

Л.О. ЯЩУК

ОПТИМІЗАЦІЯ СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ

МЕТОДИ, МОДЕЛІ, АЛГОРИТМИ

Одеса – 2010

УДК 656.8.001
Я 99

Ящук Л.О. Оптимізація сортування поштових одиниць: методи, моделі, алгоритми: [Монографія]. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 137 с.

Рецензент:

Директор інституту радіоелектроніки та телекомунікацій Одеського національного політехнічного університету, доктор технічних наук, професор *П.Ю. Баранов*.

ISBN 978-966-7598-47-1

Наведено сучасні уявлення про сортування поштових одиниць. Викладено методи, моделі й алгоритми організації та оптимізації різних видів сортування поштових одиниць, зокрема, виділення напрямів, групування напрямів, багатоетапного, багатопрограмного, маршрутного, а також сортування періодичних видань у газетно-журнальних експедиціях. Проаналізовано передумови впровадження автоматизованого сортування письмової кореспонденції – концентрації потоків письмової кореспонденції в сортувальних центрах, забезпечення виконання установлених нормативних строків пересилання письмової кореспонденції, економічності доцільності переходу від ручного до автоматизованого сортування письмової кореспонденції.

Розв'язано основні теоретичні задачі оптимізації сортування поштових одиниць: визначення кількості робочих місць з оброблення поштових одиниць, визначення кількості та місць розташування сортувальних центрів, розміщення робочих місць з оброблення поштових одиниць, визначення кількості та ємності накопичувачів листосортувальних машин, підвищення продуктивності ручного й автоматизованого сортування поштових одиниць, побудови системи індексації об'єктів поштового зв'язку України.

Матеріали монографії засновані на багаторічних дослідженнях автора в області оптимізації мереж та систем поштового зв'язку. Монографія розрахована на широке коло науково-технічних працівників поштового зв'язку, слухачів інститутів і факультетів підвищення кваліфікації та студентів вищих навчальних закладів зв'язку з напрямів підготовки „Мережі та системи поштового зв'язку”.

Табл. 45, іл. 47, бібл. 37.

Рекомендовано до видання Вченою радою Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова (Протокол № 9 від 29 травня 2009 р.)

ISBN 978-966-7598-47-1

© Л.О. Ящук, 2010,
© ОНАЗ, 2010

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ОРГАНІЗАЦІЯ СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ	6
1.1. Загальні положення	6
1.2. Розробка планів сортування поштових одиниць в об'єктах ієрархічної мережі поштового зв'язку	11
1.3. Аналіз методів сортування поштових одиниць	21
1.4. Організація багатоетапного сортування поштових одиниць.....	27
1.5. Організація багатопрограмного сортування поштових одиниць	38
1.6. Організація маршрутного сортування поштових одиниць	40
1.7. Організація сортування періодичних видань у газетно-журнальних експедиціях	45
1.8. Аналіз процесів сортування та пакування поштових одиниць	51
1.9. Моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць.....	57
1.10. Визначення об'ємів оброблення поштових одиниць в об'єктах мережі поштового зв'язку за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків	61
1.11. Визначення кількості робочих місць з оброблення поштових одиниць у вузлі поштового зв'язку.....	65
2. ОПТИМІЗАЦІЯ СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ.....	73
2.1. Загальна характеристика проблем автоматизації сортування письмової кореспонденції	73
2.2. Аналіз передумов упровадження систем автоматизованого сортування письмової кореспонденції	76
2.3. Оптимізація кількості та місць розташування РСЦ у мережі поштового зв'язку	85
2.4. Забезпечення безупинної роботи ЛСМ у РСЦ	94
2.5. Визначення оптимальної продуктивності ЛСМ у РСЦ.....	99
2.6. Оптимізація розміщення робочих місць з оброблення поштових одиниць у РСЦ.....	101
2.7. Оптимізація кількості накопичувачів ЛСМ.....	107
2.8. Оптимізація ємності накопичувачів ЛСМ.....	109
2.9. Мінімізація парку змінних накопичувачів ЛСМ	112
2.10. Підвищення продуктивності автоматизованого сортування поштових одиниць.....	119
2.11. Підвищення продуктивності ручного сортування поштових одиниць	124
2.12. Принципи побудови системи індексації поштового зв'язку України ..	130
ЛІТЕРАТУРА.....	134

ВСТУП

Сортування – найбільш трудомістка і найбільш складна виробнича операція поштового зв'язку.

Задача сортування поштових одиниць полягає у розподілі вхідних сукупностей поштових одиниць, що надходять до об'єктів поштового зв'язку, на вихідні сукупності поштових одиниць, адресовані за напрямками сортування, зазначеними в поштових адресах або в поштових індексах, що мають бути відправлені до відповідних об'єктів поштового зв'язку.

Основна проблема сортування обумовлена тим, що загальна кількість напрямів сортування звичайно суттєво перевищує кількість накопичувачів автоматичних сортувальних машин або сортувальних шаф ручного сортування, внаслідок чого всі або деякі з поштових одиниць, адресовані за зазначеними напрямками, можуть проходити декілька етапів сортування.

