

О. В. Невдачина, О. М. Ткаленко, А. П. Полоневич, А. С. Артющик
ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМІ АКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЧЕРГОЮ

Досліджено роботу системи активного керування чергою пакетів у мережах TCP/IP із нечітким регулятором при випадковій зміні навантаження трафіку та доведено доцільність застосування нечіткого регулятора в маршрутизаторах для боротьби з перевантаженнями в мережах TCP/IP.

Ключові слова: нечіткий регулятор; TCP/IP; активне керування чергою; черга пакетів; MATLAB.

O. V. Nevdachyna, O. N. Tkalenko, A. P. Polonevych, A. S. Artyushchik
APPLICATION OF FUZZY REGULATOR IN ACTIVE QUEUE MANAGEMENT

The paper studied the work of an active queue management packets in TCP/IP networks with fuzzy controller for random traffic load changes. The conclusion of the appropriateness of a fuzzy controller in routers to fight with congestion in networks TCP/IP.

Keywords: fuzzy control; TCP/IP; an active queue management; packet queue; MATLAB.

УДК 656.8.001

Л. О. ЯЩУК, доктор техн. наук, професор,
 заслужений діяч науки і техніки України,
 Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО БАГАТОЕТАПНОГО СОРТУВАННЯ ПИСЬМОВОЇ КОРЕСПОНДЕНЦІЇ

Висвітлено основні проблеми автоматизованого багатоетапного сортування письмової кореспонденції (ПК), зокрема пов'язані з вибором схеми автоматизованого багатоетапного сортування ПК; мінімізацією вартості автоматизованого багатоетапного сортування ПК; автоматизацією складання програм сортування (ПС) ПК; скороченням часу проходження листів по трасі транспортно-розподільної системи (ТРС) листосортувальної машини (ЛСМ); автоматизацією пакування відсортованих груп ПК; оптимізацією співвідношення автоматичного і ручного розпізнавання адресної інформації (АІ).

Ключові слова: багатоетапне сортування ПК; низхідне сортування ПК; висхідне сортування ПК; ПС ПК; напрями сортування (НС) ПК; мережа поштового зв'язку (МПЗ); АІ; поштові індекси (ПІ) об'єктів поштового зв'язку (ОПЗ); послідовні номери (ПН) ОПЗ; ЛСМ; регіональний автоматизований сортувальний центр (РАСЦ).

Вступ

Сортування ПК — ключова і найбільш трудомістка операція пересилання ПК між ОПЗ.

Завдання сортування ПК полягає в поділі вхідних сукупностей ПК, що надходять до сортувальних ОПЗ, на вихідні сукупності ПК, адресовані за НС, зазначеними в ПІ на листах, що мають бути відправлені до відповідних ОПЗ.

Основна складність сортування ПК зумовлюється тим, що загальна кількість m НС звичайно суттєво перевищує кількість n накопичувачів ЛСМ, унаслідок чого всі або деякі з листів, адресованих за зазначеними НС, можуть проходити кілька етапів сортування.

Кількість m НС ПК, кількість n накопичувачів ЛСМ та кількість r етапів сортування ПК пов'язані очевидною залежністю

$$m \leq n^r.$$

Оскільки при реальних значеннях $n = 100$ і $r = 3$ значення $m = 1\,000\,000$, що достатньо для сортування ПК до доставних дільниць усіх відділень зв'язку України, то розглядати автоматизоване багатоетапне сортування ПК для $r > 3$ немає сенсу.

Хоча автоматизація сортування ПК за допомогою ЛСМ налічує вже понад півстоліття, низка проблем такого сортування ще й досі не знайшла свого остаточного розв'язання. Це переконливо свідчить про те, що конструктори сучасних ЛСМ не бачать шляхів їх вирішення.

До таких проблем, зокрема, належать:

- вибір схеми автоматизованого багатоетапного сортування ПК;
- мінімізація вартості автоматизованого багатоетапного сортування ПК;
- автоматизація складання ПС ПК;
- скорочення часу проходження листів по трасі ТРС ЛСМ;
- автоматизація пакування відсортованих груп ПК;
- оптимізація співвідношення автоматичного і ручного розпізнавання АІ.

Мета статті — розглянути зазначені проблеми та можливі шляхи їх розв'язання.

ПРОБЛЕМА ВИБОРУ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО БАГАТОЕТАПНОГО СОРТУВАННЯ ПК

За своєю сутністю проблема вибору схеми автоматизованого багатоетапного сортування ПК полягає в обґрунтуванні вибору однієї з двох можливих: загальновідомої традиційної схеми автоматизованого багатоетапного *низхідного сортування ПК* або запропонованої автором інноваційної схеми автоматизованого багатоетапного *висхідного сортування ПК*.

Розв'язання цієї проблеми має принципове значення, оскільки, як впливає з подальшого, тим самим автоматично розв'язуються деякі з інших проблем багатоетапного сортування ПК.

Сортування ПК тісно пов'язане зі структурою ієрархічної МПЗ.

Структурну схему ієрархічної МПЗ, яка має вигляд піраміди, вершиною якої є ОПЗ найвищого рівня ієрархії, а основою — ОПЗ найнижчого рівня ієрархії, наведено на рис. 1.

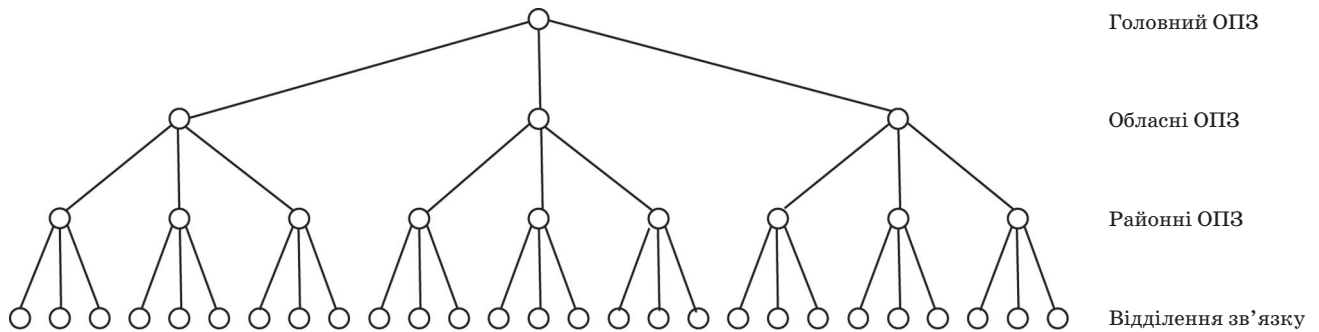


Рис. 1. Структурна схема ієрархічної МПЗ

Сортування ПК відбувається в Головному ОПЗ за допомогою ЛСМ. Від ОПЗ нижчих рівнів ієрархії до Головного ОПЗ надходить несортована ПК, а від Головного ОПЗ до ОПЗ нижчих рівнів ієрархії — відсортована ПК.

