

УДК 004.33

# СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ВЕКТОРНОЇ ПАМ'ЯТІ З ЗМІННИМ ТА ФІКСОВАНИМ ВПОРЯДКОВАНИМ ДОСТУПОМ

**А.О. Мельник**

Професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри  
Кафедра ЕОМ

Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013

Контактний тел.: (032) 258-21-96

E-mail: aomelnyk@polynet.lviv.ua

**Н.М. Ліщина**

Кафедра комп'ютерних технологій  
Луцький інститут розвитку людини Університету  
«Україна»

вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, 43026

Контактний тел.: 096-605-77-34

E-mail: lischyuna@gmail.com

*Запропоновано метод побудови структури пам'яті з змінним та фіксованим впорядкованим доступом на основі комутуючих мереж. Розглянуто структури пам'яті з змінним та фіксованим впорядкованим доступом для різних варіантів запису та зчитування даних*

*Ключові слова: пам'ять з змінним та фіксованим впорядкованим доступом*

*Предложен метод построения структуры памяти с переменным и фиксированным упорядоченным доступом на основе коммутирующих сетей. Рассмотрены структуры памяти с переменным и фиксированным упорядоченным доступом для различных вариантов записи и считывания данных*

*Ключевые слова: память с переменным и фиксированным упорядоченным доступом*

*The method of memory structure building with variable and fixed ordered access by switching networks is proposed. The structures of memory with variable and fixed ordered access to the various options for recording and reading data are considered*

*Keywords: memory with variable and fixed ordered access*

## Вступ

В пам'яті з впорядкованим доступом (ПВД) забезпечується доступ до даних у програмно встановленому порядку, тобто індекс, який надходить в пам'ять разом з даним, або під час його зчитування, вказує місце даного у вихідному масиві [1,2]. Для впорядкування індексів в ПВД використовують сортувальні мережі [3,4].

В ряді використань, зокрема в спеціалізованому процесорі, орієнтованому на виконання конкретного алгоритму, немає потреби в формуванні та використанні індексів, оскільки правило впорядкування даних в кожному ярусі виконуваних алгоритму наперед відоме [2]. Тому в структурі ПВД можна наперед прожити монтажним способом потрібні з'єднання між її елементами з тим, щоб забезпечити потрібне впорядкування даних. При цьому може бути запропоновано два варіанти реалізації такої пам'яті: з фіксованим впорядкованим доступом, коли ПВД забезпечує лише один режим впорядкування, та зі змінним впорядкованим доступом, коли є кілька режимів впорядкування.

Постає задача розроблення принципів побудови пам'яті з впорядкованим доступом для її використання в спеціалізованих процесорах в двох її варіантах: з фіксованим впорядкованим доступом (ПФВД) та зі змінним впорядкованим доступом (ПЗВД).

## 1. Метод побудови ПЗВД та ПФВД до вектора даних на основі комутуючої мережі

Нехай до ПЗВД паралельно записують вектор вхідних даних

$$|ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}| \quad (1)$$

тобто  $k=1, l=L, i$  на вихід ПЗВД паралельно зчитують вектор вихідних даних

$$|OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}|, \quad (2)$$

тобто  $m=1, n=N$ . При цьому  $L=N$ .

Тоді задача впорядкування вектора вхідних даних за значенням  $Q$  у вектор вихідних даних виглядає наступним чином:

$$|OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}| = |ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}|Q, \quad (3)$$

де  $Q$  – код впорядкування.

Завдання ПЗВД типу  $1 \times L \rightarrow 1 \times N$  полягає у забезпеченні запису вектора вхідних даних  $|ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}|$  і їх зчитування у вигляді вектора вихідних даних  $|OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}|$ , елементи якого впорядковані відповідно до виразу (3).