Значна кількість видів сортування (вихідне, вхідне, транзитне, загальне, детальне, маршрутне, багатоетапне, багатопрограмне тощо); розподіленість процесів сортування поштових одиниць у просторі й у часі; участь у цих процесах численних об'єктів поштового зв'язку і поштових маршрутів; доцільність концентрації поштових потоків за об'єктами поштового зв'язку, де вони обробляються, та за поштовими маршрутами, якими вони перевозяться; можливість організації сортування поштових одиниць у довільній сукупності об'єктів поштового зв'язку, починаючи з організації такого сортування в єдиному об'єкті поштового зв'язку, і закінчуючи його організацією в усіх об'єктах поштового зв'язку; надзвичайно висока кількість можливих варіантів розподілу операцій сортування поштових одиниць між об'єктами поштового зв'язку, зокрема, проведення різних етапів сортування поштових одиниць в різних об'єктах поштового зв'язку; ієрархічна структура мережі поштового зв'язку; нерівномірність поштових потоків за днями, тижнями, місяцями, періодами; необхідність виконання установлених нормативних строків пересилання поштових одиниць; висока вартість засобів автоматизованого сортування поштових одиниць та інші фактори суттєво ускладнюють оптимізацію сортування поштових одиниць і викликають необхідність розв'язання численних проблемних задач, наприклад:

- в об'єктах якого рівня ієрархії та до об'єктів якого рівня ієрархії повинно провадитися сортування поштових одиниць;
- що вигідніше – сортування з використанням більшої кількості накопичувачів, тобто, з більшими витратами на обладнання для сортування поштових одиниць, але за меншу кількість етапів сортування, чи сортування з використанням меншої кількості накопичувачів, тобто, з меншими витратами на обладнання для сортування поштових одиниць, але за більшу кількість етапів сортування;
- якими мають бути оптимальні кількості та ємності накопичувачів автоматичних сортувальних машин за умов нерівномірності поштових потоків і різної кількості об'єктів, до яких провадиться сортування поштових одиниць;

- як пов'язані між собою структура мережі поштового зв'язку і технології сортування поштових одиниць;
- як впливає кількість рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку на кількість етапів сортування поштових одиниць;
- за яких умов стає доцільним перехід від ручного до автоматизованого сортування поштових одиниць.

Зазначені та незазначені проблемні питання свідчать про доцільність комплексного підходу та систематизованого висвітлення питань сортування поштових одиниць.

У монографії наведено сучасні уявлення та розглянуто методи, моделі та алгоритми організації й оптимізації сортування поштових одиниць.

Матеріали монографії викладені на підставі багаторічних досліджень автора в області оптимізації мереж та систем поштового зв'язку.

Монографія розрахована на науково-технічних працівників поштового зв'язку, слухачів інститутів і факультетів підвищення кваліфікації та студентів вищих навчальних закладів зв'язку з напрямку підготовки „Мережі та системи поштового зв'язку”.

1. ОРГАНІЗАЦІЯ СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ

1.1. Загальні положення

Задача сортування поштових одиниць ставиться наступним чином.

Листосортувальна машина (ЛСМ) або сортувальна шафа (СШ) містить n накопичувачів A_1, A_2, \dots, A_n .

Потік поштових одиниць P , що надходить на оброблення, повинен бути розподілений на потоки P_1, P_2, \dots, P_m за напрямками сортування B_1, B_2, \dots, B_m ,

$$P = \{ P_1, P_2, \dots, P_m \}.$$

Інформацію про напрями сортування B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) містять поштові індекси або поштові адреси. При цьому кожному напрямку сортування відповідає певна сукупність поштових індексів або поштових адрес, повний перелік яких за автоматизованого сортування задається програмою сортування, а за ручного – таблицею сортування.

Відомо, що $m > n$, внаслідок чого поштові одиниці можуть сортуватися за етапами, тобто проходити через ЛСМ (СШ) декілька разів.

Будемо розглядати $v_1 = \frac{P_1}{P}$, $v_2 = \frac{P_2}{P}$, ..., $v_m = \frac{P_m}{P}$ як ймовірності потоків поштових одиниць за напрямками сортування B_1, B_2, \dots, B_m .

Якщо поштова одиниця, адресована за напрямком B_i ($i = 1, 2, \dots, m$), проходить S_i ($i = 1, 2, \dots, m$) етапів сортування, то загальний обсяг сортування

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_i S_i = P \sum_{i=1}^m v_i S_i = PS,$$

де S – середня кількість сортувань однієї поштової одиниці.

Оптимальна стратегія сортування поштових одиниць може бути сформульована як стратегія мінімізації загального обсягу сортування

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m P_i S_i = \min,$$

або як стратегія мінімізації середньої кількості сортувань однієї поштової одиниці

$$S = \sum_{i=1}^m v_i S_i = \min.$$

Сума $v_1 + v_2 + \dots + v_m = 1$ як сума ймовірностей повної групи подій.