Принцип автоматизованого трьохетапного *низхідного сортування ПК* полягає ось у чому.

Згідно з рис. 1 за наявності n накопичувачів ЛСМ на 1-му етапі сортування ПК, обсяг якої становить V , поділяється на n груп:

$$V = v_1 + v_2 + \dots + v_n;$$

на кожному з n підетапів 2-го етапу сортування кожна з n груп ПК, сформованих на 1-му етапі сортування, у свою чергу, поділяється на n підгруп, унаслідок чого утворюється n^2 підгруп:

$$v_1 = v_{11} + v_{12} + \dots + v_{1n}; v_2 = v_{21} + v_{22} + \dots + v_{2n}; \dots; v_n = v_{n1} + v_{n2} + \dots + v_{nn};$$

на кожному з n підетапів 3-го етапу сортування кожна з n^2 підгруп ПК, сформованих на 2-му етапі сортування, у свою чергу, знову поділяється на n підгруп, унаслідок чого утворюється n^3 підгруп:

$$v_{11} = v_{111} + v_{112} + \dots + v_{11n}; v_{12} = v_{121} + v_{122} + \dots + v_{12n}; \dots; v_{1n} = v_{1n1} + v_{1n2} + \dots + v_{1nn};$$

$$v_{21} = v_{211} + v_{212} + \dots + v_{21n}; v_{22} = v_{221} + v_{222} + \dots + v_{22n}; \dots; v_{2n} = v_{2n1} + v_{2n2} + \dots + v_{2nn};$$

.....

$$v_{n1} = v_{n11} + v_{n12} + \dots + v_{n1n}; v_{n2} = v_{n21} + v_{n22} + \dots + v_{n2n}; \dots; v_{nn} = v_{nn1} + v_{nn2} + \dots + v_{nnn}.$$

Оскільки групи ПК, сформовані в накопичувачах ЛСМ на 1-му етапі сортування (n груп) і підетапах 2-го етапу сортування (n^2 підгруп), використовуються для почергового сортування ПК відповідно на підетапах 2-го і 3-го етапів сортування, а підгрупи ПК, сформовані в накопичувачах ЛСМ на підетапах 3-го етапу сортування (n^3 підгруп), використовуються для формування упаковок ПК, їх адресування і відправлення за відповідними НС, то для забезпечення можливості виконання низхідного сортування ПК необхідно застосувати $1 + n + n^2$ ПС (при $n = 100$ кількість таких ПС становитиме 10 101) та $n + n^2 + n^3$ робочих комірок для тимчасового зберігання сортувальних груп і підгруп ПК або упаковок сортувальних груп ПК (при $n = 100$ кількість таких робочих комірок досягне 1 010 100, що робить трьохетапне низхідне сортування ПК практично неможливим).

Приклад трьохетапного низхідного сортування за наявності 10 накопичувачів ЛСМ наведено в табл. 1. Цифри НС, за якими здійснюються етапи сортування, підкреслено.

Трьохетапне *висхідне сортування ПК* відрізняється від трьохетапного низхідного сортування не стільки порядком розташування цифр ПЗ, за якими воно здійснюється, скільки тим, що в ньому відсутні підетапи 2-го і 3-го етапів сортування, а групи ПК, сформовані в накопичувачах ЛСМ на попередніх етапах сортування, упорядковано (без перемішування) об'єднуються в одну групу, яка передається до наступного етапу сортування.

Таблиця 1

Приклад трьохетапного низхідного сортування за наявності 10 накопичувачів ЛСМ

Початкова послідовність напрямів сортування										
625, 278, 309, 016, 540, 192, 278, 778, 913, 114, 007, 596, 250, 002, 118, 257, 303, 592, 777, 999										
Етап сортування	Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ									
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
1	016 007 002	192 114 118	278 278 250 257	309 303		540 596 592	625	778 777		913 999
Послідовність напрямів сортування після 1-го етапу сортування										
016, 007, 002, 192, 114, 118, 278, 278, 250, 257, 309, 303, 540, 596, 592, 625, 778, 777, 913, 999										
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ										
2.0	007 002	016								
2.1		114 118								192
2.2						250 257		278 278		
2.3	309 303									
2.5					540					596 592
2.6			625							
2.7								778 777		
2.9		913								999
Послідовність напрямів сортування після 2-го етапу сортування										
007, 002, 016, 114, 118, 192, 250, 257, 278, 278, 309, 303, 540, 596, 592, 625, 778, 777, 913, 999										
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ										
3.0.0			002					007		
3.0.1							016			
3.1.1					114				118	
3.1.9			192							
3.2.5	250							257		
3.2.7									278 278	
3.3.0				303						309
3.5.4	540									
3.5.9			592					596		
3.6.2						625				
3.7.7								777	778	
3.9.1				913						
3.9.9										999
Послідовність напрямів сортування після 3-го етапу сортування										
002, 007, 016, 114, 118, 192, 250, 257, 278, 278, 303, 309, 540, 592, 596, 625, 777, 778, 913, 999										

Якщо a_i, b_j, c_k ($i, j, k = 0, 1, \dots, n - 1$) — цифри ПІ чергового листа, а M — маскована цифра, яка не розглядається на поточному етапі сортування, то послідовність етапів висхідного сортування набирає такого вигляду:

- після 1-го етапу сортування (за значенням цифр c_k)
 $V = MM\{c_0 \leq c_1 \leq \dots \leq c_n\}$;
- після 2-го етапу сортування (за значенням цифр b_j)
 $V = M\{b_0 \leq b_1 \leq \dots \leq b_n\}M$;
- після 3-го етапу сортування (за значенням цифр a_i)
 $V = \{a_0 \leq a_1 \leq \dots \leq a_n\}MM$.

