

I.P. МИХАЙЛЮК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, Т.О. ВАВРИК  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## МЕТОДИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

В статті запропонована організація процедури перетворення інформаційних повідомлень, а також їх часовий розподіл та представлення без втрат. Як приклад описана робота трьохканальної системи, де розглянуто часовий розподіл потоку параметрів. Для організації процедур раціонального кодування та концентрації технологічних і планово-економічних даних розроблений неадаптивний метод на основі нелінійних теоретико-числових перетворень. В процесі впровадження відмічена висока надійність зберігання та відбору даних при помилках в індексації інформаційних блоків.

Ключові слова: дискретизація, процедура, раціональне кодування, код інформаційного стану.

I.R. MUHAJLUK, G.I.LEVYTSKA, T.A.VAVRYK  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

### METHODS OF DATA TRANSFORMATION AND CONCENTRATION IN INFORMATIVELY-MEASUREMENTS SYSTEMS FOR GAS TRANSPORTATION NETWORK

Abstract – Organization of procedure transformation of information messages, and also their temporal distributing and presentation without losses are offered in the article. Work of the three-channel system is as an example described, where the temporal distributing stream of parameters is considered. For realization procedures of the rational encoding and concentration technological and planned-economic data is developed non-adaptive method on the basis of nonlinear number-theoretic transformations. In the process of introduction high reliability of storage and selection of data with errors in indexation of informative blocks was mentioned.

Keywords: digitization, procedure, rational encoding, code of the informative state.

#### Вступ

Проблема перетворення інформаційних повідомлень, а також їх часовий розподіл є достатньо складною і трудомісткою теоретико-алгоритмічною задачею. Відомі методи перетворення інформаційних повідомлень, а також їх розподіл в часі недостатньо ефективні для обґрунтування параметрів перетворення та концентрації даних в конкретних умовах, зокрема, в інформаційних системах бурових виробництв.

#### Процедури кодування, переносу та концентрації даних в інформаційно-вимірювальних системах

Розглянемо організацію процедури перетворення інформаційних послань з її часовим розподілом без втрат.

Нехай газотранспортна мережа характеризується набором технологічних параметрів  $U_1, U_2, \dots, U_n$ . Кожний з  $y_i, i = \overline{1, n}$  характеризується періодом  $t_i$  і довжиною передачі  $\overline{t_i}$ . Очевидно, що не при всяких  $t_i, \overline{t_i} (i = \overline{1, n})$  можливий відбір інформації з об'єкту при здійсненні оптимального часового ущільнення каналу чи організації оптимальної дисципліни обслуговування потоку  $y_i, i = \overline{1, n}$ . Так, при більш частій передачі інформації буде передаватись надлишкова її кількість, в протилежному випадку – частина інформації буде втрачена, відомо з [1].

Введемо поняття  $l_1$  – першої передачі інформаційного параметру  $U_1$ , що фактично є для початкової точки синхронізації наступного розподілу в часі  $y_i, i = \overline{1, n}$ . Тоді контрольний об'єкт можна описати  $y = \{l_1, t_i, \overline{t_i}\}_{i=1}^n$ .

Однозначність відбору параметрів  $y_i, i = \overline{1, n}$  в часі зафіксуємо обмеженням

$$t_i > l_1 + \overline{t_i}.$$

Визначаємо ряд співвідношень можливості часового розподілу  $y_i, i = \overline{1, n}$ .

Якщо під змінну  $k_i$  прийняти період, то  $y_i^{(k_i)}$  початком передачі інформації від  $i$ -ї компоненти набору  $y_i, i = \overline{1, n}$  в  $k_i$  період. При  $k_i = \{0, 1, 2, \dots\}$  – набір цілих чисел  $y_i$  можна виразити

$$y_i^{(k_i)} = l_1 + k_i \cdot t_i.$$

Так як  $y_i^{(k_i)}$  – момент часу початку передачі  $i$ -ї компоненти, то наступну передачу інформації відображаємо як мінімум через  $t_i$ , що відповідає моменту

$$y_i^{(k_i)} = y_i^{(k_i)} + t_i \quad .$$

Виконання нерівності  $y_i^{(k_i)} - y_i^{(k_i)} \geq t_i$  відповідає часовому критерію розподілу сусідніх ординат  $y_i$  і  $y_j$  при  $i \neq j$ .

