

Висновки. Запропонований метод рівномірного завантаження сегмента мережі на кристалі, що ґрунтується на аналізі завантаженості елементів та застосуванні зміни поточного статусу елементів як «головний – підлеглий», забезпечує зменшення часу на передачу пакетів, а відтак підвищення продуктивності роботи мережі на кристалі загалом. Крім того, застосування цього методу дає можливість швидше ліквідувати «корки», що утворюються внаслідок зайнятості у цей момент часу певного елемента, що, своєю чергою, дасть змогу зменшити обсяг буферної пам'яті.

1. Dally W., Towles B. *Route packets, not wires: on-chip interconnection networks* // *Proceedings of the 38th annual Design Automation Conference*. – Las Vegas, USA, June 2001. – P. 684–689. 2. Gebali F., Elmiligi H., Watheq El-Kharashi M. *Networks-on-Chip: Theory and Practice*. – Boca Raton (USA): CRC Press/Taylor and Francis Group LLC, 2009. – 307 p. 3. Bjerregaard T., Mahadevan S. *A survey of research and practices of Network-on-chip* // *ACM Computing Surveys*. – 2006. – Vol. 38, 51. – P. 1–51. 4. Brebner G., Levi D. *Networking on Chip with Platform FPGAs* // *Proceedings on Field-Programmable Technology (FPT) IEEE International Conference*. – December 2003. – P. 13–20. 5. Janarthanan A. *Networks-on-Chip based high performance communication architectures for FPGA's*. – University of Cincinnati. Division of Research and Advanced Studies. – Cincinnati, USA, 2008. – 143 p. 6. http://www.lessons-tva.info/edu/telecom-loc/m1t4_3loc.html 7. Vincenzo R., Atienza D. *A Reconfigurable Network-on-Chip Architecture for Optimal Multi Processor SoC Communication* // *16th IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (October 2008)*. – Rhodes, Greece. – P. 321–326.

УДК 004.31, 004.056.55, 003.26

Аль Равашдех Д.Х.

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронно-обчислювальних машин

РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ПАМ'ЯТІ З ВПОРЯДКОВАНИМ ДОСТУПОМ

Оль Равашдех Д.Х., 2010

Отримано аналітичні вирази для розрахунку характеристик пам'яті з впорядкованим доступом, а саме: затрат обладнання, швидкодії та ефективності. На основі цих виразів проведено розрахунки та побудовано графіки залежності затрат обладнання та ефективності від ємності за різних розрядностей даних та за різних кількостей каналів поступлення даних. Проведено порівняльний аналіз розроблених типів ПВД. Визначено області доцільного використання різних типів пам'яті.

The analytical expressions for calculation of an ordered access memory characteristics, such as equipment volume, performance and efficiency, are received. Based on these expressions, the calculations are performed and charts which show dependence of equipment volume and efficiency from capacity at various data length and at various number of input channels are built. The comparative analysis of developed types of ordered access memory is performed. The areas of reasonable use of different types of memory are defined.

Вступ. Пам'ять необхідна для зберігання інформації (команд та даних) та забезпечення обміну нею з пристроями комп'ютера [1–4]. Як показано в [5], таким критеріям ефективності пам'яті, як багатопортовість, можливість одночасного безконфліктного доступу до даних з багатьох портів, забезпечення одночасного запису даних, які поступають на її входи, та зчитування на виходи раніше записаних даних, забезпечення можливості виконання операцій реорганізації

масивів та впорядкування даних в масивах, однократність звернення, виключення потреби звернень до комірок пам'яті, виключення потреби зберігання інформації про місце знаходження даного в пам'яті, відповідає пам'ять з впорядкованим доступом (ПВД). У цій пам'яті забезпечується доступ до даних у програмно встановленому порядку, тобто мітка, яка поступає в пам'ять разом з даним, або під час його зчитування, вказує місце даного у вихідному масиві [6, 7].

Одним з підходів до побудови ПВД є її реалізація на основі сортувальних мереж. У [8] запропоновано основні типи структур пам'яті з впорядкованим доступом на основі сортувальних мереж. Розроблено алгоритми впорядкування векторних та матричних даних за їх мітками. Розглянуто структури різних типів пам'яті з впорядкованим доступом для варіантів запису та зчитування даних двох паралельно поданих даних за різними схемами їх поступлення: $1 \times 2 \rightarrow 1 \times 2$, $2 \times 1 \rightarrow 1 \times 2$, $1 \times 2 \rightarrow 2 \times 1$ та $2 \times 1 \rightarrow 2 \times 1$ та більш складні схеми ПВД з впорядкуванням даних в рядку, стовпці та матриці. Постає питання розрахунку характеристик цієї пам'яті, а саме – затрат обладнання, швидкодії та ефективності, що й пропонується у цій роботі.