Оскільки групи ПК, сформовані в накопичувачах ЛСМ на 1-му і 2-му етапах сортування ПК (по n груп), безпосередньо використовуються для сортування ПК відповідно на 2-му і 3-му етапах сортування, то потреби в їх тимчасовому зберіганні не виникає, а оскільки групи ПК, сформовані в накопичувачах ЛСМ на 3-му етапі сортування (n груп), використовуються для формування упаковок ПК, їх адресування і відправлення за відповідними НС, то для забезпечення можливості виконання висхідного сортування ПК необхідно застосувати по одній ПС на кожному з трьох етапів сортування, усього $1 + 1 + 1 = 3$ ПС незалежно від значення n , і n робочих комірок для тимчасового зберігання сортувальних груп або упаковок сортувальних груп ПК після 3-го етапу сортування (для порівняння показників низхідного і висхідного сортування взято $n = 100$).

Приклад трьохетапного висхідного сортування ПК наведено в табл. 2. Початкові дані збігаються з наведеними в табл. 1.

Таблиця 2

Приклад трьохетапного висхідного сортування ПК

Початкова послідовність напрямів сортування										
625, 278, 309, 016, 540, 192, 278, 778, 913, 114, 007, 596, 250, 002, 118, 257, 303, 592, 777, 999										
Етап сортування	Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ									
	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
1	540 250		192 002 592	913 303	114	625	016 596	007 257 777	278 278 778 118	309 999
Послідовність напрямів сортування після 1-го етапу сортування										
540, 250, 192, 002, 592, 913, 303, 114, 625, 016, 596, 007, 257, 777, 278, 278, 778, 118, 309, 999										
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ										
2	002 303 007 309	913 114 016 118	625		540	250 257		777 278 278 778		192 592 596 999
Послідовність напрямів сортування після 2-го етапу сортування										
002, 303, 007, 309, 913, 114, 016, 118, 625, 540, 250, 257, 777, 278, 278, 778, 192, 592, 596, 999										
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ										
3	002 007 016	114 118 192	250 257 278 278	303 309		540 592 596	625	777 778		913 999
Послідовність напрямів сортування після 3-го етапу сортування										
002, 007, 016, 114, 118, 192, 250, 257, 278, 278, 303, 309, 540, 592, 596, 625, 777, 778, 913, 999										

Порівняльну характеристику основних техніко-економічних показників трьохетапного низхідного і висхідного сортування ПК при $n = 100$ наведено в табл. 3.

Як випливає з табл. 3, за всіма техніко-економічними показниками інноваційна стратегія висхідного багатоетапного сортування ПК має вражаючі переваги перед традиційною стратегією низхідного багатоетапного сортування ПК, а тому перехід від низхідного до висхідного багатоетапного сортування ПК — це, безумовно, лише питання часу.

Таблиця 3

Основні техніко-економічні показники трьохетапного низхідного і висхідного сортування ПК при $n = 100$

Показник	Низхідне сортування	Висхідне сортування
Порядок сортування листів	Низхідний із <i>почерговим</i> сортуванням листів, спрямованих у кожний із накопичувачів ЛСМ на попередніх етапах сортування	Висхідний з <i>об'єднаним</i> сортуванням листів, спрямованих в усі накопичувачі ЛСМ на попередньому етапі сортування
Кількість ПС за етапами сортування	$1 + n + n^2 = 10\ 101$	$1 + 1 + 1 = 3$
Загальна кількість розвантажень накопичувачів ЛСМ за етапами сортування	$n + n^2 + n^3 = 1\ 010\ 100$	$n + n + n = 300$
Витрати ручної праці на розвантажування накопичувачів ЛСМ	Розвантаження 100 накопичувачів після виконання кожної з 10 101 ПС	Розвантаження 100 накопичувачів після виконання кожної з 3 ПС
Витрати обладнання для проміжного зберігання відсортованих груп ПК	$n + n^2 + n^3 = 1\ 010\ 100$ робочих комірок	$n = 100$ робочих комірок
Формування відправок ПК до одного ОПЗ	Із $n = 100$ робочих комірок	З однієї робочої комірки
Кількість НС за етапами сортування	$n = 100, n^2 = 10\ 000, n^3 = 1\ 000\ 000$	$n = 100, n = 100, n = 100$
Можливість об'єднання відсортованих на попередніх етапах груп ПК перед наступним етапом сортування	Відсутня	Існує
Кількість зупинок ЛСМ для розвантаження накопичувачів у процесі сортування	Після кожного етапу і кожного підетапу сортування, усього $1 + n + n^2 = 10\ 101$	Після кожного етапу сортування, усього $1 + 1 + 1 = 3$
Сумарний час розвантажування накопичувачів ЛСМ за умови, що час розвантаження одного накопичувача становить 1 с	$n + n^2 + n^3 = 1\ 010\ 100$ с = 11,69 діб	$n + n + n = 300$ с = 5 хв
Можливість автоматизації пакування відсортованої ПК	Відсутня	Існує

ПРОБЛЕМА МІНІМІЗАЦІЇ ВАРТОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО БАГАТОЕТАПНОГО СОРТУВАННЯ ПК

При визначенні вартості автоматизованого багатоетапного сортування ПК (листів) у РАСЦ мають ураховуватися капітальні витрати (витрати на будівництво РАСЦ, придбання ЛСМ, їх установлення, налагоджування, навчання персоналу, стажування персоналу на діючих, як правило, зарубіжних РАСЦ тощо) та експлуатаційні витрати (амортизаційні відрахування або обслуговування банківських кредитів, закупівля запасних частин і витратних матеріалів, заробітна плата інженерно-технічного, виробничого, допоміжного та адміністративно-управлінського персоналу й охорони, витрати на утримання будівель, електроенергію, освітлення, опалення, інші комунальні послуги тощо).

Зазначені витрати, усереднені за певний заздалегідь визначений проміжок часу (година, зміна, доба, тиждень, місяць, квартал, рік, увесь строк експлуатації РАСЦ) та поділені на сумарний обсяг ПК (листів), обробленої за цей проміжок часу, визначають одну з основних характеристик автоматизованого сортування ПК у РАСЦ — вартість $S_{a,c}$ автоматизованого сортування одного листа.