Таким чином, виходячи з виразу (3), метод впорядкування вектора даних за їх мітками та відповідний метод побудови ПЗВД полягає в наступному:

1. Для запам'ятовування вектора даних  $\{ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}\}$  виділити  $l$  комірок пам'яті, в ролі яких використовувати регістри.
  2. Для виконання впорядкування даних за значенням  $Q$  використати комутуючу мережу (КМ).
  3. Подати на КМ значення  $Q$ .
  5. Дані записувати в режимі запису до регістрів ПЗВД.
  6. Впорядковані за значенням  $Q$  дані зчитувати в режимі зчитування з регістрів ПЗВД, які в них зберігалися, на виходи ПЗВД.
  7. Дані на входи ПЗВД можуть поступати паралельно або послідовно, одне за одним. Необхідно забезпечити на вході ПЗВД відповідний інтерфейс.
  8. Дані на виходи ПЗВД можуть поступати паралельно або послідовно, одне за одним. Необхідно забезпечити на виході ПЗВД відповідний інтерфейс.
- Оскільки в при побудові ПФВД значення  $Q$  наперед відоме, то відповідний метод побудови ПФВД буде наступним:
1. Для запам'ятовування вектора даних  $\{ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}\}$  виділити  $l$  комірок пам'яті, в ролі яких використовувати регістри.
  2. Для виконання впорядкування даних за значенням  $Q$  використати умовну комутуючу мережу (УКМ).
  3. Подати на УКМ значення  $Q$  з тим, щоб здійснити монтажні з'єднання її входів та виходів.
  5. Дані записувати в режимі запису до регістрів ПФВД.
  6. В режимі зчитування зчитувати з регістрів дані на виходи ПФВД.
  7. Дані на входи ПФВД можуть поступати паралельно або послідовно, одне за одним. Необхідно забезпечити на вході ПФВД відповідний інтерфейс.
  8. Дані на виходи ПФВД можуть поступати паралельно або послідовно, одне за одним. Необхідно забезпечити на виході ПФВД відповідний інтерфейс.

## 2. ПЗВД та ПФВД типу $1 \times L \rightarrow 1 \times N$

Структура ПЗВД даного типу показана на рис. 1.

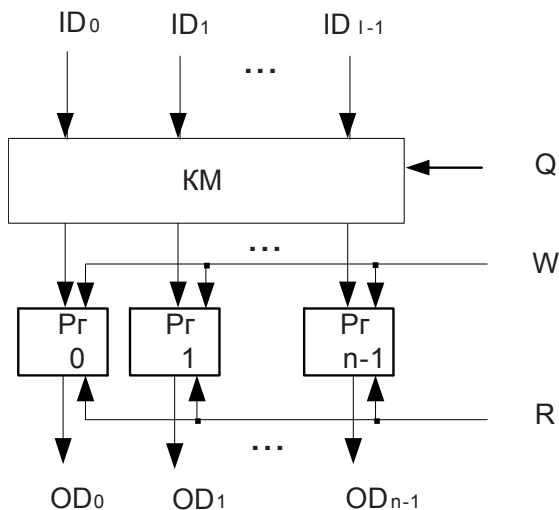


Рис. 1. Структура ПЗВД типу  $1 \times L \rightarrow 1 \times N$

На комутуючій мережі КМ здійснюється впорядкування вхідних даних  $\{ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}\}$ , після чого вони записуються до регістрів  $P_{r0}$ - $P_{rn-1}$  сигналом запису  $W$ .

Час запису даних до ПЗВД визначається сумарним часом виконання операції впорядкування даних в комутуючій мережі. Вектор вихідних даних  $\{OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}\}$  зчитується з регістрів  $P_{r0}$ - $P_{rn-1}$  сигналом зчитування  $R$ .

Проведемо оцінку технічних характеристик ПЗВД, наведеної на рис. 1. До цих характеристик відносяться наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = t_{BKМ} + t_{WP_r}$ , де  $t_{BKМ}$  – затримка КМ;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = t_{RP_r}$ ;
- затрати обладнання на реалізацію ПЗВД

$$W = W_{KM} + n_{WP_r}$$

де  $W_{KM}$  – затрати на комутуючу мережу КМ,  $n$  – розмір вектора даних.