Затрати обладнання. До елементів, на яких будується ПВД, належать: двохходовий мультиплексор, тригер, схема порівняння. Для оцінки затрат обладнання на ці елементи скористаємося розрахунками, виконаними в [9], де затрати обладнання на однорозрядний двохходовий мультиплексор оцінено як 3 вентиля, тригер – 7 вентилів, однорозрядна схема порівняння – 3 вентиля. Враховуючи ці оцінки, зроблено розрахунок затрат обладнання на різні типи ПВД на основі сортувальної мережі, який зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок затрат обладнання ПВД

Тип ПВД	Формула розрахунку на рівні складових ПВД	Формула розрахунку на рівні функціональних елементів	Формула розрахунку на рівні вентилів
ПВД типів: $1 \times L \rightarrow 1 \times N$, $1 \times L \rightarrow M \times 1$, $1 \times L \rightarrow M \times N$	$W = W_{CM} + W_{KM} + nW_{PrD}$	$W = 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)(W_{CP} + 2W_{MP}) + 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)2W_{MP} + nW_{PrD}$	$W = 12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd$
ПВД типів: $K \times 1 \rightarrow 1 \times N$, $K \times 1 \rightarrow M \times N$	$W = W_{CM} + W_{KM} + kW_{PrD} + kW_{PrM} + nW_B$	$2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)(W_{CP} + 2W_{MP}) + 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)2W_{MP} + kW_{PrD} + kW_{PrM} + nW_B$	$W = 12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7k(d + \log N) + nd$
ПВД типу $K \times L \rightarrow 1 \times N$	$W = W_{CM} + W_{KM} + lW_{PrD} + lW_{PrM} + mW_B$	$2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)(W_{CP} + 2W_{MP}) + 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)2W_{MP} + lW_{PrD} + lW_{PrM} + mW_B$	$W = 12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7l(d + \log N) + md$
ПВД типу $K \times L \rightarrow M \times N$	$W = W_{CM} + W_{KM} + lkW_{PrD} + lkW_{PrM} + mnW_B$	$2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)(W_{CP} + 2W_{MP}) + 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4)2W_{MP} + lkW_{PrD} + lkW_{PrM} + mnW_B$	$W = 12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd$

Тут $N = n$ – кількість чисел в масиві; d – розрядність даних.

Провівши аналіз виразів у табл. 1, можна зробити висновок: затрати обладнання на ПВД типу $K \times L \rightarrow M \times N$ не залежать від кількості входів та виходів, а лише від ємності ПВД та розрядності даних. На основі виразів з табл. 1 можуть бути розраховані затрати обладнання на ПВД з потрібними значеннями N та d .

Графік залежності затрат обладнання від ємності N при $d = 8$ (крива 1), 16 (крива 2) та 32 (крива 3) для ПВД на основі сортувальних мереж типу $K \times L \rightarrow M \times N$ матиме вигляд, показаний на рис. 2.

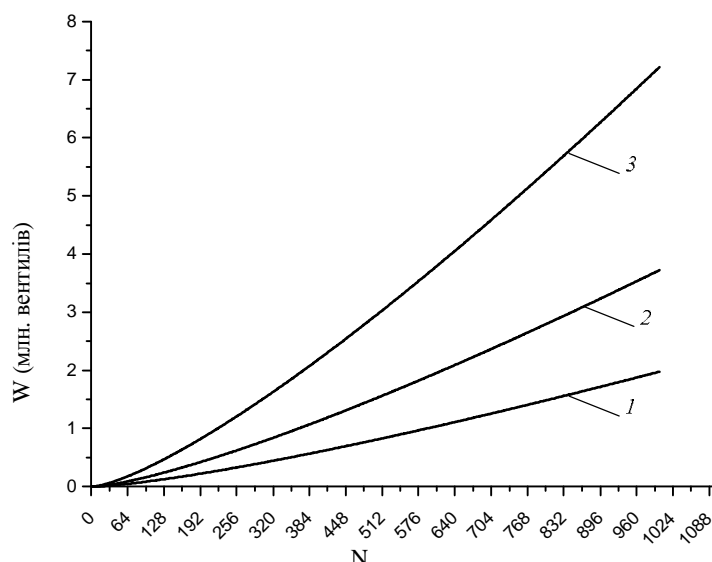


Рис. 2. Графік залежності затрат обладнання від ємності N за $d = 8$ (крива 1), 16 (крива 2) та 32 (крива 3) для ПВД на основі сортувальних мереж типу $KxL \rightarrow MxN$