Ураховуючи, що обсяг W сортування ПК (листів), обсяг V навантаження ПК (листів), що надходить на автоматизоване сортування, і середня кількість r сортувань одного листа пов'язані очевидним співвідношенням

$$W = rV,$$

вартість $S_{a,c}$ автоматизованого сортування ПК

$$S_{a,c} = S_{л}W = rS_{л}V.$$

З останнього виразу випливає, що коли мінімізація обсягу $W = rV$ автоматизованого сортування ПК зводиться до мінімізації кількості сортувань одного листа, тобто кількості r етапів сортування, то мінімізація вартості автоматизованого сортування ПК зводиться до мінімізації значення добутку $rS_{л}$. Про те, наскільки різними виявляються результати такої мінімізації, переконливо свідчить те, що при мінімальному значенні $r = 1$ (одноетапне сортування), тобто при мінімальному обсязі сортування ПК $W = V$, вартість автоматизованого сортування ПК набуває, як правило, свого максимального значення внаслідок надмірного зростання вартості ЛСМ.

Беручи до уваги, що сучасні ЛСМ мають модульну структуру, за якої кількість накопичувачів ЛСМ може змінюватися в широких межах — від кількох десятків до кількох сотень, вартість ЛСМ можна подати у вигляді двох складових:

$$S_{ЛСМ} = S_{пост} + S_{зм} = S_{пост} + nS_{н},$$

де $S_{\text{пост}}$ — постійна складова вартості $S_{\text{ЛСМ}}$, яка не залежить від кількості накопичувачів ЛСМ і визначається вартістю систем управління, розпізнавання, відеокодування, контролю, знепилювання, розбирання, лицювання, штемпелювання, живлення, захисту доходів оператора тощо;

$S_{\text{зм}}$ — змінна складова вартості $S_{\text{ЛСМ}}$, пропорційна до кількості n накопичувачів, яка визначається вартістю власне накопичувачів ЛСМ, вартістю ТРС ЛСМ тощо;

$S_{\text{н}}$ — складова вартості $S_{\text{ЛСМ}}$, яка визначається вартістю одного накопичувача ЛСМ (вартістю власне одного накопичувача та вартістю ділянки ТРС ЛСМ, віднесеної до одного накопичувача ЛСМ).

Виходячи з цього,

$$S_{\text{а.с}} = rVS_{\text{ЛСМ}} = rV(S_{\text{пост}} + nS_{\text{н}}).$$

Наголосимо, що кількість n накопичувачів ЛСМ, у свою чергу, залежить від кількості r етапів сортування.

Як уже зазначалося, кількість m напрямів сортування, кількість n накопичувачів ЛСМ і кількість r етапів сортування пов'язані залежністю

$$m = n^r, \text{ або } n = \sqrt[r]{m}, \text{ звідки } S_{\text{а.с}} = rV(S_{\text{пост}} + \sqrt[r]{m} S_{\text{н}}).$$

Залежність $S_{\text{а.с}}$ від r виявляється у вигляді множника r і доданка $\sqrt[r]{m} S_{\text{н}}$, причому при зростанні значення r значення $\sqrt[r]{m} S_{\text{н}}$ зменшується.

Оскільки V є заданою величиною, то мінімум вартості автоматизованого сортування ПК

$$S_{\text{а.с min}} = \min r(S_{\text{пост}} + \sqrt[r]{m} S_{\text{н}}),$$

або при $r = 1, 2, 3$,

$$S_{\text{а.с min}} = \min \left((S_{\text{пост}} + m S_{\text{н}}); 2(S_{\text{пост}} + \sqrt{m} S_{\text{н}}); 3(S_{\text{пост}} + \sqrt[3]{m} S_{\text{н}}) \right).$$

Слід підкреслити, що в останньому виразі мінімум вартості автоматизованого сортування ПК досягається не при якомусь конкретному значенні m , а в певному діапазоні цих значень.

Так, існують діапазони:

$1 < D_1 \leq m_1$, де мінімум вартості $S_{\text{а.с}}$ досягається при $r = 1$;

$m_1 < D_2 \leq m_2$, де мінімум вартості $S_{\text{а.с}}$ досягається при $r = 2$;

$m_2 < D_3 \leq m_3$, де мінімум вартості $S_{\text{а.с}}$ досягається при $r = 3$.

Невідомими змінними в цих нерівностях виступають граничні значення m_1 між діапазонами D_1 і D_2 ; m_2 між діапазонами D_2 і D_3 ; m_3 між діапазонами D_3 і D_4 . Хоча діапазон D_4 не розглядається, значення m_3 дозволяє встановити верхню межу діапазону D_3 .

Граничні значення m_1, m_2, m_3 можна знайти, розв'язавши рівняння

$$S_{\text{пост}} + m_1 S_{\text{н}} = 2(S_{\text{пост}} + \sqrt{m_1} S_{\text{н}}), \text{ або } m_1 - 2\sqrt{m_1} = S_{\text{пост}}/S_{\text{н}} = C;$$

$$2(S_{\text{пост}} + \sqrt{m_2} S_{\text{н}}) = 3(S_{\text{пост}} + \sqrt[3]{m_2} S_{\text{н}}), \text{ або } 2\sqrt{m_2} - 3\sqrt[3]{m_2} = S_{\text{пост}}/S_{\text{н}} = C;$$

$$3(S_{\text{пост}} + \sqrt[3]{m_3} S_{\text{н}}) = 4(S_{\text{пост}} + \sqrt[4]{m_3} S_{\text{н}}), \text{ або } 3\sqrt[3]{m_3} - 4\sqrt[4]{m_3} = S_{\text{пост}}/S_{\text{н}} = C.$$

Як випливає з останніх виразів, значення m_1, m_2, m_3 залежать не власне від значень $S_{\text{пост}}$ і $S_{\text{н}}$, а від значення їх відношення $S_{\text{пост}}/S_{\text{н}} = C$, котре можна розглядати як константу ЛСМ.

Зручність переходу від $S_{\text{пост}}$ і $S_{\text{н}}$ до $S_{\text{пост}}/S_{\text{н}} = C$ полягає в тому, що складові вартості сортування одного листа можуть бути замінені складовими вартості сортування будь-якої кількості листів або складовими вартості ЛСМ. Важливо, що при цьому достатньо знати лише відношення вартостей $S_{\text{пост}}$ і $S_{\text{н}}$, а не самі ці значення.