Надалі будемо використовувати таку нумерацію потоків P_1, P_2, \dots, P_m , за якою $v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_m$, а $S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_m$, завдяки чому P_{Σ} і S будуть автоматично додатково мінімізуватися.

Кількість сортувань письмової кореспонденції визначається багатьма факторами, серед яких:

- загальна кількість напрямів сортування (об'єктів поштового зв'язку);
- максимальна кількість накопичувачів ЛСМ або максимальна кількість накопичувачів СШ;
- час, що може бути виділений для оброблення письмової кореспонденції в об'єктах поштового зв'язку;

- кількість рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку;
- кількість напрямів сортування (об'єктів поштового зв'язку) на кожному з рівнів ієрархії;
- нормативні строки пересилання письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку тощо.

Теоретично кількість m напрямів сортування письмової кореспонденції і кількість n накопичувачів ЛСМ (СШ) пов'язані з мінімально можливою кількістю k етапів сортування очевидними співвідношеннями

$$m = n^k, \quad n = \sqrt[k]{m}, \quad k = \log_n m.$$

Так, при $m = 1000000$, $n = 100$, $k = \log_{100} 1000000 = 3$ (перший етап сортування – поділ письмової кореспонденції на 100 груп по 10000 напрямів у кожній; другий етап сортування – поділ кожної групи, сформованої на першому етапі сортування, на 100 груп по 100 напрямів у кожній; третій етап сортування – поділ кожної групи, сформованої на другому етапі сортування, на 100 груп по одному напрямку в кожній).

Слід підкреслити, що зазначена мінімальна кількість етапів сортування може бути реалізована лише за умов його виконання в одному об'єкті поштового зв'язку. При виконанні сортування в різних об'єктах поштового зв'язку кількість напрямів сортування визначається не кількістю накопичувачів ЛСМ (СШ), а кількістю об'єктів поштового зв'язку, до яких таке сортування проводиться. Внаслідок цього реальна кількість сортувань письмової кореспонденції залежить від структури мережі поштового зв'язку та може суттєво перевищувати мінімальну.

Найбільш поширені мережі поштового зв'язку, побудовані за функціонально-територіальним (МПЗ ФТ) або за адміністративно-територіальним (МПЗ АТ) принципом.

При побудові мережі поштового зв'язку за функціонально-територіальним принципом об'єкти поштового зв'язку створюються за функціональним призначенням там, де це економічно доцільно.

При побудові структури мережі поштового зв'язку за адміністративно-територіальним принципом в центрах відповідних адміністративних утворень України створюються об'єкти поштового зв'язку універсального призначення, ієрархічна підпорядкованість яких відповідає ієрархічній підпорядкованості зазначених адміністративних утворень: Україна (Головний вузол або Зональний вузол) – Область (Обласний вузол) – Район (Районний вузол) – Сільрада (Відділення зв'язку).

Мережі поштового зв'язку мають багаторівневі ієрархічні структури, які у залежності від кількості об'єктів поштового зв'язку найвищого рівня ієрархії мають вид однієї піраміди (МПЗ ФТ1, МПЗ АТ1) або декількох пірамід, вершини яких з'єднані між собою за принципом „кожна з кожною” (МПЗ ФТ2, МПЗ АТ2).

У подальшому тексті прийнято наступні аббревіатури назв об'єктів поштового зв'язку: ГВ – головний вузол МПЗ АТ або МПЗ ФТ; ЗВ – зональний вузол МПЗ АТ або МПЗ ФТ; ОВ – обласний вузол МПЗ АТ; РВ – районний ву-

зол МПЗ АТ; ТВ – територіальний вузол МПЗ ФТ; ВЗ – відділення зв'язку МПЗ АТ або МПЗ ФТ.

На рис. 1 наведено структури трирівневих мереж поштового зв'язку МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та чотирирівневих мереж поштового зв'язку МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