Такою ж як ПЗВД буде структура і ПФВД, лише на місці КМ буде УКМ, в якій значення  $Q$  використовують для того, щоб здійснити монтажні з'єднання її входів та виходів.

Технічні характеристики ПФВД наступні:

- час запису вектора даних до ПФВД  $T_W = t_{WP_r}$ ;
- час зчитування вектора даних з ПФВД  $T_R = t_{RP_r}$ ;
- затрати обладнання на реалізацію ПФВД

$$W = n_{WP_r}$$

де  $n$  – розмір вектора даних.

## 3. ПЗВД та ПФВД типу $1 \times L \rightarrow m \times N$

Нехай до ПЗВД записують вектор вхідних даних

$$\{ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}\},$$

які записують до ПЗВД в режимі впорядкування паралельно, тобто  $k=1, l=L$ , і на вихід ПЗВД послідовно зчитують вектор вихідних даних

$$\begin{pmatrix} OD_0 \\ OD_1 \\ \dots \\ OD_{m-1} \end{pmatrix},$$

тобто  $m=M, n=1$ . Таким чином, в ПЗВД рядок перетвориться в стовпець. В цьому випадку до ПЗВД за один такт сигналом  $W$  записуються  $l$  даних, а потім за  $m$  тактів зчитуються  $m$  даних (у кожному такті одне дане), причому  $m=l$ . Така ПЗВД може бути реалізована в кількох варіантах. Один із варіантів – побудова ПЗВД на базі схеми, показаної на рис. 1, якщо її виходи об'єднати спільною шиною та додати лічильник  $L$ , який підраховує сигнали зчитування  $R$  та вказує з якого номера вихідного регістра на якому номері сигналу зчитування  $R$  дозволяється зчитування (рис. 2).

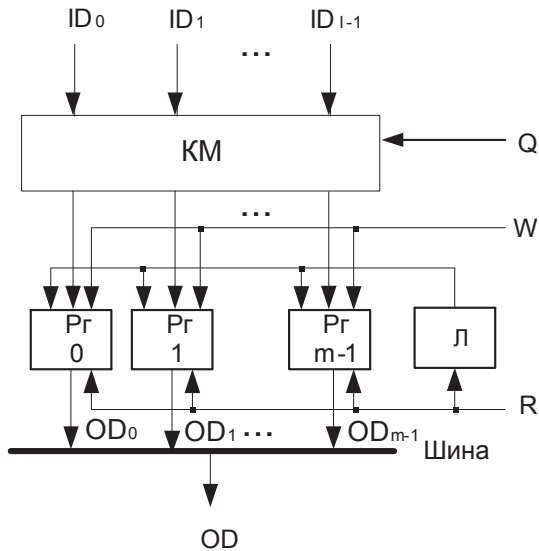


Рис. 2. Структура ПЗВД типу 1xL→Mx1

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис. 1 ПЗВД. До цих характеристик відносять наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = t_{ВКМ} + t_{WPr}$ , де  $t_{ВКМ}$  – затримка КМ;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = mt_{RPr}$ , де  $m$  – розмір вектора вихідних даних.
- затрати обладнання на реалізацію ПЗВД

$$W = W_{КМ} + n_{WPr} + W_{Л},$$

де  $W_{КМ}$  – затрати на комутуючу мережу КМ,  $n$  – розмір вектора даних,  $W_{Л}$  – затрати на лічильник.

Такою ж як ПЗВД буде структура і ПФВД, лише на місці КМ буде УКМ, в якій значення  $Q$  використовують для того, щоб здійснити монтажні з'єднання її входів та виходів.

Технічні характеристики ПФВД наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = t_{WPr}$ ;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = mt_{RPr}$ , де  $m$  – розмір вектора вихідних даних.
- затрати обладнання на реалізацію ПЗВД

$$W = n_{WPr} + W_{Л},$$

де  $n$  – розмір вектора даних,  $W_{Л}$  – затрати на лічильник.