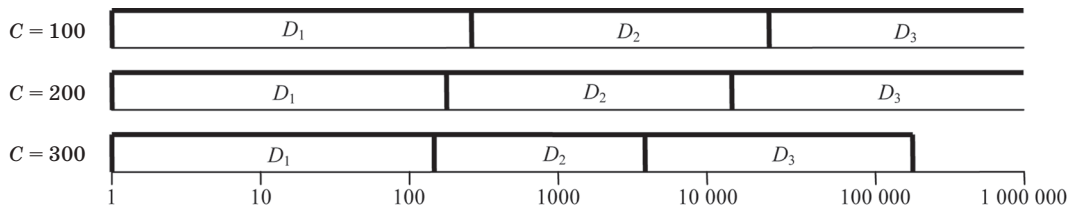
Діапазони D_1, D_2, D_3 для трьох значень C — малого ($C = 100$), середнього ($C = 200$) і великого ($C = 300$) — наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Діапазони значень m при $C_1 = 100, C_2 = 200, C_3 = 300$

Значення C	Діапазони значень m		
	D_1	D_2	D_3
100	1 – 122	122 – 5959	5959 – 252 800
200	1 – 230	230 – 19 750	19 750 – 1 436 000
300	1 – 337	337 – 40 630	40 630 – 4 094 000

Графічне зображення діапазонів значень m при $C_1 = 100, C_2 = 200, C_3 = 300$, що відповідають значенням, поданим у табл. 4, наведено на рис. 2. Для зручності застосовано логарифмічний масштаб.

Рис. 2. Діапазони значень m при $C_1 = 100$, $C_2 = 200$, $C_3 = 300$

Як випливає з табл. 4 і рис. 2, зі зростанням значення C діапазони значень m , що відповідають значенням $r = 1, 2, 3$, суттєво розширюються.

ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ СКЛАДАННЯ ПС ПК

ПІ містить інформацію про ОПЗ та місця їх розташування. Наприклад, ПІ 12345 означає: 12 — Житомирська область, 3 — Черняхівський район, 45 — відділення зв'язку с. Троковичі.

Оскільки сортування ПК здійснюється до всіх (близько 13 000) ОПЗ України, доцільно поставити у відповідність їх ПІ натуральні числа (послідовні номери (ПН)) 1, 2, ..., 13 000, створити таблицю переходу від ПІ до ПН і замінити сортування до ОПЗ за ПІ сортуванням до цих ОПЗ за ПН.

Зазначимо, що хоча як ПН можна розглядати й самі ПІ, кількість можливих НС, що відповідають можливим ПІ (в Україні за п'ятицифровою десятковою індексацією теоретично може існувати 100 000 ПІ — від 00 000 до 99 999), суттєво перевищує кількість існуючих ОПЗ, унаслідок чого кількість накопичувачів ЛСМ, потрібних для сортування листів за зазначеними на них ПІ (100 000), суттєво перевищуватиме кількість таких накопичувачів, потрібних для сортування цих листів за ПН (13 000).

Справді, оскільки кількість m напрямів сортування ПК, кількість n накопичувачів ЛСМ та кількість r етапів сортування ПК (з урахуванням того, що n є цілим числом) пов'язані залежністю

$$n = \lceil \sqrt[r]{m} \rceil,$$

де $\lceil \sqrt[r]{m} \rceil$ — значення $\sqrt[r]{m}$, округлене до найближчого більшого цілого числа.

При сортуванні за 100 000 ПІ значення n становитиме:

- при $r = 2$, $n = \lceil \sqrt{100000} \rceil = 317$;
- при $r = 3$, $n = \lceil \sqrt[3]{100000} \rceil = 47$,

тоді як при сортуванні за 13 000 ПН значення n становитиме:

- при $r = 2$, $n = \lceil \sqrt{13000} \rceil = 115$;
- при $r = 3$, $n = \lceil \sqrt[3]{13000} \rceil = 24$.

Таким чином, сортування за ПН порівняно із сортуванням за ПІ, як при двохетапному, так і при трьохетапному сортуванні ПК, забезпечує суттєве зменшення кількості накопичувачів ЛСМ із відповідним зменшенням вартості ЛСМ, виробничих площ, потрібних для розміщення цих накопичувачів, та виробничого персоналу для їх обслуговування.

Однією з важливих задач багатоетапного сортування ПК виступає задача визначення номерів накопичувачів ЛСМ, в які мають спрямовуватися листи на різних етапах сортування, тобто складання ПС. Існує широко розповсюджена думка, що через астрономічну кількість можливих варіантів поділу номерів накопичувачів за ПН або за їх частинами розв'язання задачі, з одного боку, є вельми складним, трудомістким і одноманітним заняттям, перевірити результат якого досить проблематично, а з другого боку — що зазначена праця під силу лише програмістам високої кваліфікації, які мають досвід подібної праці (наприклад, складання таблиць ручного сортування ПК), і тому таке розв'язання не підлягає автоматизації.

Насправді це зовсім не так.

Існує можливість автоматизованого складання ПС ПК, яка ґрунтується на алгебраїчній інтерпретації ПН, за якої вони розбиваються на r частин, кожна з яких *безпосередньо* зазначає номер накопичувача ЛСМ, в який має спрямовуватися лист на кожному з r етапів багатоетапного сортування ПК.

Для здійснення такого безпосереднього зазначення номерів накопичувачів ЛСМ необхідно перейти від подання ПН N_{10} у десятковій системі числення до його подання N_n у позиційній системі числення з основою n , що дорівнює кількості накопичувачів ЛСМ. При цьому цифри числа N_n автоматично визначають номери накопичувачів ЛСМ на кожному з r етапів сортування ПК.

Нагадаємо, що запис цілого числа $N_{10} < n^r$ у позиційній системі числення з основою n має вигляд

$$N = a_1 n^{r-1} + a_2 n^{r-2} + \dots + a_r,$$

де r — максимальний показник степеня числа n , для якого виконується нерівність $N_{10} < n^r$;
 a_1, a_2, \dots, a_r — цифри числа N_n , які набувають значень $0, 1, \dots, n-1$.

Для спрощення позначень цифр числа в позиційній системі числення з основою n будемо брати ці цифри у круглі дужки, наприклад, ПН 12 345₁₀ при $n = 115$ запишеться як (107)(040)₁₁₅, а при $n = 24$ — як (21)(10)(09)₂₄, оскільки $12\ 345 = 107 \cdot 115 + 40 = 21 \cdot 24^2 + 10 \cdot 24 + 9$.