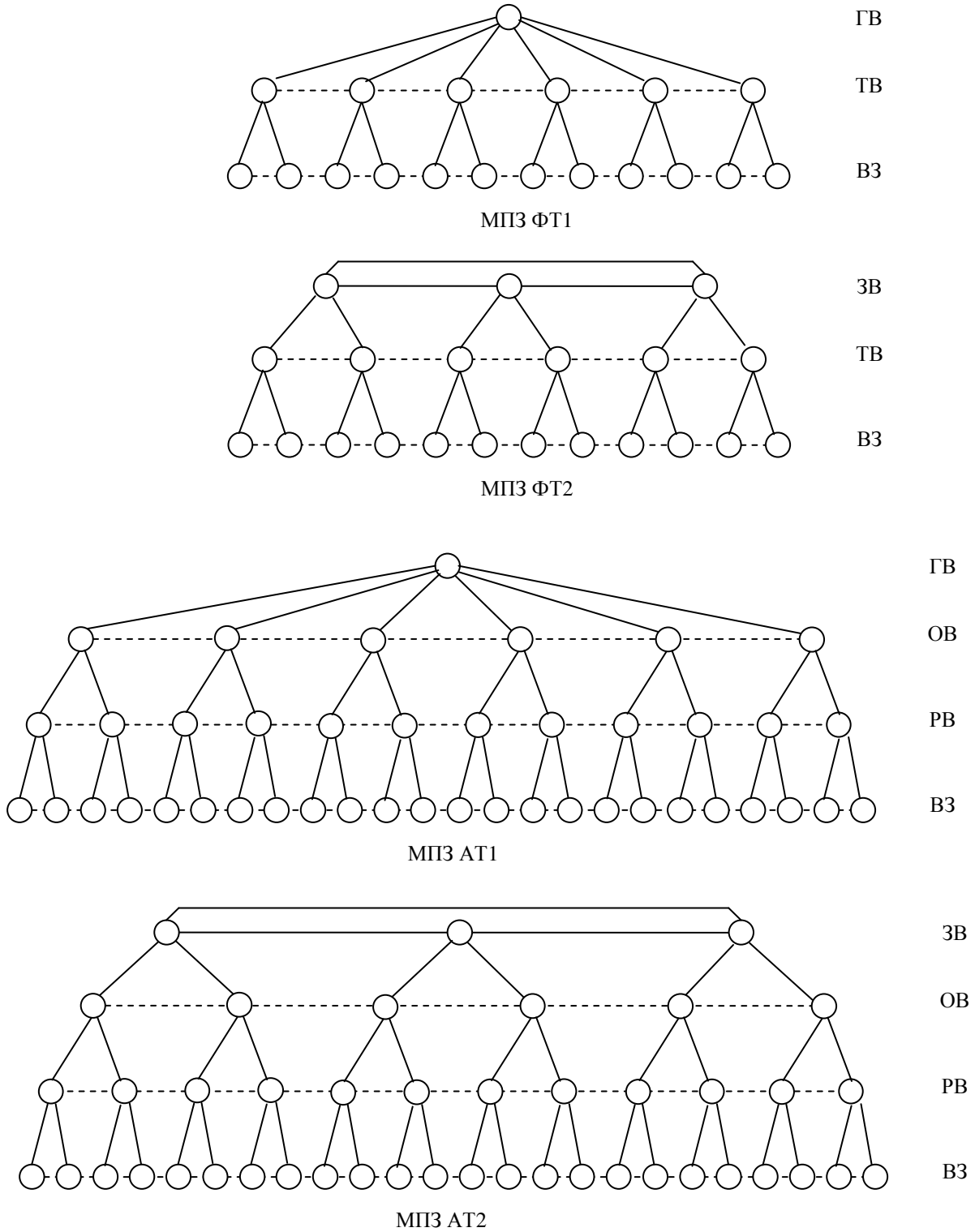


Рисунок 1 – Структури мереж поштового зв'язку

Теперішнього часу мережа поштового зв'язку УДППЗ „Укрпошта” побудована як чотирирівнева МПЗ АТ (частково як МПЗ АТ1, частково як МПЗ АТ2).

Одеською національною академією зв'язку ім. О.С. Попова розроблено Концепцію розвитку поштового зв'язку України, якою передбачено перехід від чотирирівневої МПЗ АТ до трирівневої МПЗ ФТ.

На рис. 2 наведено співвідношення рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку чотирирівневої МПЗ АТ і трирівневої МПЗ ФТ.

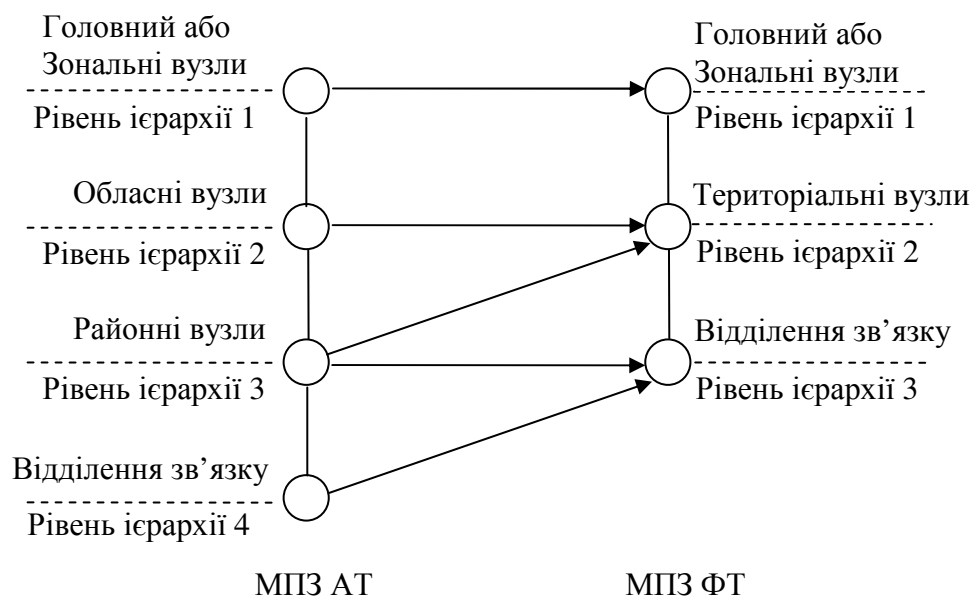


Рисунок 2 – Співвідношення рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку чотирирівневої МПЗ АТ і трирівневої МПЗ ФТ