Швидкодія. Для оцінки часової затримки елементів ПВД – двохходового мультиплексора, тригера, схеми порівняння – скористаємося розрахунками, виконаними в [9], де часова затримка однорозрядного двохходового мультиплексора оцінена як $2t$, де t – затримка вентиля, тригера – $1t$, однорозрядної схеми порівняння – $2t$, n -розрядної схеми порівняння – $(\log s)t$, де s – розрядність міток, що дорівнює $\log N$, тобто затримка схеми порівняння дорівнює $(\log \log N)t$. Враховуючи ці оцінки, зроблено розрахунок швидкодії різних типів ПВД на основі сортувальної мережі, який зведено в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок швидкості ПВД

Тип ПВД	Формули розрахунку часу запису та часу зчитування масиву даних на рівні складових ПВД	Формули розрахунку часу запису та часу зчитування масиву даних в кількості затримок одного вентиля
ПВД типу $1xL \rightarrow 1xN$	$T_W = t_{CM} + t_{WPr}$ $T_R = t_{RPr}$	$T_W = ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + 1$, $T_R = 1$
ПВД типу $1xL \rightarrow Mx1$	$T_W = t_{CM} + t_{WPr}$ $T_R = m t_{RPr}$	$T_W = ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + 1$, $T_R = m$
ПВД типу $1xL \rightarrow MxN$	$T_W = t_{CM} + t_{WPr}$ $T_R = (n/m) t_{RPr}$	$T_W = ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + 1$, $T_R = n/m$
ПВД типу $Kx1 \rightarrow 1xN$	$T_W = k t_{WPr}$, $T_R = t_{RPr} + t_{CM} + t_B$	$T_W = k$, $T_R = 2 + ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2$
ПВД типу $Kx1 \rightarrow MxN$	$T_W = k t_{WPr}$, $T_R = (n/m)t_B + t_{CM}$	$T_W = k$, $T_R = (n/m) + ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2$
ПВД типу $KxL \rightarrow 1xN$	$T_W = (l/k)t_{WPr}$, $T_R = t_{RPr} + t_{CM} + t_B$	$T_W = (l/k)$, $T_R = 2 + ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2$
ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$	$T_W = k t_{WPr}$, $T_R = t_{RPr} + t_{CM} + m t_B$	$T_W = k$, $T_R = ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + m + 1$

Тут $T_{CM} = (t_{СП} + t_{МП}) \log N(\log N + 1)/2$, m – розмір вектора вихідних даних; k – розмір вектора вхідних даних; t_B – затримка у вихідному вентилі; k – розмір вектора вхідних даних; t_B – затримка у вихідному вентилі; n – розмір вектора вихідних даних; m – кількість одночасно зчитуваних вихідних даних; l – розмір вектора вхідних даних; k – кількість вхідних даних, що надходять до ПВД одночасно; n – розмір вектора вихідних даних; m – кількість вихідних даних, що зчитуються з ПВД одночасно; t_B – затримка у вихідному вентилі; l – розмір вектора вхідних даних; k – кількість вхідних даних, що надходять до ПВД одночасно; n – розмір вектора вихідних даних; m – кількість вихідних даних, що зчитуються з ПВД одночасно; t_B – затримка у вихідному вентилі; k – кількість стрічок в матриці вхідних даних; m – кількість рядків в матриці вихідних даних; t_B – затримка у вихідному вентилі.

Знаючи затримку одного вентиля, з табл. 2 можна отримати показники швидкодії різних типів ПВД.