#### 4. ПЗВД та ПФВД типу 1xL→MxN на основі комутуючої мережі

Нехай до ПЗВД записують вектор вхідних даних

$$\{ID_0, ID_1, \dots, ID_{l-1}\},$$

які записують до ПЗВД в режимі впорядкування паралельно, тобто  $k=1, l=L, i$  на вихід ПЗВД зчитують вектор вихідних даних

$$\{OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}\}$$

групами по  $m$  даних

$$\begin{pmatrix} OD_0 & OD_1 & \dots & OD_{m-1} \\ OD_m & OD_{m+1} & \dots & OD_{2m-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ OD_{n-m} & OD_{n-m+1} & \dots & OD_{n-1} \end{pmatrix}.$$

Таким чином, в цій ПЗВД рядок перетвориться в матрицю, тобто  $m=M, n=N$ . У цьому випадку схема ПЗВД співпадає з показаною на рис. 2, з тією відмінністю, що із вихідних регістрів одночасно зчитують  $m$  чисел (рис. 3). Для цього вихідні регістри поділено на групи по  $m$  регістрів  $Pr_0-Pr_{m-1}, Pr_m-Pr_{2m-1}, \dots, Pr_{n-m}-Pr_{n-1}$  та виходи кожного  $i$ -го регістра, де  $i=(j) \bmod m, j=0,1,\dots,n$  об'єднані спільною шиною. Лічильник  $Л$  підраховує сигнали зчитування  $R$  та вказує з якого номера вихідного регістра на якому номері сигналу зчитування  $R$  дозволяється зчитування.

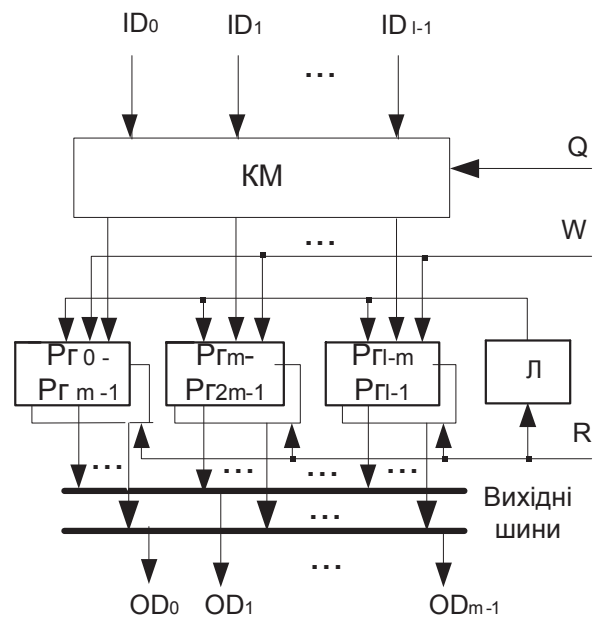


Рис. 3. Структура ПЗВД типу 1xL→MxN

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис. 3 ПЗВД. До цих характеристик відносять наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = t_{ВКМ} + t_{WPr}$ , де  $t_{ВКМ}$  – затримка КМ;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = (n/m) t_{RPr}$ , де  $n$  – розмір вектора вихідних даних,  $m$  – кількість одночасно зчитуваних вихідних даних.

Такою ж як ПЗВД буде структура і ПФВД, лише на місці КМ буде УКМ, в якій значення  $Q$  використовують для того, щоб здійснити монтажні з'єднання її входів та виходів.

Технічні характеристики ПФВД наступні:

- час запису вектора даних до ПФВД  $T_W = t_{WPr}$ ;
- час зчитування вектора даних з ПФВД  $T_R = (n/m) t_{RPr}$ , де  $n$  – розмір вектора вихідних даних,  $m$  – кількість вихідних даних, які зчитують одночасно.