При переході від чотирирівневої МПЗ АТ до трирівневої МПЗ ФТ передбачено створення територіальних (міжрайонних) вузлів ТВ на базі існуючих ОВ і частини РВ, а також створення ВЗ на базі решти РВ та всіх існуючих ВЗ.

Відповідно до рис. 1, письмова кореспонденція під час свого пересилання в ієрархічних мережах поштового зв'язку спочатку „підіймається” від об'єктів більш низьких рівнів ієрархії до об'єктів більш високих рівнів ієрархії (висхідні об'єкти поштового зв'язку), а потім „спускається” від об'єктів більш високих рівнів ієрархії до об'єктів більш низьких рівнів ієрархії (низхідні об'єкти поштового зв'язку).

Як впливає з рис. 1, шляхи пересилання письмової кореспонденції через висхідні об'єкти поштового зв'язку в кожному з цих об'єктів з'єднуються, внаслідок чого проблема вибору напрямів такого пересилання в жодному з зазначених об'єктів не виникає, в той час як шляхи пересилання письмової кореспонденції через низхідні об'єкти поштового зв'язку в кожному з цих об'єктів розгалужуються, що обумовлює виникнення проблеми вибору відповідних напрямів такого пересилання.

Для забезпечення можливості вибору напрямів пересилання письмової кореспонденції через низхідні об'єкти поштового зв'язку необхідно, щоб упа-

ковки письмової кореспонденції до низхідних об'єктів більш високого рівня ієрархії містили у собі упаковки письмової кореспонденції до низхідних об'єктів більш низького рівня ієрархії; зазначені упаковки письмової кореспонденції, в свою чергу, містили у собі упаковки письмової кореспонденції до низхідних об'єктів ще більш низького рівня ієрархії, і так доки в останніх упаковках не залишиться письмова кореспонденція до низхідних об'єктів найнижчого рівня ієрархії.

Так, у чотирирівневій мережі МПЗ АТ, сформовані у ГВ або ЗВ упаковки до кожного з низхідних ОВ (наприклад, контейнери) повинні містити в собі упаковки до кожного з низхідних РВ відповідних областей (наприклад, мішки), а останні – упаковки до кожного з низхідних ВЗ відповідних районів (наприклад, постпакели).

За наявності r рівнів ієрархії у найбільш несприятливих випадках письмова кореспонденція в мережах МПЗ ФТ1, МПЗ АТ1 проходить через $2r-1$, а в мережах МПЗ ФТ2, МПЗ АТ2 – через $2r$ об'єктів поштового зв'язку.

Схеми пересилання письмової кореспонденції у чотирирівневих мережах поштового зв'язку наведено на рис. 3.