Ефективність. Поняття ефективності використання обладнання було введено в [10] для визначення внеску одиниці обладнання комп'ютерного пристрою у загальну швидкість. Цей показник є інтегральним та уможливує проводити порівняльний аналіз різних пристроїв, тому використаємо його для проведення порівняльного аналізу розроблених в роботі типів ПВД. Ефективність розраховують з виразу $1/WT$, де W та T – відповідно затрати обладнання та часова затримка. В табл. 3 наведено отримані формули розрахунку ефективності розроблених в роботі ПВД на основі сортувальних мереж.

Таблиця 3

Розрахунок ефективності ПВД

Тип ПВД	Формули розрахунку ефективності ПВД на основі СМ
ПВД типу $1xL \rightarrow 1xN$	$E_W = N/(((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + 1)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd);$ $E_R = N/(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd)$
ПВД типу $1xL \rightarrow Mx1$	$E_W = N/(((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + 1)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd);$ $E_R = 1/(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd)$
ПВД типу $1xL \rightarrow MxN$	$E_W = N/(((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + 1)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd);$ $E_R = Nm/n(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7Nd)$
ПВД типу $Kx1 \rightarrow 1xN$	$E_W = 1/(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd);$ $E_R = N/(2 + ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd)$
ПВД типу $Kx1 \rightarrow MxN$	$E_W = 1/(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd);$ $E_R = N/((n/m) + ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd)$
ПВД типу $KxL \rightarrow 1xN$	$E_W = N/(l/k)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7l(d + \log N) + Nd);$ $E_R = N/(2 + ((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7l(d + \log N) + Nd)$
ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$	$E_W = N/k(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd);$ $E_R = N/(((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + m + 1)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd)$

Для проведення порівняльного аналізу розроблених в роботі типів ПВД використано такий вираз для оцінки ефективності: $E = N/TCW$, де TC – час циклу запису/зчитування. Такий підхід дає змогу врахувати під час порівняння час проведення налаштування сортувальної мережі в ПВД на основі налаштовуваних сортувальних мереж: для ПВД на основі сортувальних мереж $TC = TW + TR$, а для ПВД на основі налаштовуваних сортувальних мереж $TC = TT + TW + TR$, де TR – час налаштування. Тоді $E = N/(TW + TR)W$ для ПВД на основі сортувальних мереж.

Підставивши в ці вирази розрахунки з табл. 3, отримаємо вирази для розрахунку ефективності ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$:

$$E = N/(TW + TR)W = N/(((\log \log N) + 2)\log N(\log N + 1)/2 + m + 1 + k)(12d 2^{\log N - 2}(\log^2 N - \log N + 4) + 7N(d + \log N) + Nd).$$

На основі цих виразів проведено розрахунки та побудовано графік залежності ефективності E від N , за $d=8$ та 16 , та за $k=m=1,2,8,16,32$ (рис. 2) для N від 0 до $2m$, де m змінюється від 1 до 16 (рис. 3).

Проведемо порівняльний аналіз розроблених типів ПВД, а також включимо до розгляду використовувану в комп'ютерах пам'ять з довільним доступом (RAM). Для цієї пам'яті вираз для розрахунку ефективності матиме такий вигляд: $E_{RAM} = 1/2(\log N + 2)(7dN + N - 1 + \log N)$. Тут прийнято, що затрати на комірку пам'яті, як і в побудованих ПВД, становлять 7 вентилів. Щоб відобразити широкий діапазон зміни ефективності, використаємо логарифмічну шкалу. Побудовані графіки залежності ефективності від об'єму пам'яті для ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$ на основі сортувальних мереж та пам'яті з довільним доступом для різних значень d та k показано на рис. 4. Тут лініями 1, 2 зображено залежність ефективності від об'єму відповідно для ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$ на основі сортувальних мереж та пам'яті з довільним доступом. З цих графіків можна визначити області доцільного використання різних типів пам'яті. Бачимо, що пам'ять типу RAM доцільно використовувати лише за малих обсягів та за послідовного опрацювання даних. За більших обсягів пам'яті ефективнішою є ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$ на основі сортувальних мереж.