Для більш жорстких обмежень  $l_i, t_i, t_i, (i = \overline{1, n})$ , що може призвести до більш глибокого аналізу критеріїв часового розподілу. Введемо цілочисельну шкалу їх значень.

Нехай  $t_{ij} = t_i \wedge t_j$ , де  $\wedge$  – символ операції логічного множення, причому для взаємно простих чисел  $t_i, t_j$  величина  $t_{ij}$  – найбільш загальний дільник (НЗД), що, в відповідності з Китайською теоремою про різниці, забезпечує однозначність представлення набору  $l_i, t_i, t_i$ .

Так, для трьохканальної системи попарні суми довжини передачі  $U_1, U_2, U_3$  можна записати

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 &\leq t_{12} = t_1 \wedge t_2 = c_{12}; \\ t_2 + t_3 &\leq t_{23} = t_2 \wedge t_3 = c_{23}; \\ t_1 + t_3 &\leq t_{13} = t_1 \wedge t_3 = c_{13}, \end{aligned} \quad (1)$$

а загальна довжина передачі  $U_1, U_2, U_3$  буде відображена

$$c_{123} = k_{123} t_{123} \leq \left[ \frac{t_{12} + t_{23} + t_{13}}{2t_{123}} \right] t_{123} \quad ,$$

де  $t_{123} = t_1 \wedge t_2 \wedge t_3$ , тобто  $t_1 + t_2 + t_3 \leq c_{123}$ .

Для знаходження початків першої передачі  $l_1, l_2, l_3$ , тобто фактичної синхронізації в часі початку параметрів  $U_1, U_2, U_3$  введемо позначення

$$\begin{aligned} l_1 - l_2 &= l_{12}; \\ l_2 - l_3 &= l_{23}; \\ l_1 - l_3 &= l_{13}. \end{aligned}$$

В свою чергу значення  $l_{12}, l_{23}, l_{13}$  можна визначити на основі розв'язку діофантових рівнянь

$$\begin{aligned} l_{12} &\equiv d_{12} \pmod{t_{12}}; \\ l_{23} &\equiv d_{23} \pmod{t_{23}}; \\ l_{13} &\equiv d_{13} \pmod{t_{13}}. \end{aligned}$$

Числа  $d_{12}, d_{23}, d_{13}$  обмежені величинами, відомо з [1]

$$\begin{aligned} t_2 &\leq d_{12} \leq t_{12} - t_1; \\ t_3 &\leq d_{23} \leq t_{23} - t_2; \\ t_{12} &\leq d_{13} \leq t_{13} - t_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Для ілюстрації описаного часового розподілу параметрів  $U_1, U_2, U_3$  для трьохканальної системи розглянемо приклад.

Періоди передачі інформації  $t_1 = 5$ ;  $t_2 = 5$ ;  $t_3 = 10$ .

Тривалість передачі  $t_1 = 1$ ;  $t_2 = 2$ ;  $t_3 = 2$ .

Визначимо найменше загальне кратне (НЗК):  $t_{12} = 5$ ;  $t_{23} = 5$ ;  $t_{13} = 5$ ;  
 $t_{123} = t_1 \wedge t_2 \wedge t_3 = 5$ .

$$c_{123} = \left[ \frac{5+5+5}{2 \cdot 5} \right] \cdot 5 = 5 \quad .$$

Виконання критеріїв визначимо на основі відношень (1.2):

$$\begin{aligned} t_1 + t_2 &= 3 \leq 5 = t_{12}; \\ t_2 + t_3 &= 5 \leq 5 = t_{23}; \\ t_1 + t_3 &= 4 \leq 5 = t_{13}. \end{aligned}$$

Критичні оцінки витримані, відповідно для поставленої умови часовий розподіл можливий.

