

УДК 681.514:621.029

DOI: 10.32626/2308-5916.2019-19.132-138

**І. Р. Пітух\***, канд. техн. наук,**Г. Я. Процюк\*\***, асистент,**В. Р. Процюк\*\***, канд. техн. наук

\*Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль,

\*\*Івано-Франківський національний технічний університет,

м. Івано-Франківськ

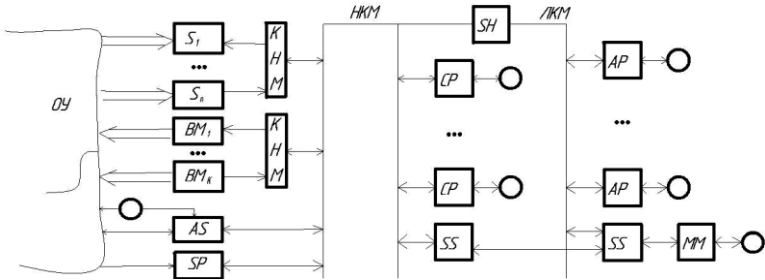
## АЛГОРИТМИ Опрацювання МОніТОРИНГОВИХ ДАНИХ У ДІАЛОГОВИХ СИСТЕМАХ

Систематизовані умови формування моніторингових даних, які є компонентами інтерактивних (діалогових) комп'ютеризованих систем контролю та управління складними промисловими об'єктами та технологічними установками. Наведені приклади формування діалогових даних (ДД) на різних рівнях дистрибутивних комп'ютерних систем. Показано, що на низовому рівні дистрибутивної системи моніторингу промислового об'єкта розміщені сенсори, виконавчі механізми, абонентська станція оператора-технолога та спецпроцесори. Головною функцією оператора абонентської станції є діагностування стану об'єкта керування на основі образно-кластерної моделі. Базовими функціями спецпроцесорів на низовому рівні дистрибутивної комп'ютеризованої системи є реалізація алгоритмів обчислення інформаційних моделей, на основі яких будується образно-кластерна модель станів об'єкта. Основними функціями ентропійного аналізу є розрахунок станів об'єкта управління на основі оцінок мір ентропії Р. Хартлі, К. Шеннона та Я. Николлайчука. Такі моделі дозволяють запобігти появі станів об'єкту типу «розвиток аварії». Тому до швидкодії відповідних спецпроцесорів висуваються жорсткі вимоги. Сформульовані вимоги до алгоритмів опрацювання моніторингових даних у структурах інтерактивного обміну даними, які містять різну кількість діалогових вузлів, та структурну організацію їх підпорядкування та взаємодій.

Викладені теоретичні засади реалізації алгоритмів опрацювання ДД, які охоплюють статистичний, кореляційний, спектральний, кластерний та ентропійний аналіз. Наведена інформаційна технологія побудови системи логіко-статистичних інформаційних станів об'єктів управління та побудови образно-кластерних моделей.

**Ключові слова:** *інтерактивна комп'ютеризована система, образно-кластерна модель, алгоритм опрацювання моніторингових даних.*

**1. Умови формування моніторингових даних у структурі дистрибутивної комп'ютерної системи.** Класична архітектура дистрибутивної моніторингової комп'ютерної системи контролю промислового обладнання на підприємствах показана на рис. 1 [1].



**Рис. 1.** Архітектура дистрибутивної системи моніторингу та керування промисловим об'єктом управління (ОУ — об'єкт управління;  $S_1 \div S_n$  — сенсори; О — оператори;  $BM_1 \div BM_k$  — виконавчі механізми; НКМ — низова; АС — абонентська станція; НКМ — контролер низової мережі (комп'ютерна мережа); СР — цехові процесори; SS — системний сервер; SH — сервер-шлюз; ЛКМ — локальна комп'ютерна мережа; АР — адміністративні процесори; ММ — модем)

Аналіз цієї архітектури комп'ютеризованої системи дозволяє визначити топологію просторового розміщення ДД згідно з наступною систематизацією інтерактивних взаємодій:

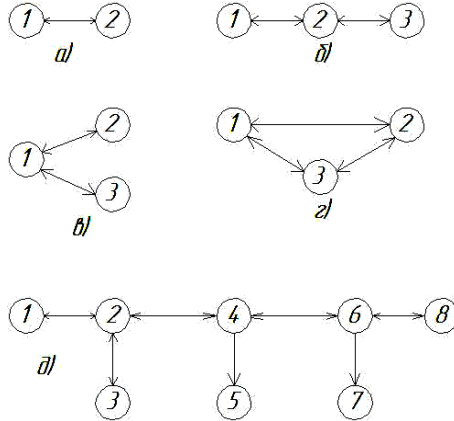
- 1) оператор — об'єкт управління ( $O \leftrightarrow OУ$ );
- 2) оператор — абонентська станція ( $OC \leftrightarrow AS$ );
- 3) контролер низової мережі — виконавчий механізм (НКМ — ВМ);
- 4) оператор абонентської станції — оператор цехового процесора ( $OAS \leftrightarrow OCP$ );
- 5) оператор АС — оператор адміністративного процесора ( $OAS \leftrightarrow OAP$ );
- 6) оператор СР — оператор АС ( $OCP \leftrightarrow OAP$ ).

Розглянемо найбільш важливі діалогові взаємодії у структурі досліджуваної моніторингової системи [2, 3]. До класу важливих інформаційних взаємодій у комп'ютеризованих системах реального часу слід віднести наступні:

- параметри контролю технологічного процесу;
- інформаційні моделі етапів ОУ, які контролюють відхилення ОУ від норми і характеризуються пожежно-, вибухо-, екологічною небезпекою;
- моделі станів ОУ, які формуються спецпроцесорами (SP) на низовому рівні комп'ютерної системи;
- моделі станів ОУ у момент виникнення збурень у системі та проходженні перехідних процесів при зміні режимів роботи ОУ.

- для конкретних підприємств та технологічних процесів можуть бути побудовані відповідні проблемно-орієнтовані моделі моніторингу станів ОУ.

**2. Структура діалогових взаємодій з різною ієрархією повідомлень.** На рис. 2 показані структури діалогових інформаційних взаємодій у середовищі архітектури моніторингової системи промислового підприємства.



*Рис. 2. Приклади інформаційних діалогових взаємодій у середовищі архітектури моніторингової комп'ютеризованої системи промислового підприємства*

Показані на рис. 2 діалогові взаємодії (ДВ) є типовими для мережно-ієрархічних архітектур комп'ютеризованих систем.

Виконаємо дослідження математичних алгоритмів при побудові важливої моделі станів ОУ, на основі побудови образно-кластерної моделі (ОКМ).

**3. Формалізація алгоритмів опрацювання моніторингових даних при побудові ОКМ.** ОКМ запропонована у [4–6] передбачає, у першу чергу, здійснення статистичного аналізу технологічних процесів згідно з наступними оцінками:

- 1) вибіркового математичного сподівання ( $M_x$ );
- 2) ковзного математичного сподівання ( $M_j$ );
- 3) вагового математичного сподівання ( $M_v$ ).

Дані оцінки розраховуються згідно з виразами:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} x_{i+j}; \quad M_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n V_{i-j} x_{i+j}, \quad (1)$$

де  $V_{i-j}$  — вагова функція.

Оцінки  $M_x$ ,  $M_j$ ,  $M_v$  дозволяють контролювати роботу відповідних регуляторів технологічних процесів шляхом визначення модульної різниці між уставкою регулятора  $M_*$  та дійсним обчисленим значенням  $M_x$ .

$$|M_x - M_*| \rightarrow \min; |M_j - M_*| \rightarrow \min; |M_v - M_*| \rightarrow \min. \quad (2)$$

Недоліком оцінки  $M_x$  є значний ефект старіння інформації, оскільки її значення відноситься до половини інтервалу вибірки  $n$ .

Тому оцінка  $M_j$  дозволяє значно зменшити обсяг вибірки (на  $1 \div 2$  порядки), що суттєво зменшує ефект старіння інформації.

Оцінка  $M_v$  за рахунок вагової функції  $V_{i-j}$  надає поточним значенням цифрових даних  $x_i$  абсолютної ваги. Тому така оцінка характеризується мінімальним ефектом старіння інформації і може ефективно застосовуватися для цифрової фільтрації даних та передбачення статистичних даних  $x_i$ .

Недоліком оцінок математичного сподівання є відсутність інформації про зміну динаміки станів ОУ.