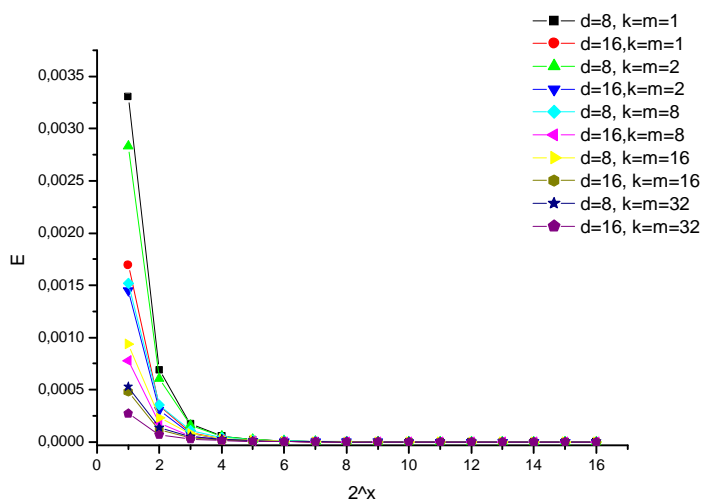


Рис. 3. Графік залежності ефективності E від N для ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$ на основі сортувальних мереж, за $d=8$ та 16 , та за $k = m=1, 2, 8, 16, 32$ для N від 0 до $2t$, де t змінюється від 1 до 16

Тут оцінки проведено для ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$ як найскладнішого та загального варіанта побудови ПВД. Аналогічно можна провести дослідження та побудувати залежності для інших типів ПВД: $1xL \rightarrow 1xN$, $1xL \rightarrow Mx1$, $1xL \rightarrow MxN$, $Kx1 \rightarrow 1xN$, $Kx1 \rightarrow MxN$, $KxL \rightarrow 1xN$.

