технологічних об'єктів, комп'ютеризовані системи контролю параметрів технологічного процесу.

NATALIIA VOZNA, IHOR.PITUKH
Ternopil National Economic University

THEORETIC PRINCIPLES AND METHODS FOR MONITORING STATES OF TECHNOLOGIC EQUIPMENT OF SMALL HYDROSTATIONS BASED ON IMAGE CLUSTER MODEL

Abstract - The article deals with the synthesis of the interactive monitoring model structure of technological equipment quasi-stationary states in small hydropower plants based on the image cluster model. The main purpose of this work is to develop the theory and methodology of constructing image cluster model for monitoring the states of small hydropower plants, which includes the development of theoretical foundations for the construction of a set of models of quasi-stationary states of multi-parameter technological facilities, analysis of the structure and characteristics of information flows that are formed in hydropower plants for monitoring their states. Interactive mode of monitoring implementation, effective structuring of control facilities models, as well as reliable identification of quasi-stationary, abnormal, pre-emergency, emergency and environmentally hazardous situations at power plants are important for information interaction of technological equipment components of hydropower plants. The application of deep statistical, correlation, entropy, and logical-statistical analysis of the facility states is a promising tool for increasing the operators' efficiency in conditions of abnormal situations as it leads to increasing the effectiveness of emergency preparedness and environmental safety of complex industrial facilities. The construction of image cluster model is carried out using the algorithm for parallel processing of statistical data and correlation characteristics of technological objects. The theoretical principles of the methodology of constructing image cluster model of multi-parameter objects based on the proposed functional for the assessment of the monitoring object state are described. Structural solutions of computerized control systems of technological process parameters are analyzed. Functions of interaction between the operator and the object in the information environment of the computerized system are systematized. The structure of a parallel algorithm for constructing and displaying image cluster object model on the basis of the developed CAD software is presented.

Keywords: image-cluster model, interactive monitoring, technologic equipment of small hydrostations, algorithm of parallel processing of statistic data, correlation characteristics of technologic objects, computerized control system parameters of the technologic process.

Постановка проблеми. Перспективним напрямком розвитку відновлювальної енергетики є створення МГЕС на річках. В Україні існує значний ресурс на річках Прикарпаття, Дністровського каньйону, Закарпаття, Полісся, Кіровоградщини, Вінничини зі значними перепадами висот, що створює потенційні умови розвитку цієї енергетики. Прикладом успішного вирішення цієї проблеми є побудова гідроелектростанцій на річках Стрипа, Золота Липа, Уж, Південний Буг.

Комп'ютеризована система моніторингу контролює понад 170 параметрів гідроелектростанції, яка повинна надійно працювати в умовах динамічної зміни вхідних параметрів, включаючи: рівень води у верхньому б'єфі; кут відкривання направляючого апарату; частоту обертів турбіни; температуру турбіни; спектр коливань турбіни; струм генератора; енергетичні параметри генератора; перекося струму по фазах;

температуру генератора; блокування та захисти. При цьому оператор який оснащений пультом (мнемосхемою) не може швидко реагувати на «передаварійні» і «аварійні» стани на гідроелектростанціях. Особливо це необхідно враховувати, коли ряд параметрів пов'язані між собою кореляційними та спектральними характеристиками, які оператор не може логічно опрацювати в заданий момент часу. Тому ІС, яка виконує функції моніторингу технологічного обладнання МГЕС, повинна виконувати більш глибоке опрацювання параметрів та формування інтегральних результатів для оператора на основі сукупності статистичних, кореляційних, спектральних, логіко-статистичних, інформаційних, кластерних та емпіричних моделей.

Таким чином, розробка ефективної ІС опрацювання та відображення станів технологічного обладнання «норма», «розвиток аварії» та «аварія» є актуальною задачею контролю параметрів технологічного процесу

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливою проблемою надійної експлуатації промислового обладнання МГЕС є їх оснащення сучасними інформаційними системами (ІС) високого рівня. Прикладами таких систем є інтегровані розподілені комп'ютеризовані системи [1-6]. Програмно-апаратні засоби такого класу інформаційних систем тиражуються і впроваджуються відомими зарубіжними фірмами: ABB, Motorola, F&F, SPM, SCHENCK, YOKOGAWA та їх представництвами в Україні (Електросвіт, ТОВ «Йокогава електрик Україна») [4–6].