#### 5. ПЗВД та ПФВД типу Kx1→1xN

Нехай до ПЗВД записують вектор вхідних даних

$$\begin{pmatrix} ID_0 \\ ID_1 \\ \dots \\ ID_{k-1} \end{pmatrix},$$

які записують до ПЗВД в режимі впорядкування послідовно, тобто  $k=K, l=1, i$  на вихід ПЗВД паралельно зчитують вектор вихідних даних

$$|OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}|,$$

тобто  $m=1, n=N$ . При цьому  $K=N$ .

Структура ПЗВД цього типу (рис. 4) містить входні реєстри  $Pr_0 - Pr_{k-1}$  для зберігання даних, до яких дані записують поодиночки, тобто послідовно, а потім проводиться впорядкування даних за значенням  $Q$  використовуючи комутуючу мережу КМ.

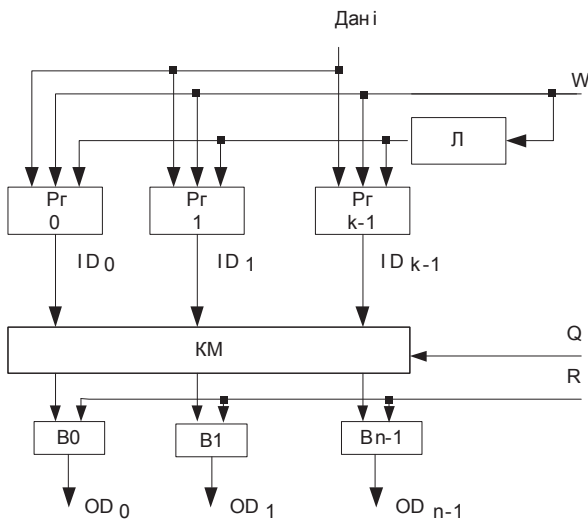


Рис. 4. Структура ПЗВД типу  $K \times 1 \rightarrow 1 \times N$

Сигналами запису  $W$  входні дані записуються в відповідні реєстри, причому місце запису вказується сигналом з виходу лічильника  $L$ , який формує сигнали дозволу запису.

Цей лічильник спочатку перебуває в стані «0» та дозволяє запис першого даного до реєстра  $Pr_0$ , після поступлення першого сигналу запису  $W$  переходить в стан «1» та дозволяє запис другого даного до реєстра  $Pr_1$ , після поступлення другого сигналу запису  $W$  переходить в стан «2» та дозволяє запис третього даного до реєстра  $Pr_2$  і так до запису  $k$ -го даного до реєстра  $Pr_{k-1}$ .

Пізніше входні дані впорядковуються у комутуючій мережі КМ, та поступають на входи вентилів  $B_0, B_1, \dots, B_{n-1}$ . З виходів цих вентилів вихідні дані  $OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}$  при поступленні сигналу зчитування  $R$  будуть подані на вихідну шину.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис. 4 ПЗВД. До цих характеристик відносяться наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = kt_{WPr}$ , де  $k$  – розмір вектора входних даних;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = t_B$ , де  $t_B$  – затримка у вихідному вентилі.
- затрати обладнання на реалізацію ПЗВД

$$W = W_{KM} + kW_{Pr} + nW_B,$$

де  $W_{KM}, W_{Pr}, W_B$  – відповідно затрати на комутуючу мережу КМ, на реєстри та на вихідні вентилях,  $k$  – розмір вектора входних даних  $n$  – розмір вектора вихідних даних.

Схема ПФВД буде відрізнятися від показаної на рис. 4 відсутністю вихідних вентилів та КМ, на місці якої буде УКМ (рис. 5).