Статистичні оцінки вибіркової та ковзної дисперсії дозволяють визначити середньоквадратичне відхилення стану ОУ від норми згідно з виразами:

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2; D_{x_j} = \frac{1}{n} \sum_{\substack{i=1 \\ j=0}}^n (x_{i+j} - M_x)^2. \quad (3)$$

Дана оцінка у лінійному просторі класифікується як середньоквадратичне відхилення і обчислюється згідно з виразами:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}; \sigma_{x_j} = \sqrt{D_{x_j}}. \quad (4)$$

Важливими характеристиками станів ОУ є визначення автокореляційних та взаємкореляційних функцій відповідно до виразів:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{\text{sign}} x_i \cdot \overset{\circ}{\text{sign}} x_{i+j}, j \in \overline{0, m} \quad (5)$$

$$P_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{x}_i \cdot \overset{\circ}{\text{sign}} x_{i+1}; j \in \overline{0, m} \quad (6)$$

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{x}_i \cdot \overset{\circ}{x}_{i+j}; j \in \overline{0, m} \quad (7)$$

$$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{x}_i \cdot \overset{\circ}{x}_{i+j}; j \in \overline{0, m} \quad (8)$$

$$C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2; \quad j \in \overline{0, m}; \quad (9)$$

$$G_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_{i+j}|; \quad j \in \overline{0, m}; \quad (10)$$

$$F_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \check{Z}_{i,i+j}; \quad \check{Z}_{i,i+j} = \begin{cases} \dot{x}_i, & \dot{x}_i < x_{i+j} \\ \dot{x}_{i+j}, & \dot{x}_i > x_{i+j} \end{cases}. \quad (11)$$

Найвищу швидкодію обчислень функції автокореляції забезпечують знакова  $H_{xx}(j)$  та релейна  $P_{xx}(j)$ , але потребують великого обсягу вибірки  $n \geq 1024$ . Найвищу точність обчислень забезпечують: коваріаційна  $K_{xx}(j)$ , структурна  $C_{xx}(j)$ , модульна  $G_{xx}(j)$  та еквівалентності  $F_{xx}(j)$ , які потребують обсягів вибірки у границях  $n \geq 512 \div 128$ .

Оцінка спектру технологічного процесу на основі дискретного косинусного перетворення Фур'є розраховується шляхом згортки нормованої центрованої знакової функції автокореляції згідно з виразом:

$$S(\omega_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_{xx}(j) \cdot \cos(\omega_i) \cdot e^{-c \cdot j}, \quad (12)$$

де  $e^{-c \cdot j}$  — коефіцієнт затухання енергії функції автокореляції  $H_{xx}(j)$ .

Застосування знакової функції  $H_{xx}(j)$  при спектральному опрацюванні технологічного процесу дозволяє суттєво підвищити швидкодію алгоритму за рахунок заміни операції множення додаванням з константою  $\pm 1$ .

Оцінка ентропії станів ОУ може обчислюватися на основі виразів інформаційної, ймовірнісної та кореляційної мір ентропії запропонованих Р. Хартлі, К. Шенноном та Я. Николайчуком [1].

$$I_N = \log_2 N; \quad I_N = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i;$$

$$I_N = \hat{E} \left[ \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}^2(j)) \right]. \quad (13)$$

При розрахунку наведених моделей станів ОУ необхідно враховувати ергономічні характеристики відображення образно-кластерної моделі на моніторі оператора у діапазоні  $\Delta t = 0,8 \div 1,2$  с.

Таким чином, до швидкодії алгоритмів та процесорів обчислення моделей моніторингу станів ОУ ставляться жорсткі вимоги. Тому на рівні НКМ найефективнішим є застосування відповідних спецпроцесорів спектрального аналізу та визначення ентропії [7]. Швидкодія обчислень параметрів ОКМ на практиці повинна відповідати 36-ти кадрам за 1 хв.

Перспективним напрямком підвищення швидкодії алгоритмів цифрового опрацювання даних є застосування модульної арифметики залишкових класів [8].

**Висновки.** Викладені результати досліджень умов формування моніторингових даних у дистрибутивних діалогових комп'ютеризованих системах реального часу та теоретичні засади алгоритмів цифрового опрацювання параметрів технологічного процесу складають базу основу побудови образно-кластерної моделі (ОКМ) станів промислових об'єктів управління. Систематизовані структури діалогових інформаційних взаємодій між компонентами комп'ютерної моніторингової системи.