На основі (1.2) визначимо початкові моменти передачі ординат  $U_1, U_2, U_3$ . Для цього прийmemo

значення  $d_{23} = t_3 = 2$  ;  $d_{13} = t_{13} = 1$  ;  $d_{12} = c_{123} - d_{23} - d_{13} = 2$  .

Тоді, якщо  $l_1 = 0$  , то  $l_2 = -2$  , а  $l_3 = 1$  .

Ілюстрація часового розподілу  $Y_1, Y_2, Y_3$  для даного прикладу показано на рис.1.

надлишкові групи  $y_i, y_j$  виникають внаслідок квантизації періодом  $t_i, t_j, 0,2t_i$ .

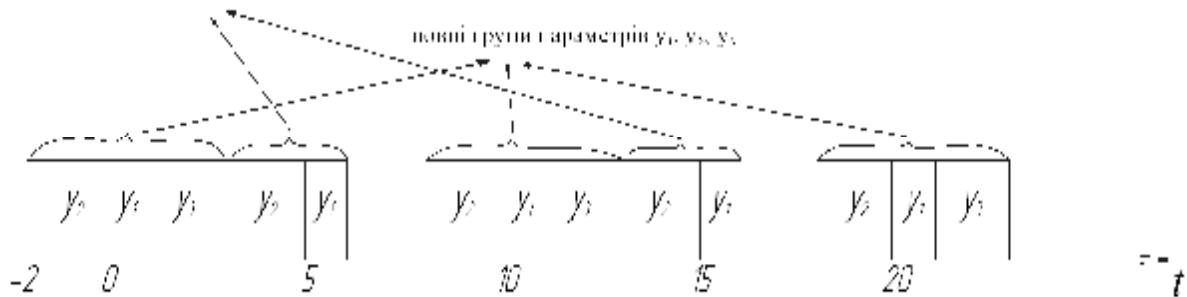


Рис. 1. Часовий розподіл ординат  $Y_1, Y_2, Y_3$

Розглянута послідовність операцій для часового розподілу послідовності параметрів досліджуваного об’єкта, як і інші традиційні методи збору інформації, наділена тим недоліком, що про стан об’єкта можна робити висновки на значному часовому проміжку. Так для розглянутого прикладу з трьома параметрами періодичність відбору інформації поступово розтягується в часі через різну періодичність і розмірність кожного з параметрів. Таким чином, зростає потреба до комутаторів термінальних приладів та їх адаптація на зміну ситуації досліджуваного об’єкта. Все це вимагає, в кінцевому випадку, створення більш вдосконалених методів кодування і переносу інформації в ІВС з можливостями розпаралелення потоку інформаційних повідомлень та створення кодових посилань, які містять інформацію про весь набір технологічної інформації про об’єкт в фіксовані моменти часу.

Більш перспективним направленням реалізації процедур раціонального кодування та концентрації масивів технологічних і планово-економічних даних в ІВС газотранспортних мереж є розробка і практичне впровадження неадаптивних методів на основі нелінійних теоретико-числових перетворень системи залишкових класів (СЗК), відомо з [2]. Ці методи характеризуються виключно простими процедурами перетворення і представляють практичну цінність в ІВС автоматизованих систем управління (АСУ), де надлишок первинної інформації досягає 90% при високих швидкостях створення повідомлень, відомо з [2].

Запропонована процедура кодування повідомлень виконується наступним чином, розглянуто у [3].

Телеметрична інформація досліджуваного об’єкта на деякому інтервалі часу  $\overline{1, n}$  описується матрицею

$$y_{ij} = \begin{pmatrix} y_{11}y_{12} \dots y_{k1} \dots y_{n1} \\ y_{12}y_{22} \dots y_{k2} \dots y_{n2} \\ \dots \\ y_{1k}y_{2k} \dots y_{kk} \dots y_{nk} \end{pmatrix}, \tag{3}$$

де  $y_{ij}$  сигнал  $i$ -го рівня  $j$ -го вимірювання чи канала,  $k$  – число каналів,  $n$  – число відліків ( $n > k$ )

. Матриця (3) однозначно представляється матрицею різниці шляхом нелінійного перетворення елементів  $b_{ij} = \text{res } y_{ij} \pmod{P_j}$  ,

де  $P_j > 2 \max \{ |y_{ij} - y_{i-1, j}| \}$  .