Згідно з наведеними записами лист із ПН 12 345 при $n = 115$ спрямовується на 1-му та 2-му етапах низхідного сортування відповідно до накопичувачів (107) і (040), а на 1-му та 2-му етапах висхідного сортування — відповідно до накопичувачів (040) і (107).

Зазначений лист із ПН 12 345 при $n = 24$ спрямовується на 1-му, 2-му та 3-му етапах низхідного сортування відповідно до накопичувачів (21), (10) і (09), а на 1-му, 2-му та 3-му етапах висхідного сортування — відповідно до накопичувачів (09), (10) і (21).

Принципи автоматизованого складання ПС двохетапного низхідного і висхідного сортування ПК при $n = 125$, $m = 125^2 = 15\ 625$ і трьохетапного низхідного і висхідного сортування ПК при $n = 25$, $m = 25^3 = 15\ 625$ проілюстровано відповідно в табл. 5 і 6.

Таблиця 5

Ілюстрація принципів автоматизованого складання ПС двохетапного низхідного і висхідного сортування ПК при $n = 125$, $m = 15\ 625$

Низхідне сортування		Висхідне сортування	
N	N_{125}	N	N_{125}
00000	(000)(000)	00000	(000)(000)
00001	(000)(001)	00125	(001)(000)
00124	(000)(124)	15500	(124)(000)
00125	(001)(000)	00001	(000)(001)
00126	(001)(001)	0126	(001)(001)
00249	(001)(124)	15501	(124)(001)
00250	(002)(000)	00002	(000)(002)
00251	(002)(001)	0127	(001)(002)
00374	(002)(124)	15502	(124)(002)
15500	(124)(000)	00124	(000)(124)
15501	(124)(001)	00249	(001)(124)
15624	(124)(124)	15624	(124)(124)

Таблиця 6

Ілюстрація принципів автоматизованого складання ПС трьохетапного низхідного і висхідного сортування ПК при $n = 25$, $m = 15\ 625$

Низхідне сортування		Висхідне сортування	
N	N_{25}	N	N_{25}
00000	(00)(00)(00)	00000	(00)(00)(00)
00001	(00)(00)(01)	00625	(01)(00)(00)
00024	(00)(00)(24)	15000	(24)(00)(00)
00025	(00)(01)(00)	00025	(00)(01)(00)
00026	(00)(01)(01)	00650	(01)(01)(00)
00049	(00)(01)(24)	15025	(24)(01)(00)
00600	(00)(24)(00)	00600	(00)(24)(00)
00601	(00)(24)(01)	01225	(01)(24)(00)
00624	(00)(24)(24)	15600	(24)(24)(00)
00625	(01)(00)(00)	00001	(00)(00)(01)
00626	(01)(00)(01)	00626	(01)(00)(01)
00649	(01)(00)(24)	15001	(24)(00)(01)
15600	(24)(24)(00)	00624	(00)(24)(24)
15601	(24)(24)(01)	01249	(01)(24)(24)
15624	(24)(24)(24)	15624	(24)(24)(24)

Приклади низхідного і висхідного двохетапного сортування листів, адресованих у різні ОПЗ, при $n = 125$, $m = 15\ 625$, та низхідного і висхідного трьохетапного сортування тих самих листів при $n = 25$, $m = 15\ 625$ згідно з викладеними принципами автоматизованого складання ПС наведено в табл. 7 і 8.

Таблиця 7

Приклад низхідного і висхідного двохетапного сортування ПК при $n = 125$, $m = 15$ 625

N	N ₁₂₅	Низхідне сортування				Висхідне сортування			
		Етап 1		Етап 2		Етап 1		Етап 2	
		a ₁	N	a ₂	N	a ₁	N	a ₂	N
00696	(005)(071)	(000)	00111	(111)	00111	(000)	08000	(000)	00111
15205	(121)(080)	(004)	00624	(032)	00532	(000)	01625	(004)	00532
08075	(064)(075)	(004)	00532	(124)	00624	(001)	03626	(004)	00624
00111	(000)(111)	(005)	00696	(060)	00685	(011)	01011	(005)	00685
05391	(043)(016)	(005)	00685	(071)	00696	(016)	05391	(005)	00696
03690	(029)(065)	(008)	01011	(011)	01011	(024)	01649	(008)	01011
04712	(037)(087)	(013)	01710	(000)	01625	(025)	15150	(013)	01625
01710	(013)(085)	(013)	01625	(024)	01649	(025)	05400	(013)	01649
15150	(121)(025)	(013)	01649	(085)	01710	(026)	04651	(013)	01710
00624	(004)(124)	(029)	03690	(001)	03626	(032)	00532	(029)	03626
05440	(043)(065)	(029)	03685	(060)	03685	(060)	03685	(029)	03685
08000	(064)(000)	(029)	03626	(065)	03690	(060)	00685	(029)	03690
01625	(013)(000)	(037)	04712	(026)	04651	(065)	03690	(037)	04651
01011	(008)(011)	(037)	04725	(087)	04712	(065)	05440	(037)	04712
03685	(029)(060)	(037)	04651	(100)	04725	(071)	00696	(037)	04725
04725	(037)(100)	(043)	05391	(016)	05391	(075)	08075	(043)	05391
08099	(064)(099)	(043)	05440	(025)	05400	(075)	15200	(043)	05400
15200	(121)(075)	(043)	05400	(065)	05440	(080)	15205	(043)	05440
00685	(005)(060)	(064)	08075	(000)	08000	(085)	01710	(064)	08000
01649	(013)(024)	(064)	08000	(075)	08075	(087)	04712	(064)	08075
00532	(004)(032)	(064)	08099	(099)	08099	(099)	08099	(064)	08099
04651	(037)(026)	(121)	15205	(025)	15150	(100)	04725	(121)	15150
05400	(043)(025)	(121)	15150	(075)	15200	(111)	00111	(121)	15200
03626	(029)(001)	(121)	15200	(080)	15205	(124)	00624	(121)	15205

Таблиця 8

Приклад низхідного і висхідного трьохетапного сортування ПК при $n = 25$, $m = 15$ 625