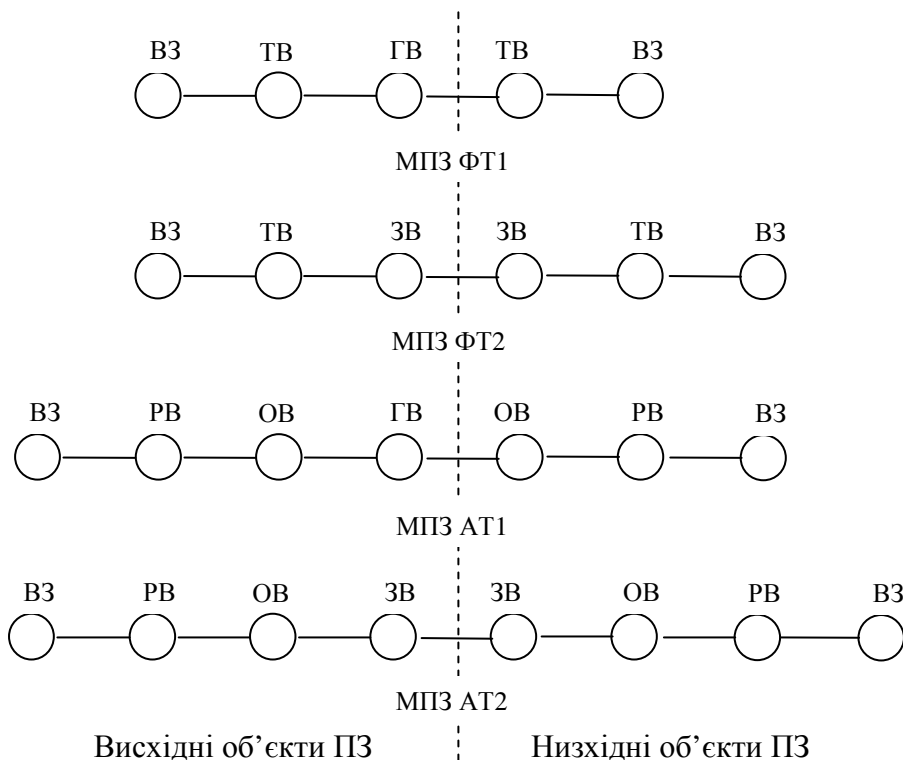


Рисунок 3 – Схеми пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку

Важливим показником, що характеризує ефективність мереж поштового зв'язку, є кількість q об'єктів поштового зв'язку і кількість r поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа.

Очевидно, що зі зростанням q відповідно зростають витрати на оброблен-

ня письмової кореспонденції в об'єктах поштового зв'язку, а зі зростанням r – витрати на перевезення письмової кореспонденції поштовими маршрутами.

У табл. 1 наведено дані про максимальну кількість об'єктів поштового зв'язку та максимальну кількість поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа в мережах поштового зв'язку МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

Таблиця 1 – Максимальна кількість об'єктів поштового зв'язку та максимальна кількість поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа

Мережа поштового зв'язку	Максимальна кількість об'єктів поштового зв'язку	Максимальна кількість поштових маршрутів
МПЗ ФТ1	5	4
МПЗ ФТ2	6	5
МПЗ АТ1	7	6
МПЗ АТ2	8	7

З табл. 1 випливає, що при переході від існуючої чотирирівневої мережі поштового зв'язку МПЗ АТ УДППЗ „Укрпошта” до трирівневої мережі поштового зв'язку МПЗ ФТ максимальна кількість об'єктів поштового зв'язку, задіяних у пересиланні одного листа, зменшується відповідно у $8/6 = 1,33$ або у $7/5 = 1,40$ разів, а максимальна кількість поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа, – відповідно у $7/5 = 1,40$ або у $6/4 = 1,5$ разів. Завдяки цьому суттєво зменшуються витрати на оброблення письмової кореспонденції, скорочується кількість поштових маршрутів, скорочується час пересилання письмової кореспонденції, спрощується синхронізація оброблення й перевезення письмової кореспонденції.

1.2. Розробка планів сортування поштових одиниць в об'єктах ієрархічної мережі поштового зв'язку

План сортування поштових одиниць – це сукупності поштових індексів або поштових адрес, що визначають напрями сортування B_1, B_2, \dots, B_m , і закріплюються за накопичувачами ЛСМ (СШ) A_1, A_2, \dots, A_n на кожному етапі сортування.

План сортування може бути поданий у виді відповідних переліків поштових індексів або поштових адрес, таблиць сортування, схем сортування.

Розробка планів сортування поштових одиниць заснована на тому, що у r -рівневій ієрархічній мережі поштового зв'язку можливі численні варіанти розподілу етапів сортування між об'єктами поштового зв'язку, однак, за будь-яких варіантів, існує лише $r+2$ видів такого сортування:

S_0 – відсутність сортування або виділення місцевої письмової кореспонденції в разі необхідності виконання умови її прискореного пересилання;

S_i ($i = 1, 2, \dots, r$) – сортування до об'єктів i -го рівня ієрархії;

S_{r+1} – сортування в об'єктах r -го (найнижчого) рівня ієрархії до доставних дільниць, які не є об'єктами поштового зв'язку.

Нижче сформульовані чотири правила, виконання яких дозволяє заздалегідь відкинути усі неоптимальні варіанти сортування письмової кореспонденції.

Правило 1 (правило першого сортування): перше сортування письмової кореспонденції відбувається у будь-якому з висхідних об'єктів поштового зв'язку до будь-якого з низхідних об'єктів поштового зв'язку.

Правило 2 (правило повторного сортування): повторне сортування письмової кореспонденції відбувається у низхідних об'єктах поштового зв'язку, визначених на попередньому етапі сортування, до будь-якого з низхідних об'єктів поштового зв'язку більш низького рівня ієрархії (останнє повторне сортування – до об'єктів поштового зв'язку найнижчого рівня ієрархії).

Правило 3 (правило зумовленого сортування): сортування письмової кореспонденції в об'єктах поштового зв'язку, розташованих між об'єктами поштового зв'язку першого сортування або між об'єктами поштового зв'язку повторного сортування, відбувається до тих самих об'єктів, що визначені зазначеними правилами першого і повторного сортування.

Правило 4 (правило направлення несортованої письмової кореспонденції): усі висхідні об'єкти поштового зв'язку більш низьких рівнів ієрархії ніж рівень ієрархії висхідного об'єкта поштового зв'язку першого сортування направляють до зазначеного об'єкта поштового зв'язку першого сортування несортовану письмову кореспонденцію.