В той же час, незважаючи на високий рівень таких ІС, будуються вони на базі універсальних контролерів, які характеризуються широкою універсальністю і при цьому не забезпечують високу надійність.

Представлення інформаційних даних про стан технологічного обладнання таких станцій відображено на мнемосхемах пультів оператора [7–10]. Враховуючи, що людина-оператор виконує функції моніторингу та управління технологічним процесом, вона ж і несе відповідальність за результати діагностування в цілому [10, 11]. Тому структуризація даних в інтерактивній технології взаємодії "оператор-моніторингова система" суттєво впливає на ефективність роботи об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо теоретичні засади способу контролю параметрів технологічного процесу управління. Відомий спосіб контролю параметрів технологічного процесу наведено в описі промислової системи 800xA [4].

Суть такого способу полягає у вимірі фізичних параметрів об'єкта, розрахунку їх статистичних характеристик та відображенні станів технологічного процесу у вигляді: таблиці усіх або за вибором оператора певної групи виміряних та розрахованих технологічних параметрів; трендів графіків реєстрації виміряних параметрів та розрахованих статистичних характеристик станів технологічного процесу у часі; реалістичного структуризованого представлення об'єкта чи технологічного процесу на моніторі оператора.

Недоліком такого способу є звужені функціональні можливості та низька інформативність, оскільки відображення окремих технологічних та віртуальних розрахункових параметрів здійснюється не інтегровано на екрані монітора оператора і не дозволяє здійснювати структуризовану ідентифікацію стану технологічного процесу та об'єкта контролю. При певній складності об'єкта контролю і великому числі контрольованих та розрахункових технологічних параметрів спостерігається низька ефективність та можливість появи великого числа помилок дій оператора при ідентифікації станів технологічного процесу «норма», «прогноз аварії» та «аварія».

Відомий також спосіб контролю параметрів технологічного об'єкту реалізовано у пристрої контролю роботи технологічного об'єкту [12]. Його суть полягає у тому, що стани технологічного об'єкта «норма», «прогноз аварії» та «аварія» розраховуються на основі виміряних параметрів та обчисленої кластерної моделі і кожен з цих станів відображається на окремому індикаторі.

Недоліком такого способу є звужені функціональні можливості та низька інформативність, оскільки результатом аналізу технологічного процесу є контроль відхилення від норми тільки ймовірнісних переходів кластерної моделі без врахування його виміряних 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 подібним до способу контролю параметрів технологічного процесу є спосіб розглянутий у патенті [13]. Такий спосіб контролю параметрів технологічного процесу включає циклічний вимір значень кожного параметра і їхнє запам'ятовування, визначення стану технологічного процесу шляхом порівняння вимірюваних значень параметра в області можливих значень норми, ідентифікацію стану квазістаціонарного об'єкта, визначення структурної автокореляційної функції та нормованого коефіцієнта взаємкореляції, за якими порівнюють:

- ковзані статичні характеристики математичного сподівання, з виразами:

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

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

n – число контрольованих параметрів технологічного об'єкта;

j – дискретний зсув у часі;

- структурну кореляційну функцію, згідно з виразом:

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

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

- коефіцієнти нормованої взаємодії між двома параметрами, згідно з виразом:

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

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

Таким чином згідно з приведеною сукупністю вимірних та визначених параметрів технологічного процесу в даному способі виконується така послідовність операцій;

$$X_{ТП} = F(\{x_i\}, \{y_i\}, S, M_j, M_{xj}, \sigma_x, \sigma_y, C_{xx}(j), R_{xy}(0), p_{xy}, L_1, L_2, L_3)$$

де **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – вимірювання параметрів технологічного процесу; **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – ідентифікація квазістаціонарного стану технологічного процесу; **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – визначення ковзних статистичних характеристик математичного сподівання; **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – визначення середньоквадратичних оцінок дисперсії; **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – визначення структурної кореляційної функції **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – визначення центрованої взаємкореляційної функції в нульовій точці між параметрами **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** , **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – визначення коефіцієнта нормованої взаємкореляції між кожною парою параметрів, на основі яких визначаються **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования., Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – логіко-статистичні оцінки порівняння вимірюваних значень параметрів в області можливих значень норми, відповідно по амплітуді **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.,** по динаміці **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** та фазі **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**