Причому, однозначність відновлення  $y_{ij}$  виконується по рекурентній процедурі, відомо з [2]

$$y_{ij} = E \left[ \frac{y_{i-1, j} - b_{ij}}{P_j} \right] \cdot P_j + b_{i-1, j} , \tag{4}$$

де  $E$  – цілочисельна функція з закругленням до меншого. При цьому періодично на інтервалі часу  $\overline{1, n}$  необхідно доповнити  $b_{ij}$  рангами  $R_j$  для обчислення опірних ординат

$$y_{ij} = R_j P_j + b_{ij} , \tag{5}$$

де

$$R_j = E \left[ y_{ij} / P_j \right] .$$

Виникає необхідність введення додаткового модуля кодування  $P_{k+1}$  для реєстрації  $R_j$ . При цьому діапазони квантування  $A_1 \div A_k$  телеметричних даних по каналам  $P_1 \div P_k$  визначаються виразом

$$A_j = (P_{k+1} - 1)P_j + (P_j - 1),$$

або виразом

$$A_j = P_j P_{k+1} - 1.$$

Сформований двохвимірний масив описується матрицею

$$\begin{pmatrix} b_{11} \dots b_{k1} b_{k+1,1} \dots b_{n1} \\ \dots \\ b_{1k} \dots b_{kk} b_{k+1,k} \dots b_{nk} \\ R_1 \dots R_k X_{k+1} \dots X_n \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де  $b_{11} - b_{nk}$  – залишки телеметричної інформації;

$$X_{k+1} - X_n - \text{вільні позиції каналу } k+1.$$

Для забезпечення локальної незалежності даних, що кодуються, переносяться і концентруються на всіх рівнях автоматизованих систем управління необхідно суміщення технологічних і планово-економічних даних в одному файлі. З цією метою символи  $X_{k+1} - X_n$  використовуємо для кодування планово-економічних даних. Величина  $n$  вибирається в залежності від рівня помилок, які виникають в інформації при її переносі по каналах зв'язку чи при концентрації в накопичувачах.

Кінцевим етапом перетворення інформації є кодування стовпчиків матриці (6) в СЗК

$$N_i = \text{res} \sum C_{ij} B_j \pmod{r}, \quad (7)$$

де  $C_{ij}$  – вектор-стовпчик матриці (6);

$$B_j, r = \prod_{j=1}^{k+1} P_j - \text{ортогональні бази і узагальнений модуль перетворення СЗК.}$$

Таким чином, до моменту переносу інформації матриця (6) перетвориться у вектор-рядок  $N_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , яка відображає стан досліджуваного об'єкта на інтервалі часу  $\overline{1, k}$  по  $k$  – технологічним параметрам, а на інтервалі часу  $\overline{k+1, n}$  додатково введеної поточної планово-економічної інформації.

Реалізація приведеної процедури дозволяє зменшити об'єм інформації, яка реєструється на компресорній станції в 5–8 разів порівняно з традиційними методами перетворення даних, відомо з [2].

Основними позитивними результатами наведеної процедури перетворення даних є наступне:

1) при організації циклічного збору інформації газоперекачувальних агрегатів (ГПА), передачі 6-ти технологічних параметрів та планово-економічних даних, включаючи добовий рапорт майстра, інтервал дискретизації не перевищує 2,4 с.;

2) стрімко знижуються вимоги до пропускну здатності каналів зв'язку і реєструючої апаратури, так як швидкість створення повідомлень не перевищує 32 біт/с;

3) роздільність каналів телеметричних і планово-економічних даних, а також їх верстка в одне кодове слово  $N_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  допускає використання високоефективних коректуючих AN – кодів;

4) спрощується концентрація даних по деяких складових ГПА.