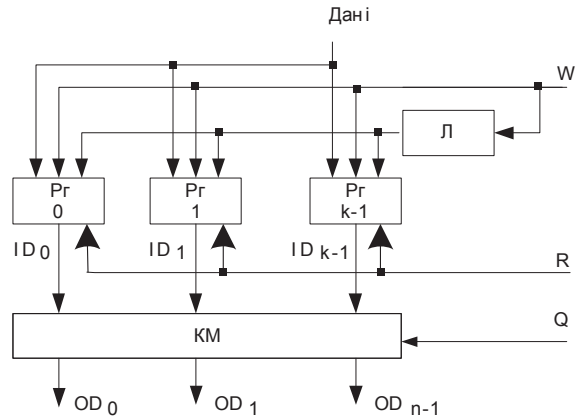


Рис. 5. Структура ПФВД типу  $K \times 1 \rightarrow 1 \times N$

Технічні характеристики наведеної на рис. 6 ПФВД наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = kt_{WPr}$ , де  $k$  – розмір вектора входних даних;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = t_{RPr}$ ,
- затрати обладнання на реалізацію ПЗВД

$$W = kW_{Pr},$$

де  $W_{Pr}$  - затрати на реєстри,  $k$  – розмір вектора входних даних.

## 6. ПЗВД та ПФВД типу $K \times 1 \rightarrow M \times N$ на основі комутуючої мережі

Нехай до ПЗВД записують вектор входних даних

$$\begin{pmatrix} ID_0 \\ ID_1 \\ \dots \\ ID_{k-1} \end{pmatrix},$$

які поступають послідовно в режимі впорядкування, тобто  $k=K, l=1, i$  на вихід ПЗВД зчитують вектор вихідних даних

$$|OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}|$$

групами по  $m$  даних

$$\begin{pmatrix} OD_0 & OD_1 & \dots & OD_{m-1} \\ OD_m & OD_{m+1} & \dots & OD_{2m-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ OD_{n-m} & OD_{n-m+1} & \dots & OD_{n-1} \end{pmatrix}.$$

Таким чином, в цій ПЗВД рядок перетворюється в матрицю, тобто  $m=M, n=N$ . При цьому  $K=N$ .

Структура ПЗВД цього типу (рис. 6) містить входні регістри  $Pr_0 - Pr_{k-1}$  для зберігання даних, до яких дані записують поодиночки, тобто послідовно, а потім проводиться впорядкування даних за значенням  $Q$  використовуючи комутуючу мережу  $KM$ .

Сигналами запису  $W$  входні дані запишуться в відповідні регістри, причому місце запису вказується сигналом з виходу лічильника  $L$ , який формує сигнали дозволу запису. Цей лічильник спочатку перебуває в стані «0» та дозволяє запис першого даного до регістра  $Pr_0$ , після поступлення першого сигналу запису  $W$  переходить в стан «1» та дозволяє запис другого даного до регістра  $Pr_1$ , після поступлення другого сигналу запису  $W$  переходить в стан «2» та дозволяє запис третього даного до регістра  $Pr_3$  і так до запису  $k$ -го даного до регістра  $Pr_{k-1}$ .