Недоліком даного способу є звужені функціональні можливості, які обумовлені тим, що контроль параметрів технологічного процесу не здійснюється шляхом визначення вибірових зважених ковзних математичних сподівань параметрів технологічного процесу, порівнянь спектральних характеристик вимірювальних значень параметрів технологічного процесу області можливих значень норми, визначення матриці ймовірностей переходу технологічне процесу з одного стану в інший, визначення оцінки кореляційної ентропії технологічне процесу, формування еталонного зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу «норма», порівняння параметрів еталонного стану з вимірними, спостережуваними розрахованими параметрами технологічного процесу «норма», «прогноз аварії» та «аварія» ідентифікацію стану технологічного процесу відображення на моніторі оператора у вигляді образно-кластерної моделі, що знижує інформативність ідентифікації стану технологічного процесу.

Запропонований спосіб контролю параметрів технологічного процесу, що включає удосконалення способу контролю параметрів технологічного процесу шляхом розширення функціональних можливостей та збільшення його інформативності [13], включає циклічний вимір значень кожного параметра і їх запам'ятовування, визначення стану технологічного процесу шляхом порівняння вимірюваних значень параметра з граничними уставками, ідентифікацію стану квазістаціонарного об'єкта, визначення структурної автокореляційної функції та нормованого коефіцієнта взаємкореляції, за якими порівнюють ковзні статистичні характеристики математичного сподівання, в якому

- визначають вибіркові математичні сподівання, згідно з виразами:

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования. – вагова функція, що визначає інформативність виміряного значення технологічного процесу з нульовим ефектом старіння інформації, що дозволяє прогнозувати тенденції та майбутні стани технологічного процесу;

- визначають зважені ковзні математичні сподівання параметрів, згідно з виразами:

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

які дозволяють виконувати екстраполяцію та передбачення зміни станів технологічного процесу в часі, де **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – вагова функція, що визначає інформативність виміряного значення технологічного процесу з нульовим ефектом старіння інформації, що дозволяє прогнозувати тенденції та майбутні стани технологічного процесу;

- виконують порівняння спектральних характеристик вимірюваних значень параметрів в області можливих значень норми, згідно з виразами:

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

де **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**,

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования. – кругова частота косинусного перетворення Фур'є,

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования. – нормована і центрована автокореляційна функція контрольованого параметра технологічного процесу, **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** – дисперсія технологічного процесу,

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования. – центрована автокореляційна функція параметра технологічного процесу, **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** ;

- визначають матрицю ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.,

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.,

де P_{11} – ймовірний стан норми, P_{1n} – ймовірний 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, згідно з виразом:

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

де m – число точок автокореляційної функції, $\widehat{E}[\bullet]$ – цілочисельна функція з округленням до більшого цілого [9, 10];

- 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 структурізованого образно-кластерної фейс-моделі.

Згідно з визначенням введених нових параметрів технологічного процесу, удосконалений контроль параметрів технологічного процесу з можливістю передбачення розвитку передаварійних та аварійних станів технологічного процесу, запропонований спосіб здійснюється згідно з наступною послідовністю операцій:

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

де $L_1, L_2, L_3, M_x, M_y, M_{vx}, M_{vy}, L_4, P_{ij}, I_x$ – визначаються нові параметри технологічного процесу, які дозволяють збільшити 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.

Реалізація образно-кластерної моделі моніторингу та ідентифікації станів технологічного

обладнання МГЕС на основі ОКМ для різних станів технологічного процесу, у порівнянні з еталонним, показано в табл. 1.

Таблиця 1

Систематизація технологічних параметрів, які підлягають контролю

Стан технологічного процесу	Параметри технологічного процесу									
	$\{x_i\}$	$\{y_i\}$	S	M_j	M_{xj}	M_{yj}	σ_x	σ_y	$C_{xx}(j)$	$R_{xy}(0)$
Еталон	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Норма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прогноз аварії	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+
Аварія	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

Стан технологічного процесу	Параметри технологічного процесу										
	P_{xy}	L_1	L_2	L_3	M_x	M_y	M_{vx}	M_{vy}	L_4	P_{ij}	I_x
Еталон	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Норма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прогноз аварії	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Аварія	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Система контролю, що реалізує запропонований спосіб параметрів технологічного процесу, зображена на рис. 1.