Розглянута процедура перетворення

$$\|y_{ij}\| \Rightarrow \|b_{ij}, R_i \vee X_i\| \Rightarrow \{N_i\}, i = \overline{1, n}$$

описується розгорнутою формулою перетворення даних

$$N_i = \text{res} \left( \sum_{j=1}^k b_{ij} B_j + R_i B_{k+1} \vee X_i B_{k+1} \right) \pmod{r},$$

де  $\vee$  – символ операції логічного додавання;

$B_{k+1}$ ,  $P_{k+1}$  – ортогональний базис і модуль кодування елементів в  $k+1$  векторного рядка матриці (6).

В ряді випадків існують ситуації на діючій компресорній станції при яких рівень електромагнітних полів настільки високий, що створюються шуми в лініях зв'язку в 30 і більше вольт. Розробка засобів захисту ліній зв'язку від дії електромагнітних перешкод (особливо з врахування іскробезпеки як

невід'ємної вимоги до апаратури на компресорній станції) являє собою складну задачу, що призводить до значного подорожчання апаратури в цілому. В останні роки значна увага надається питанням використання оптоволоконних ліній зв'язку, перевага яких стає все більш очевидним, відомо з [4]. Ці лінії зв'язку дозволяють:

- забезпечити обмін з зовнішнім середовищем з швидкістю не менше  $10^6$ - $10^7$  байт/с ;
- розширити частотний діапазон сигналів керування до  $10^{14}$ - $10^{15}$  гц з одночасним збільшенням інформаційної швидкості в  $10^6$  раз;
- вести не тільки ввід-вивід по оптичному каналу, але й здійснювати безпосередній візуальний контроль і зчитування;
- забезпечити високу надійність і практично повний захист від електричних полів;
- різко зменшити масу ліній зв'язку, замінивши їх дешевим скловолоконном;
- створити лінії зв'язку з повною іскробезпекою.

Як відомо з [5], запропоновано конкретне технічне вирішення переносу  $N_i$  в ІВС. З врахуванням [4] вимоги до протяжності оптичного каналу можна виразити

$$L = \frac{F - A}{a} + L_B, \quad (8)$$

де  $F$  – запас потужності волотрона, дБм;  
 $A$  – втрати потужності в нероз'ємних з'єднаннях, дБм;  
 $a$  – коефіцієнт затухання оптоволоконного кабеля, дБ/км;  
 $L_B$  – довжина оптичного тракту волотрона, км.

Використання стандартного електричного з'єднання СНП-34, що широко використовується в пристроях ЕОМ, і виконання залежності (7) дозволяє будувати лінії зв'язку на основі волотронів, які забезпечують потрібну конструктивну сумісність з електронними пристроями.

Найбільш часто в ІВС використовуються ієрархічні структури концентруючих при переносі даних з позиційним кодуванням відношень. Ієрархічну структуру концентруючих повідомлень планово-економічного характеру в ІВС практично не вдається призвести до зважуваного вигляду, а приведені дані до двійкового дерева породжує значний надлишок кодування. Тому, доцільним є приведення повідомлень, які передаються, до реляційної структури, використовуючи ефективне кодування атрибутів відношень.

Для ідентифікації концентруючих даних  $N_i$  та визначення початку інформаційного блоку вводиться нульова позиція рангу  $R_0$ , яка відображає стан досліджуваного ГПА в нульовий момент часу.

Для забезпечення єдиного формату кодових слів  $N_i$  для їх безпосереднього вводу, обробки та зберігання в ЕОМ при числі контрольних параметрів джерела інформації перевищує  $k$ , запропоновано групування телеметричних каналів в кодових словах  $N_i$ . Інформаційний блок на інтервалі 60 с з кроком дискретизації 2.4 с демонструвався потоком двох кодових слів  $N_{i1}$  і  $N_{i2}$ . Кожний з блоків, як показано на рис.2, містить 5 цифрових каналів:

- $P_0 = 5$  - канал захисту від помилок за допомогою AN-коду;
- $P_1 = 7, P_2 = 9, P_3 = 13$  – канали телеметрії технологічних параметрів;
- $P_4 = 16$  – канал рангів, стан ГПА та даних добового рапорту майстра.