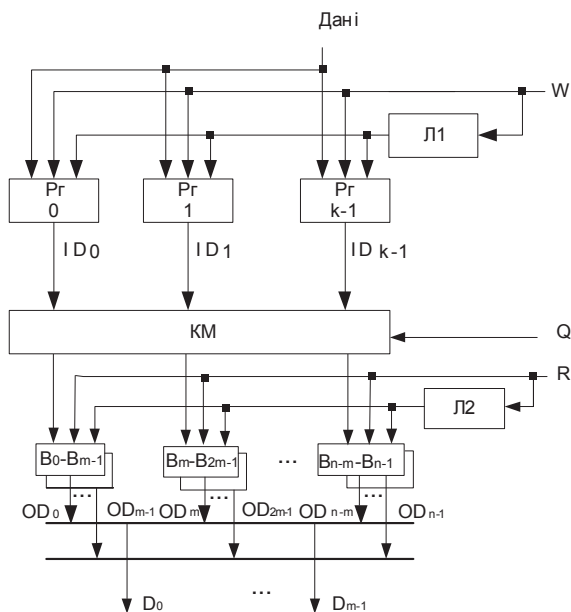


Рис. 6. Структура ПЗВД типу  $KxL \rightarrow MxN$

Пізніше входні дані впорядковуються у комутуючій мережі  $KM$ . З ПЗВД цього типу одночасно зчитують  $m$  чисел, для чого на її виході включено вентилі, які поділено на групи по  $m$  вентилів  $B_0-B_{m-1}, B_{m-B_{2m-1}}, \dots, B_{n-m}-B_{n-1}$  та виходи кожного  $i$ -го вентиля, де  $i=(j) \bmod m, j=0,1,\dots,n$  об'єднані спільною шиною. Лічильник  $L_2$  підраховує сигнали зчитування  $R$  та вказує, з якого номера вентиля, на якому номері сигналу зчитування  $R$ , дозволяється зчитування.

З виходів цих вентилів вихідні дані  $OD_0, OD_1, OD_{m-1}$  при поступленні сигналу зчитування  $R$  будуть подані на відповідну вихідну шину.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис. 6 ПЗВД. Її характеристики відрізняються від характеристик наведеної на рис.4 ПЗВД часом зчитування вектора даних з ПЗВД, який визначається з виразу  $TR = (n/m)tB$ , де  $n$  – розмір вектора вихідних даних,  $m$  – кількість одночасно зчитуваних вихідних даних. Тут враховано, що в ПЗВД вектор даних впорядковується, а під час зчитування

в кожному такті зчитування затримку вносить лише вихідний вентиль.

При побудові ПФВД взамін  $KM$  має бути використана УКМ.

### 7. ПЗВД та ПФВД типу $KxL \rightarrow 1xN$

Нехай до ПЗВД записують вектор входних даних групами по  $k$  даних

$$\begin{bmatrix} ID_0 & ID_1 & \dots & ID_{k-1} \\ ID_k & ID_{k+1} & \dots & ID_{2k-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ID_{l-k} & ID_{l-k+1} & \dots & ID_{l-1} \end{bmatrix},$$

тобто  $k=K, l=L$ , і на вихід ПЗВД зчитують паралельно вектор вихідних даних

$$\{OD_0, OD_1, \dots, OD_{n-1}\},$$

тобто  $m=1, n=N$ . При цьому  $L=N$ .

Структура ПЗВД цього типу (рис. 7) містить згруповані по  $k$  регістрів входні регістри  $Pr_0-Pr_{k-1}, Pr_k-Pr_{2k-1}, \dots, Pr_{l-k}-Pr_{l-1}$  для зберігання даних, до яких дані записують групами, після чого проводиться впорядкування даних за значенням  $Q$  на комутуючій мережі  $KM$ .

В режимі налаштування сигналом запису  $W$  входні дані запишуться в відповідні регістри, причому місце їх запису вказується сигналом з виходу лічильника  $L$ , який формує сигнали дозволу запису. Цей лічильник спочатку перебуває в стані «0» та дозволяє запис першої групи даних до регістрів  $Pr_0-Pr_{k-1}$ , після поступлення першого сигналу запису  $W$  переходить в стан «1» та дозволяє запис другої групи даних до регістрів  $Pr_k-Pr_{2k-1}$ , після поступлення другого сигналу запису  $W$  переходить в стан «2» та дозволяє запис третьої групи даних до регістрів  $Pr_{2k}-Pr_{3k-1}$ , і так до запису  $l/k$ -ї групи даних до регістрів  $Pr_{l-k}-Pr_{l-1}$ .