N	N ₂₅	Низхідне сортування						Висхідне сортування					
		Етап 1		Етап 2		Етап 3		Етап 1		Етап 2		Етап 3	
		a ₁	N	a ₂	N	a ₃	N	a ₁	N	a ₂	N	a ₃	N
00696	(01)(02)(21)	(00)	00111	(04)	00111	(11)	00111	(00)	08075	(02)	00685	(00)	00111
15205	(24)(08)(05)	(00)	00624	(21)	00532	(07)	00532	(00)	15150	(02)	00696	(00)	00532
08075	(12)(23)(00)	(00)	00532	(24)	00624	(24)	00624	(00)	08000	(04)	00111	(00)	00624
00111	(00)(04)(11)	(01)	00696	(02)	00696	(10)	00685	(00)	01625	(06)	15150	(01)	00685
05391	(08)(15)(16)	(01)	01011	(02)	00685	(21)	00696	(00)	04725	(08)	15200	(01)	00696
03690	(05)(22)(15)	(01)	00685	(15)	01011	(11)	01011	(00)	15200	(08)	15205	(01)	01011
04712	(07)(13)(12)	(02)	01710	(15)	01625	(00)	01625	(00)	05400	(11)	04651	(02)	01625
01710	(02)(18)(10)	(02)	01625	(15)	01649	(24)	01649	(01)	04651	(13)	04712	(02)	01649
15150	(24)(06)(00)	(02)	01649	(18)	01710	(10)	01710	(01)	03626	(14)	04725	(02)	01710
00624	(00)(24)(24)	(05)	03690	(20)	03626	(01)	03626	(05)	15205	(15)	01625	(05)	03626
05440	(08)(17)(15)	(05)	03685	(22)	03690	(10)	03685	(07)	00532	(15)	01011	(05)	03685
08000	(12)(20)(00)	(05)	03626	(22)	03685	(15)	03690	(10)	01710	(15)	05391	(05)	03690
01625	(02)(15)(00)	(07)	04712	(11)	04651	(01)	04651	(10)	03685	(15)	01649	(07)	04651
01011	(01)(15)(11)	(07)	04725	(13)	04712	(12)	04712	(10)	00685	(16)	05400	(07)	04712
03685	(05)(22)(10)	(07)	04651	(14)	04725	(00)	04725	(11)	00111	(17)	05440	(07)	04725
04725	(07)(14)(00)	(08)	05391	(15)	05391	(16)	05391	(11)	01011	(18)	01710	(08)	05391
08099	(12)(23)(24)	(08)	05440	(16)	05400	(00)	05400	(12)	04712	(20)	08000	(08)	05400
15200	(24)(08)(00)	(08)	05400	(17)	05440	(15)	05440	(15)	03690	(20)	03626	(08)	05440
00685	(01)(02)(10)	(12)	08075	(20)	08000	(00)	08000	(15)	05440	(21)	00532	(12)	08000
01649	(02)(15)(24)	(12)	08000	(23)	08075	(00)	08075	(16)	05391	(22)	03685	(12)	08075
00532	(00)(21)(07)	(12)	08099	(23)	08099	(24)	08099	(21)	00696	(22)	03690	(12)	08099
04651	(07)(11)(01)	(24)	15205	(06)	15150	(00)	15150	(24)	00624	(23)	08075	(24)	15150
05400	(08)(16)(00)	(24)	15150	(08)	15205	(00)	15200	(24)	08099	(23)	08099	(24)	15200
03626	(05)(20)(01)	(24)	15200	(08)	15200	(05)	15205	(24)	01649	(24)	00624	(24)	15205

Практична реалізація автоматизованого складання ПС багатоетапного сортування ПК зводиться до створення бази даних, що містить записи про всі ПІ, кожний з яких включає в себе три поля:

- поле ПІ ОПЗ у десятковій системі числення, яке слугує ідентифікатором запису;
- поле ПН ОПЗ у десятковій системі числення, яке відповідає полю ПІ (якщо ПІ не використовується, у поле ПН ОПЗ заноситься 0);
- поле ПН ОПЗ у системі числення з основою n (n — кількість накопичувачів ЛСМ), штриховий код (ШК) якого наноситься на лист (ШК 0 відповідає номеру довідкового накопичувача ЛСМ, призначеного для передавання спрямованих до нього листів на ручне сортування).

ПРОБЛЕМА СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ПРОХОДЖЕННЯ ЛИСТІВ ПО ТРАСІ ТРС ЛСМ

Відомо, що реалізація багатоетапного сортування ПК у ЛСМ вимагає додаткових витрат часу, зумовлених необхідністю завершення проходження листів по трасі ТРС ЛСМ і необхідністю розвантаження накопичувачів при кожному переході від одного етапу (підетапу) сортування ПК до іншого або від однієї ПС до іншої.

У результаті цього реальна продуктивність Q_p багатоетапного сортування ПК виявляється в багато разів менша за її номінальну продуктивність Q_n , а реальний час T_p такого сортування — у багато разів більший за номінальний час T_n .

Розглянемо класичну лінійну схему траси ТРС ЛСМ, в якій листи просуваються в каретках уздовж n накопичувачів, установлених в один ряд.

Вважається очевидним (хоча, як показано далі, це далеко не так), що для здійснення багатоетапного сортування ПК потрібно, аби перед початком кожного чергового етапу (підетапу) сортування всі накопичувачі ЛСМ були очищені від листів, спрямованих у них на попередньому етапі (підетапі) сортування.

Оскільки за такого підходу накопичувачі ЛСМ мають розвантажуватися лише після вкидання в них усіх адресованих у ці накопичувачі листів, то час, що витрачається на сортування листів на кожному етапі (підетапі) у загальному випадку включає в себе три складові:

- час власне сортування листів, визначений номінальною продуктивністю ЛСМ;
- час проходження відсортованими листами траси ТРС ЛСМ з укиданням листів, що рухаються, у відповідні накопичувачі після закінчення кожного етапу (підетапу) сортування, визначений протяжністю траси ТРС, пропорційною до кількості встановлених уздовж неї накопичувачів;
- час розвантаження всіх накопичувачів ЛСМ.