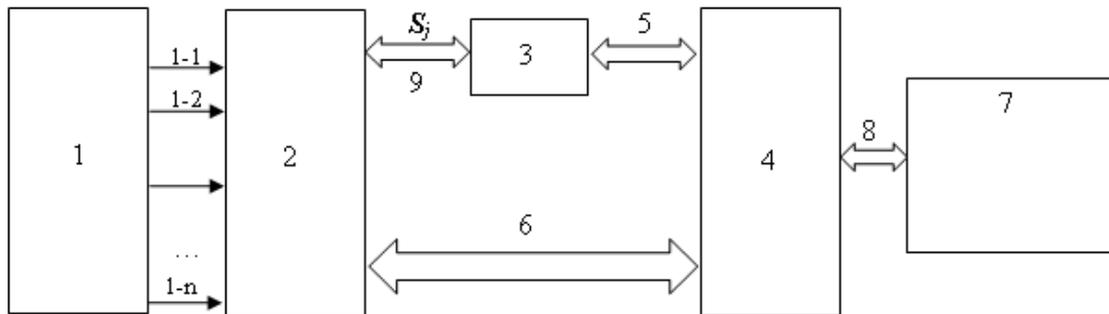


Рис. 1. Система контролю параметрів технологічного процесу

Визначені параметри блоку 7 (рис. 1) розраховуються на основі еталонних моделей технологічного процесу таблиці 1.

Система контролю, що реалізує запропонований спосіб (рисунок 1), включає датчики вимірів параметрів 1, 1-2, ... 1-n, блок збору інформації 2, до інформаційного входу якого підключені датчики 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, який додатково відображає на моніторі оператора образно-кластерну модель і пристрій підготовки інформації 4, шину 9, що з'єднує пульт оператора 3 і блок збору інформації 2.

Пристрій підготовки інформації 4 являє собою програмний контролер, що реалізує паралельне опитування датчиків і перетворення кодів вихідних величин датчиків, отриманих від блока збору інформації 2 у значення відповідних параметрів. На виході блока збору інформації 2 за допомогою шини 6 в пристрій підготовки інформації надходить набір кодів ансамблю параметрів, які визначаються кодом стану керування S_j , що надходять з пульта оператора 3 шиною 9 в блок збору інформації 2. Необхідність паралельного формування кодів параметрів об'єкта, які надходять у пристрій підготовки інформації 4 обумовлено необхідністю виключення ефектів старіння інформації, які можуть виникати при організації циклічного опитування датчиків і негативно впливають на розрахунок структурної кореляційної функції та коефіцієнтів нормованої взаємкореляції [12].

Приклад позиціонування та динаміки змін вказано на рис. 2. В якості атрибутів образно-кластерної моделі в станах об'єкта «норма», «розвиток аварії» та «аварія» представлено на рисунку 2, де 1 – рівень води у верхньому б'єфі; 2 – частота обертів турбіни; 3 – температура турбіни; 4 – енергетичні параметри генератора; 5 – перекося струму по фазах; 6 – температура генератора; 7 – блокування та захисти.



Рис. 2. Образно-кластерна модель станів технологічного процесу

Модель станів технологічного процесу дозволяє в режимі реального часу реагувати на зміни параметрів та передбачати розвиток передаварійних та аварійних станів об'єкта.

Висновки. Обґрунтована перспектива розвитку відновлювальної енергетики на базі МГЕС. Зазначені приклади успішного створення МГЕС в західних регіонах України. Обґрунтована актуальність удосконалення ІС, які виконують моніторинг та управління. Відзначені функціональні обмеження та недоліки існуючого комп'ютеризованого обладнання, які розроблені відомими фірмами: АВВ, Motorola, F&F, SPM, SCHENCK, YOKOGAWA та їх представництвами в Україні (ЕлектроСвіт, ТОВ «ТОВ «Йокогава електрик Україна»), ПП «Променергія».

Обґрунтована перспектива створення ІС на основі інтегрованих систем, які підвищують швидкодію реакції оператора на відхилення станів об'єктів від норми за рахунок глибокого статистичного, кореляційного, кластерного та ентропійного опрацювання вхідних даних. Викладені теоретичні засади запропонованого способу образно-кластерного відображення станів технологічного обладнання МГЕС та представлений приклад реалізації такої моделі.