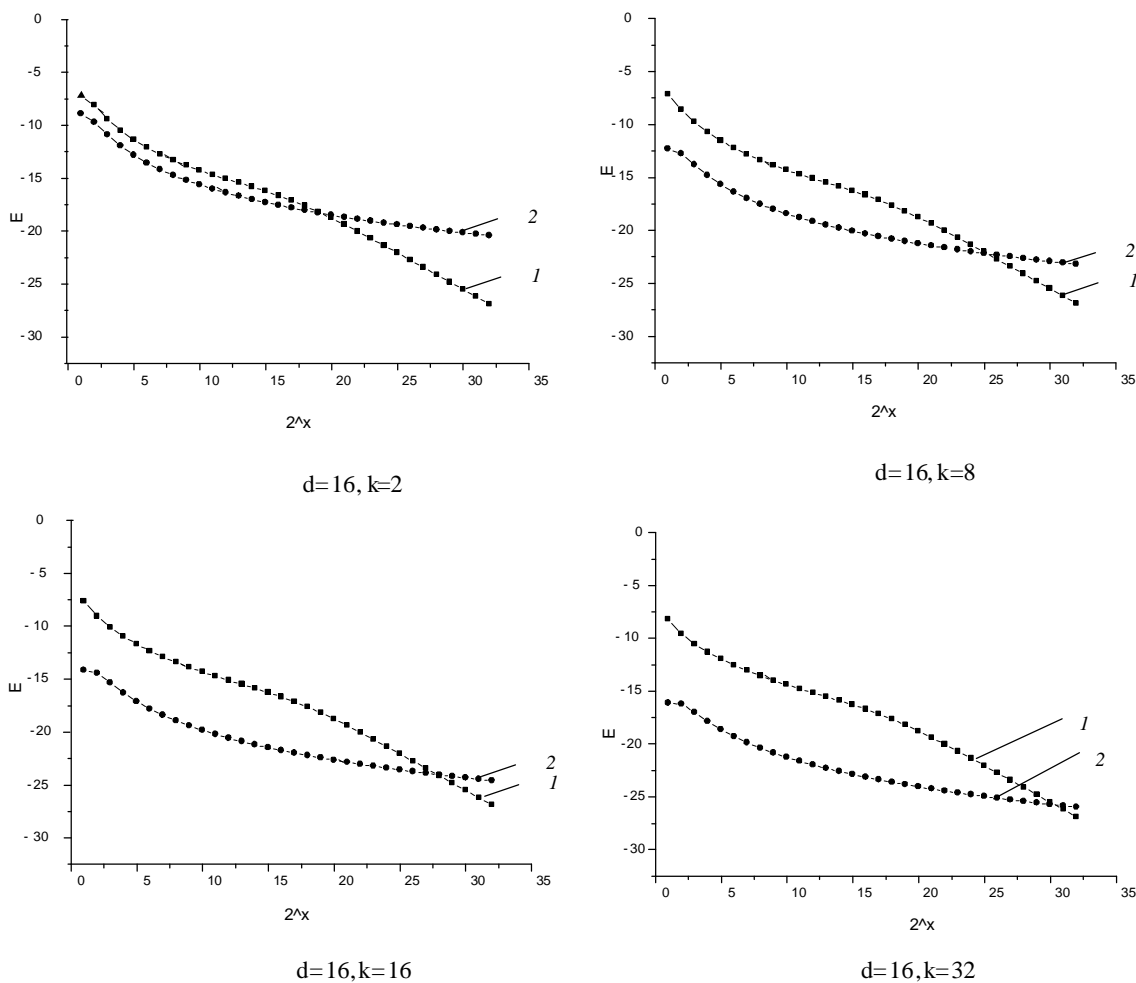


Рис. 4. Графіки залежності ефективності від обсягу пам'яті для ПВД типу $KxL \rightarrow MxN$ на основі сортувальних мереж та пам'яті з довільним доступом для різних значень d та k

Висновки. Отримано вирази розрахунку затрат обладнання на реалізацію ПВД на основі сортувальної мережі на рівні складових ПВД, на рівні функціональних елементів та на рівні вентилів, на основі яких можуть бути розраховані затрати обладнання на ПВД з потрібними значеннями N та d . Показано, що затрати обладнання на ПВД типу $K \times L \rightarrow M \times N$ не залежать від кількості входів та виходів, а лише від ємності ПВД та розрядності даних. Проведено розрахунки та побудовано графіки залежності затрат обладнання від ємності N за різних розрядностей даних d для ПВД на основі сортувальних мереж типу $K \times L \rightarrow M \times N$.

Отримано вирази розрахунку швидкодії ПВД на основі сортувальної мережі на рівні складових ПВД, на рівні функціональних елементів та на рівні затримки одного вентиля, на основі яких може бути розрахована швидкодія ПВД з потрібними значеннями N та d .

Запропоновано вираз для проведення порівняльного аналізу розроблених в роботі типів ПВД. Отримано формули розрахунку ефективності ПВД на основі сортувальної мережі. На основі цих виразів проведено розрахунки та побудовано графіки залежності ефективності E від N за різних розрядностей даних та за різних кількостей каналів поступлення даних.

Проведемо порівняльний аналіз розроблених типів ПВД. Визначено області доцільного використання різних типів пам'яті. Показано, що пам'ять типу RAM доцільно використовувати лише за малих обсягів та за послідовного опрацювання даних. За більших обсягів пам'яті ефективнішою є ПВД типу $K \times L \rightarrow M \times N$ на основі сортувальних мереж.

1. Мельник А.О. *Архітектура комп'ютера*. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
2. D. Patterson, J. Hennessy. *Computer Architecture. A Quantitative Approach*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 1996.
3. Stallings, W. *Computer Organization and Architecture, 5th ed.*, New York, NY: Macmillan Publishing Company, 2000.
4. Tannenbaum, Andrew. *Structured Computer Organization, 4th ed.*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
5. Анатолій Мельник, Аль Раваидех Д.Х., Мохаммад Аль Хабабсах. *Вимоги до пам'яті спеціалізованих процесорів // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: Наук.-техн. журн. Національного аерокосмічного університету ім М.Є. Жуковського «ХАІ»*. – Харків, 2009. – № 6 (40). – С. 213–216.
6. Мельник А.О., Аль Раваидех Д.Х. *Порівняльний аналіз типів пам'яті комп'ютера // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2007. – № 603: *Комп'ютерні системи та мережі*. – С. 81–86.
7. Мельник А.О. *Принципи побудови буферної сортувальної пам'яті // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 1996. – № 307: *Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології*. – С. 65–71.
8. Анатолій Мельник, Аль Раваидех Д.Х. *Структурна організація пам'яті з впорядкованим доступом на основі сортувальних мереж // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: Наук.-техн. журн. Національного аерокосмічного університету ім М.Є. Жуковського «ХАІ»*. – Харків, 2010. – № 6 (47). – С. 15–19.
9. Мельник А.А. *Проектирование поточного процессора БПФ на специализированных БИС / Препринт № 35-89, ИППММ АН УССР*. – Львов, 1990, – 44 с.
10. Мельник А.О. *Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу*. – Львів: Вид-во Держ. ун-ту "Львівська політехніка", 1996. – 54 с.