Отже, реальний час трьохетапного сортування

$$T_p = T_{p1} + T_{p2} + T_{p3} = T_{p1} + \sum_{i=1}^n T_{p2i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{p3ij} = t_{c1} + t_{\tau1} + t_{\eta1} + \sum_{i=1}^n (t_{c2i} + t_{\tau2i} + t_{\eta2i}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (t_{c3ij} + t_{\tau3ij} + t_{\eta3ij}),$$

де t_{c1}, t_{c2}, t_{c3} — час власне сортування ПК на відповідному етапі (підетапі) сортування;

$t_{\tau1}, t_{\tau2}, t_{\tau3}$ — час проходження листами траси ТРС ЛСМ на відповідному етапі (підетапі) сортування;

$t_{\eta1}, t_{\eta2}, t_{\eta3}$ — час вивантаження накопичувачів ЛСМ на відповідному етапі (підетапі) сортування.

Оскільки сумарний обсяг сортування ПК на кожному етапі залишається одним і тим самим, а час проходження траси ТРС і час розвантаження накопичувачів ЛСМ прямо пропорційний до загальної кількості етапів (підетапів) сортування, то реальний час r -етапного сортування

$$T_p = \frac{Vr}{Q_n} + (1 + n + \dots + n^{r-1})(t_{\tau} + t_{\eta}) = \frac{Vr}{Q_n} + \frac{n^r - 1}{n - 1}(t_{\tau} + t_{\eta}).$$

Можна зазначити такі основні шляхи підвищення реальної продуктивності ЛСМ при здійсненні багатоетапного сортування ПК:

- скорочення протяжності траси ТРС ЛСМ зі збереженням кількості накопичувачів;
- поділ накопичувачів ЛСМ за функціональними ознаками, що дозволяє об'єднати сортування ПК в одні групи накопичувачів із розвантаженням інших груп накопичувачів;
- суміщення в часі сортування ПК із проходженням листів по трасі ТРС і розвантаженням накопичувачів ЛСМ.

Скорочення протяжності траси ТРС ЛСМ

Скорочення протяжності траси ТРС ЛСМ зі збереженням кількості накопичувачів досягається за рахунок переходу до їх багоярусного розташування.

За наявності n накопичувачів, розташованих у s ярусах, протяжність робочої ділянки траси ТРС скорочується майже в s разів.

Приклади одноярусного і п'ятиярусного розташування 100 накопичувачів на трасі ТРС ЛСМ наведено на рис. 3.

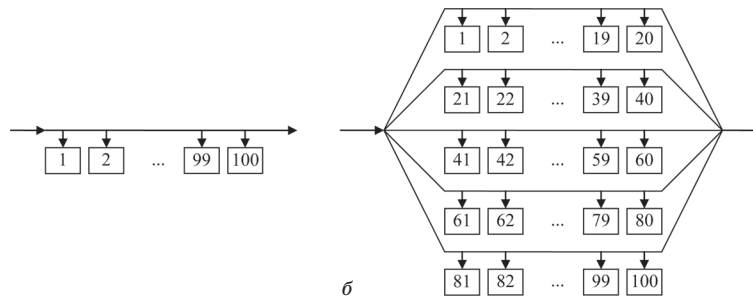


Рис. 3. Приклади одноярусного (а) і п'ятиярусного (б) розташування 100 накопичувачів на трасі ТРС ЛСМ

Багатоярусне розташування накопичувачів дозволяє істотно зменшити площу, займану ЛСМ, хоча ускладнює розвантаження листів із накопичувачів та їх технічне обслуговування.

Поділ накопичувачів ЛСМ за функціональними ознаками

При поділі накопичувачів ЛСМ за функціональними ознаками накопичувачі закріплюються за певними групами НС. Наприклад: накопичувачі напрямів загального сортування, накопичувачі виділених НС, накопичувачі напрямів детального сортування.

Загальна кількість ПС ПК збігається з кількістю напрямів загального сортування, а номер або назва ПС визначається тим напрямом загального сортування, за яким здійснюється детальне сортування.

Загальне сортування передбачає поділ первинного вхідного потоку ПК з головними узагальненими напрямками, наприклад Північ, Південь, Схід, Захід, Центр.

Детальне сортування передбачає поділ первинного потоку або вторинного потоку, що його утворює ПК одного з напрямів загального сортування, на конкретні НС, за якими здійснюється обмінювання пошти.

Виділення окремих НС передбачає спрямування ПК, адресованої у великі міста, у виділені для них накопичувачі для всіх ПС.

Істотне зменшення або повне виключення витрат часу на зміну ПС досягається за рахунок суміщення в часі зазначених видів сортування з розвантаженням відповідних накопичувачів ЛСМ.

Схему сортування ПК із безупинною зміною ПС наведено на рис. 4.

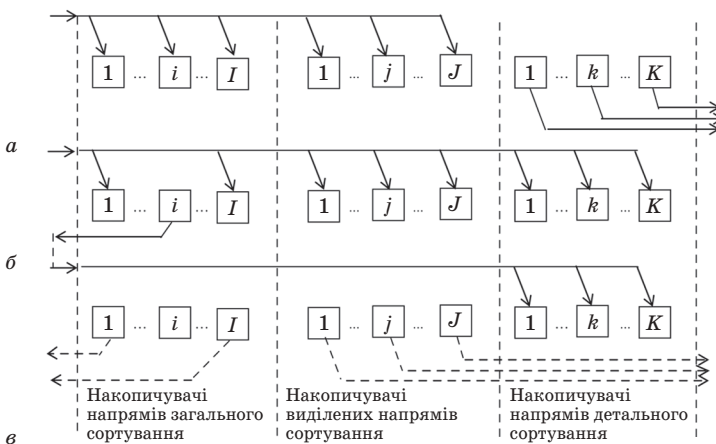


Рис. 4. Схеми сортування ПК із безупинною зміною ПС

На 2-му (основному) етапі (див. рис. 4, б) здійснюється перехід до сортування первинного потоку за новою ПС на всі напрями загального сортування (за винятком того, який передбачає детальне сортування), виділені НС і напрями детального сортування зазначеного напрямку загального сортування. Відповідний накопичувач напрямку загального сортування розвантажується.

На 3-му (завершальному) етапі (див. рис. 4, в) здійснюється перехід до сортування вторинного потоку від накопичувача напрямку загального сортування, розвантаженого на 2-му етапі сортування, на напрями детального сортування. Накопичувачі напрямів загального сортування і виділених НС за потребою розвантажуються.

Після виконання 3-го етапу сортування є можливість продовжити сортування за поточною ПС, повернувшись до 2-го етапу сортування, або перейти до наступної ПС, повернувшись до 1-го етапу сортування.

Далі буде