Література

1. Карпаш О. М. Технічна діагностика бурового та нафтогазового обладнання : навч. посібник / О. М. Карпаш. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2007. – 272 с.
2. Заміховський Л. М. Основи теорії надійності і діагностики технічних систем : навч. посібник / Л. М. Заміховський, В. П. Калявін. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2004. – 360 с.
3. Семенов Г. Н. Основи моніторингу технологічних об'єктів нафтогазової галузі : навч. посібник / Г. Н. Семенов, М. М. Дранчук, О. В. Гутак, Я. Р. Когуч, М. І. Когутян, Я. В. Куровець. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 808 с.
4. Офіційний сайт компанії АВВ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.abb.com
5. Офіційний сайт фірми «ЕлектроСвіт» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.es.ua
6. Офіційний сайт компанії «YOKOGAWA» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.yokogawa.ua
7. Николайчук Я. М. Теоретичні засади та метод побудови образно-кластерної моделі оператора бурової установки / Я. М. Николайчук, Г. Я. Процюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології : міжнар. наук.-техн. журнал. – 2015. – № 29. – С. 96–102.
8. Метод структуризації образно-кластерної моделі состояний квазистационарного об'єкта управління / Н.Я. Возна, Н.И. Алишов, Г.Я. Процюк, Я.Н. Николайчук // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. – Baku. Azerbaijan, 2015. – Volume 3, № 2. – P. 105–115.
9. Пітух І. Р. Розширення критеріїв інтерактивності комп'ютеризованих систем / І. Р. Пітух // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології : міжнар. наук.-техн. журнал. – 2015. – № 29. – С. 30–34.
10. Nykolaychuk L. Theory and methodology of building information models in the field of law // Materials science problem intersectoral conference YUPIS-2011. – Ivano-Frankivsk, 2011. – P. 19–25.
11. Nykolaychuk L. Generalization of information models classes and communication interaction of the subjects of law of information society / L. Nykolaychuk // Proceedings of XIIIth International Conference CADSM'2015 (Lviv). – 2015. – P. 143–146.
12. Патент України № 107039. – 25.05.2016 р., Бюл. № 10.
13. Патент України № 68874. – 10.04.2012 р., Бюл. № 7.

References

1. Karpash O. Technical diagnostics drilling and natural gas equipment: manual. posibn. — Ivano-Frankivsk: IFSTUOG, 2007. — 272 p.
2. Zamikhovsky L. M. Fundamentals of the theory of reliability and diagnostics of technical systems: Teaching. manuals / L.M. Zamikhovsky, V.P. Kalyavin. - Ivano-Frankivsk: Flame, 2004. – 360 p.
3. Sementsov G. Basics monitoring of oil and gas industry: Teach. posibn. / G. Sementsov, M. Dranchuk, O. Kohutyak, Ya. Kohuch, Ya. Kurovets / Ivano-Frankivsk IFSTUOG, 2010. — 808 p.
4. www.abb.com.

5. Company "Elektrosvit" site. URL: www.es.ua
6. Company "YOKOGAWA" site. URL: www.yokogawa.ua
7. Nykolaichuk Ya. Theoretical foundations and method of construction of a figurative cluster model of a drilling rig operator / Ya. Nykolaichuk, H. Protsiuk // Optoelectronic information-power technologies: international scientific and technical journal. – 2015. – № 29. – P. 96–102.
8. Method of structuring the image-cluster model quasi state control object / N. Vozna, N. Alishov, G. Protsyuk, Ya. Nykolaichuk // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. – Baku. Azerbaijan, 2015. - Volume 3, № 2. - P.105–115/
9. Pitukh I. Expanding the criteria for interactive computer systems / I. Pitukh // Optoelectronic information-power technologies: international scientific and technical journal. – 2015. – № 29. – P. 30-34.
10. Nykolaychuk L. Theory and methodology of building information models in the field of law // Materials science problem intersectoral conference YUPIS-2011. – Ivano-Frankivsk, 2011. – P. 19–25.
11. Nykolaychuk L. Generalization of information models classes and communication interaction of the subjects of law of information society / L. Nykolaychuk // Proceedings of XIIIth International Conference CADSM'2015 (Lviv). – 2015. – P. 143–146.
12. Declarative Patent of Ukraine for Utility Model, Patent 107039. – May 10, 2016.
13. Declarative Patent of Ukraine for Utility Model, Patent 68874. – April 7, 2012.

Рецензія/Peer review : 18.4.2019 р.

Надрукована/Printed : 2.6.2019 р.

Рецензент: д.т.н., професор Я.М. Николайчук