$N_{i1}$  містить інформацію про концентрацію викидних газів (оксидів азоту  $\text{NO}_x$  та оксиду вуглецю  $\text{CO}$ ) залежно від витрат газу  $Q$  і коефіцієнта надлишку повітря, а  $N_{i2}$  – виміри концентрації викидних газів (оксидів азоту  $\text{NO}_x$  та оксиду вуглецю  $\text{CO}$ ) залежно від номінальної потужності та температури згорання, відомо з [6]. Одночасне формування на ГПА двох кодових слів  $N_{i1}$  і  $N_{i2}$  дозволяє підвищити надійність передачі інформації при утворенні помилок, доводячи ймовірність помилок для телеметричних даних  $10^{-4}$  і  $10^{-6}$ . Дане вирівнювання здійснене шляхом дублювання передачі планово-економічних показників одночасно в двох кодових словах  $N_{i1}$  і  $N_{i2}$ .

#### Висновок

Викладені процедури кодування, переносу та концентрації даних в ІВС базуються на неадаптивних методах стиснення інформації, що визначає високу надійність зберігання і вибірки даних при помилках в індексації інформаційних блоків. Достатньо детально розглянуті питання дослідження потоків інформації газотранспортних мереж, дана оцінка об'єму інформації та вибраний крок дискретизації різномісних технологічних параметрів, спроба оптимізації розподілу потоку повідомлень в інформаційно-вимірвальних системах (ІВС).

		T-1M(позиції 1-25)																			
N <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	...	0	2	2	2	2	0	0	0	...
	P <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...
	P <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...
	P <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...
	P <sub>4</sub>	X	X	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	X	X	X	...	X	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	X	X	X	...	
N <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	1	1	3	3	3	3	1	1	1	1	...	1	3	3	3	3	1	1	1	...
	P <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...
	P <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...
	P <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>	...
	P <sub>4</sub>	X	X	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	X	X	X	...	X	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	X	X	X	...	

Рис. 2. Групування телеметричних даних в кодові слова N<sub>i1</sub> і N<sub>i2</sub>.

### Література

1. Распределение регулярных потоков сообщений в информационных системах / [Амебраев В.М., Васильев В.И., Гуревич И.М., Пек И.Т.]. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1980. – 144 с.
2. Николайчук Я.Н. Компактное кодирование сообщений в многоуровневой системе баз данных / Я.Н. Николайчук, Г.Я. Ширмовский, В.Р. Процюк // УсиМ. – 1984.– № 1. – С. 102–107.
3. Николайчук Я.Н. Эффективное кодирование суточного рапорта бурового мастера для формализованного ввода в ЭВМ / Я.Н. Николайчук, В.Р. Процюк, Г.Я. Ширмовский // Экспресс-информация / ВНИИОЭНГ. – М., 1986. – Сер. Экономика и управление. – Вып. 7. – С. 29–33.
4. Носов Ю.Р. Волстроны – элементная база оптоволоконных линий связи терминальных устройств / Ю.Р. Носов // Оптоэлектронные устройства в приборостроении и информатике : тезисы докладов сесоюзного семинара по оптоэлектронике. – Тбилиси, 1985. – С. 19–21.
5. Николайчук Я.Н. Многоканальная система волоконно-оптической связи с уплотнением данных в унитарном коде СОК / Я.Н. Николайчук, Г.Я. Ширмовский // Всесоюзного семинара по оптоэлектронике: Тезисы докладов. – Тбилиси, 1985. – С. 280–282.
6. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ / А.М. Постников ; под ред. Гриценко Е.А. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2002. – 286 с. – ISBN 5.93424–081–1.

Рецензія/Peer review : 25.12.2015 р.

Надрукована/Printed : 11.2.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Юрчишин В.М.