Приймаючи до уваги, що перше сортування може виконуватися лише в одному з будь-яких $m_{\text{висх}}$ висхідних об'єктів поштового зв'язку, а повторні – в будь-яких з $m_{\text{низх}}$ низхідних об'єктів поштового зв'язку крім об'єкта поштового зв'язку r -го (найнижчого) рівня ієрархії, в якому завжди виконується сортування до доставних дільниць, загальна кількість M можливих варіантів сортування письмової кореспонденції за наведеними правилами складає

$$M = m_{\text{висх}} 2^{m_{\text{низх}} - 1}.$$

Оскільки, як впливає з рис. 3, $m_{\text{висх}} = r$ в усіх мережах, а $m_{\text{низх}} = r - 1$ в мережах МПЗ ФТ1, МПЗ АТ1 і $m_{\text{низх}} = r$ в мережах МПЗ ФТ2, МПЗ АТ2,

$$M = \begin{cases} r2^{r-2} & \text{в МПЗ ФТ1, МПЗ АТ1} \\ r2^{r-1} & \text{в МПЗ ФТ2, МПЗ АТ2} \end{cases}.$$

Виходячи з наведених співвідношень існує:

$M = 6$ варіантів планів сортування письмової кореспонденції в трирівневій МПЗ ФТ1;

$M = 12$ варіантів планів сортування письмової кореспонденції в трирівневій МПЗ ФТ2;

$M = 16$ варіантів планів сортування письмової кореспонденції в чотирирівневій МПЗ АТ1;

$M = 32$ варіанти планів сортування письмової кореспонденції в чотирирівневій МПЗ АТ2.

На рис. 4, 5, 6, 7 наведено схеми варіантів планів сортування письмової кореспонденції в трирівневих мережах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та чотирирівневих мережах МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

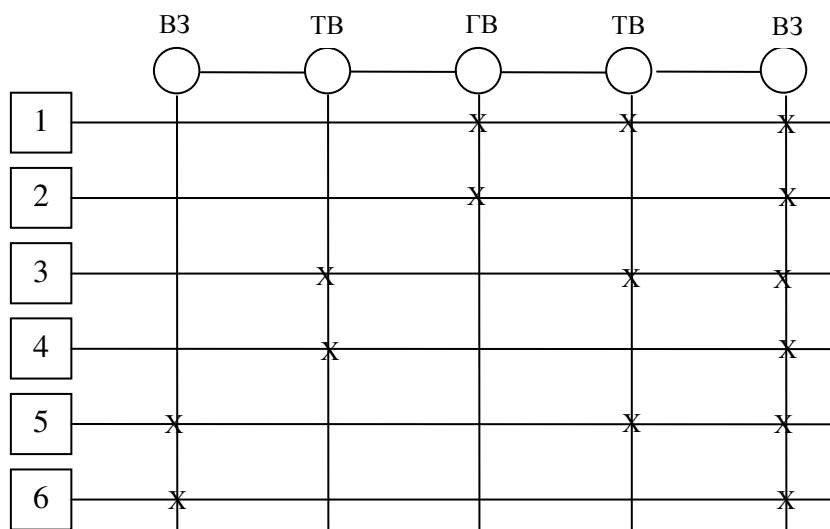


Рисунок 4 – Схема варіантів планів сортування письмової кореспонденції у трирівневій мережі МПЗ ФТ1