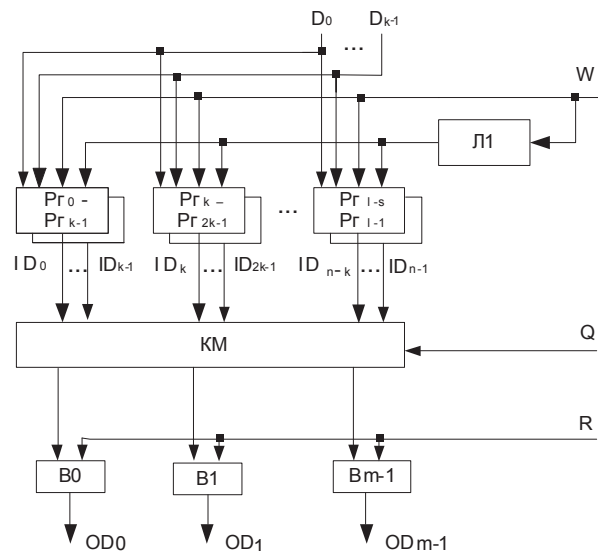


Рис. 7. Структура ПЗВД типу  $KxL \rightarrow 1xN$

Пізніше вхідні дані впорядковуються у комутуючій мережі КМ та поступають на входи вентилів В0, В1... Вm-1. З виходів цих вентилів вихідні дані OD0, OD1, ODn-1 при поступленні сигналу зчитування R будуть подані на вихідну шину.

Проведемо оцінку технічних характеристик наведеної на рис. 7 ПЗВД. До цих характеристик відносяться наступні:

- час запису вектора даних до ПЗВД  $T_W = (l/k)t_{WP_r}$ , де  $l$  – розмір вектора вхідних даних,  $k$  - кількість вхідних даних, що надходять до ПЗВД одночасно;
- час зчитування вектора даних з ПЗВД  $T_R = t_B$ , де  $t_B$  – затримка у вихідному вентилі.
- затрати обладнання на реалізацію ПЗВД

$$W = W_{KM} + lW_{P_r} + mW_B,$$

де  $W_{KM}$ ,  $W_{P_r}$ ,  $W_B$  – відповідно затрати на комутуючу мережу КМ, на регістри та на вихідні вентиля,  $l$  – розмір вектора вхідних даних,  $m$  - кількість вихідних даних, що зчитуються з ПЗВД одночасно.

При побудові ПФВД взамін КМ має бути використана УКМ.

---

### Висновки

---

1. В роботі введено поняття пам'яті з змінним та фіксованим впорядкованим доступом.

2. Розроблено алгоритми впорядкування векторних та матричних даних за значенням вектора впорядкування.

3. Розроблено метод побудови ПЗВД та ПФВД до вектора даних за значенням вектора впорядкування, який полягає в тому, що для виконання впорядкування даних відповідно до значення вектора впорядкування використовують комутуючу мережу,

задачею якої є переміщення даних до відповідних виходів, для запам'ятовування вектора даних виділяють  $l$  комірок пам'яті, в ролі яких використовують регістри, в режимі запису до регістрів ПФВД записують дані, впорядковані відповідно до величини вектора впорядкування, а в режимі зчитування з регістрів ПЗВД та ПФВД зчитують дані, які в них зберігалися, на виходи ПЗВД та ПФВД, дані на входи та виходи якої можуть поступати паралельно або послідовно.

4. Розроблено структури пам'яті з змінним та фіксованим впорядкованим доступом для різних варіантів запису та зчитування даних.

5. Проведена оцінка швидкодії та затрат обладнання на реалізацію розроблених типів ПЗВД та ПФВД.

---

### Література

- [1] Мельник А.О. Принципи побудови буферної сортувальної пам'яті. Вісник Державного університету "Львівська Політехніка" "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології", N307, 1996, с.65-71.
- [2] Мельник А.О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу. – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 1996. – 60 с.
- [3] Мельник А.О. Паралельна пам'ять з впорядкованим доступом на основі налаштовуваної сортувальної мережі/ А.О. Мельник, Н.М. Ліщина // Журнал «Комп'ютерні системи та компоненти». – Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, 2011.
- [4] Мельник А.О. Векторна пам'ять з впорядкованим доступом / А.О. Мельник, Н.М. Ліщина//Матеріали V міжнародної наукової конференції «Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання». – 29 вересня - 1 жовтня 2011р, Львів, 2011р.