### Список використаних джерел:

1. Николайчук Я. М. Спеціалізовані комп'ютерні технології в інформатиці : монографія / за заг. наук. ред. Я. М. Николайчука. Тернопіль : Бескиди. 2017. 919 с.
2. Пітух І. Р., Процюк Г. Я., Ширмовська Н. Г. Моделі інтегрованого моніторингу багатопараметричних промислових об'єктів в інтерактивних комп'ютеризованих системах. *Питання оптимізації обчислень (ПОО-ХЛІІ)*. Чинадієво, 2015. С. 51–58.
3. 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*. Івано-Франківськ, 2015. № 2(55). С. 111–118.
4. Спосіб контролю параметрів технологічного процесу: Пат. 107039 Україна: МПК G05B 23/00 (2016.01), G06F 11/277 (2006.01). №и 2015 07 057; Пітух І. Р., Возна Н. Я., Процюк Г. Я., Николайчук Я. М. ; заявл. 17.04.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22/2015. 5 с.
5. Николайчук Л. М., Процюк Г. Я., Пітух І. Р. Організація інтерактивної взаємодії оператора з комп'ютеризованою системою управління. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології*: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю. Тернопіль, 2017. С. 76–79.
6. Igor Pitukh et al., Information and Legal Aspects of the Communication Functions of the Computerized System Operator. *Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science: proceedings of the XIII th International Conference TSET'2016*, Slavske, February 23–26. 2016. P. 885–888.
7. Пристрій визначення ентропії: Пат. на корисну модель 121046 Україна: МПК g06F 17/00 (2017.019); №и 2017 05 669; Николайчук Л.М., Возна Н. Я., Пастух Т. У., заявл. 08.06.2017; опубл. 27.11.2017, Бюл. № 22/2017. 5 с.
8. Николайчук Я. М. Коды поля Галуа: теория та застосування : монографія / за заг. наук. ред. Я. М. Николайчука. Тернопіль : ТзОВ «Тернограф», 2012. 392 с.

### ALGORITHMS OF MONITORING DATA PROCESSING IN DIALOG SYSTEMS

The article classifies conditions of formation of monitoring data, which is the component of interactive (dialog) computer systems of control and management over complex industrial objects and technological apparatus.

It shows examples of formation of dialog data (DD), which occur on different levels of distributive computer systems. The article phrases requirements for algorithms of monitoring data processing in structures of interactive data exchange, which consists of different dialog nodes, and it phrases structural order of interaction and subordination of the algorithms. It deals with an informational technology of creation of the system of logically-statistical informational states of management objects and building of image-cluster models.

**Key words:** *interactive computer system, image-cluster model, algorithm of monitoring data processing.*

Одержано 04.03.2019

УДК 551.568.85:621.391

DOI: 10.32626/2308-5916.2019-19.138-144

**Б. М. Шевчук**, д-р техн. наук

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ

## **ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ ТА ЗАСОБІВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

Основою підвищення інформаційної ефективності мереж та засобів Інтернету речей є реалізація процесорними засобами об'єктних систем безпроводних мереж комплексу алгоритмів оброблення, компактного кодування та захисту вибірок сигналів, кадрів відеоданих і вимірювальних величин, криптостійкого та завадостійкого передавання пакетів моніторингової інформації безпосередньо в місцях виникнення мережевих потоків. Алгоритми стиску та захисту моніторингових даних повинні бути оптимізовані за швидкістю і точністю кодування даних з урахуванням мінімізації обчислювальних операцій мікропотужними процесорами та мікроконтролерами об'єктних систем мереж Інтернету речей. Зменшення інформаційних потоків у місцях встановлення об'єктних систем мереж Інтернету речей досягається на основі адаптації алгоритмів кодування даних в залежності від умов введення і точності представлення моніторингових даних та формуванням кодово-сигнальних послідовностей пакетів моніторингової інформації з підвищеною інформаційною ємністю. Параметри завадостійкого передавання криптозахисених пакетів інформації вибираються в залежності від поточного рівня шумів у радіоканалі. Ключова характеристика ефективності функціонування об'єктних систем мереж Інтернету речей — поточна швидкість передачі стислої та захищеної моніторингової інформації. При наявних обчислювальних і каналних ресурсах об'єктних систем з урахуванням поточних умов введення і передавання моніторин-