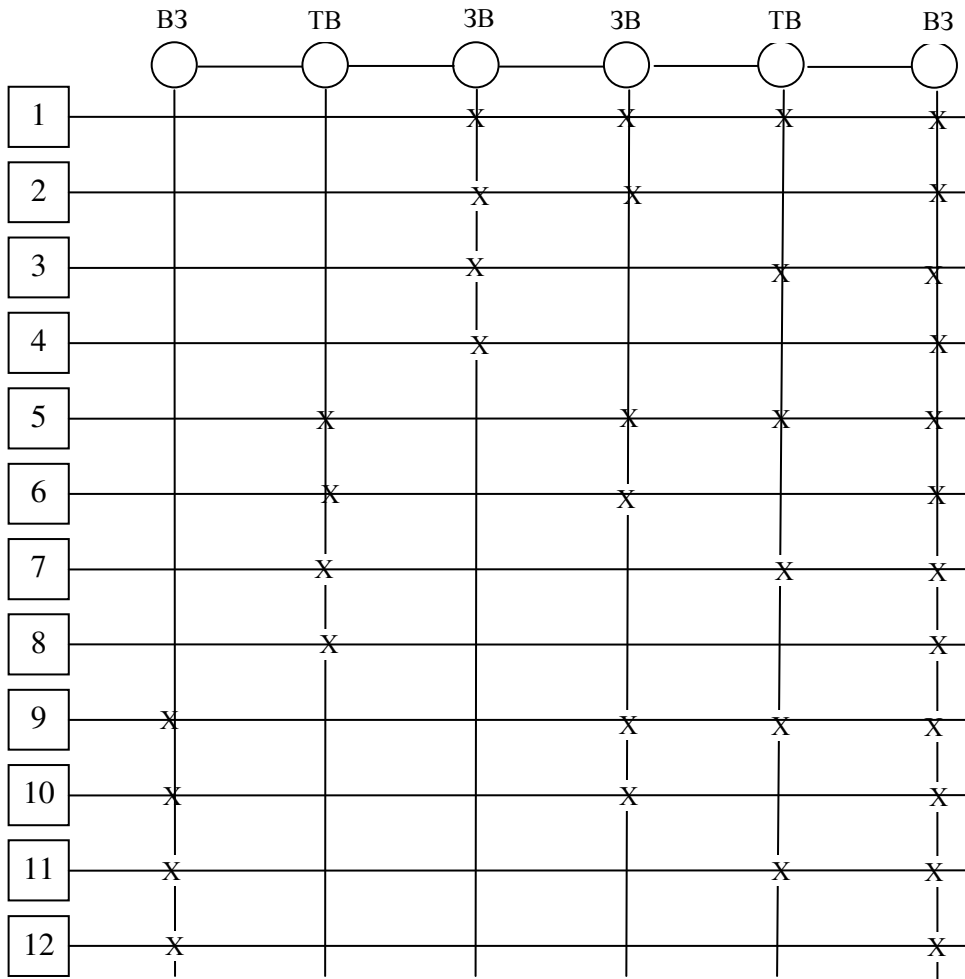


Рисунок 5 – Схема варіантів планів сортування письмової кореспонденції у трирівневій мережі МПЗ ФТ2

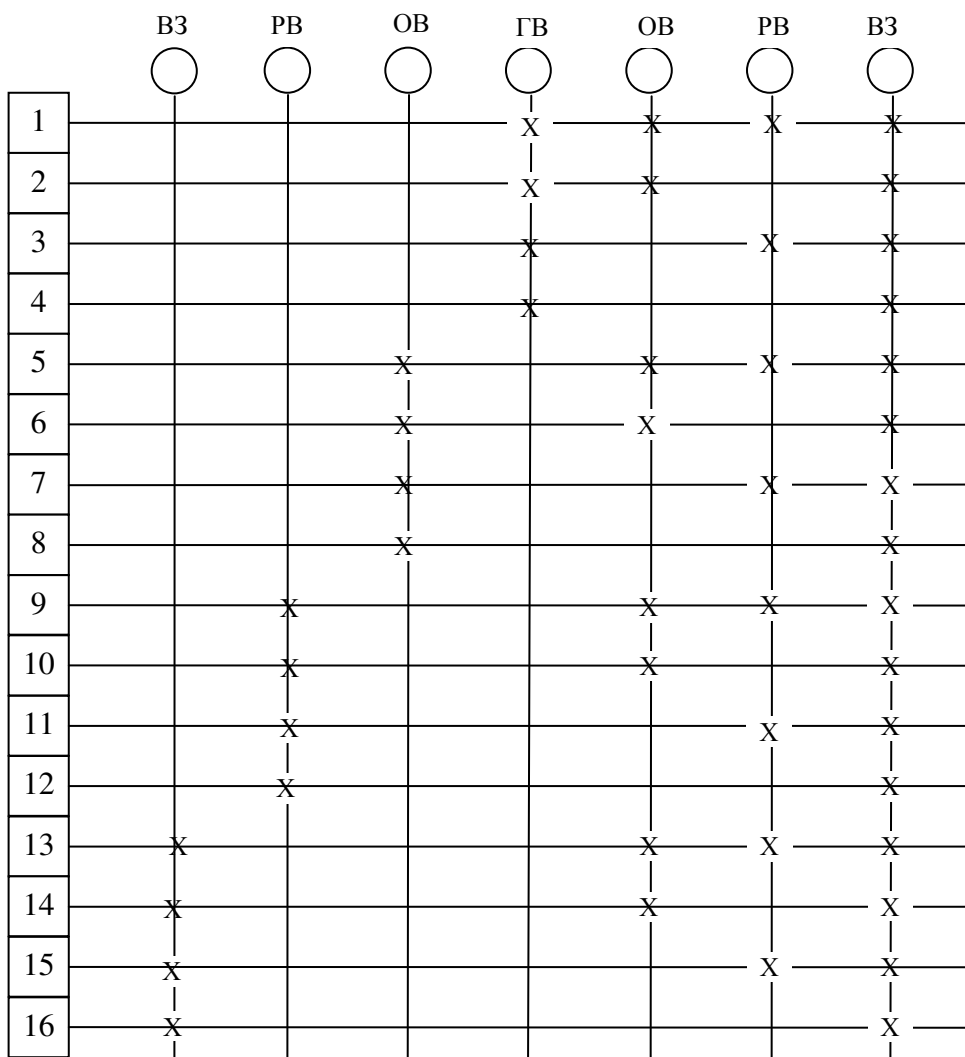


Рисунок 6 – Схема варіантів планів сортування письмової кореспонденції у чотирирівневій мережі МПЗ АТ1

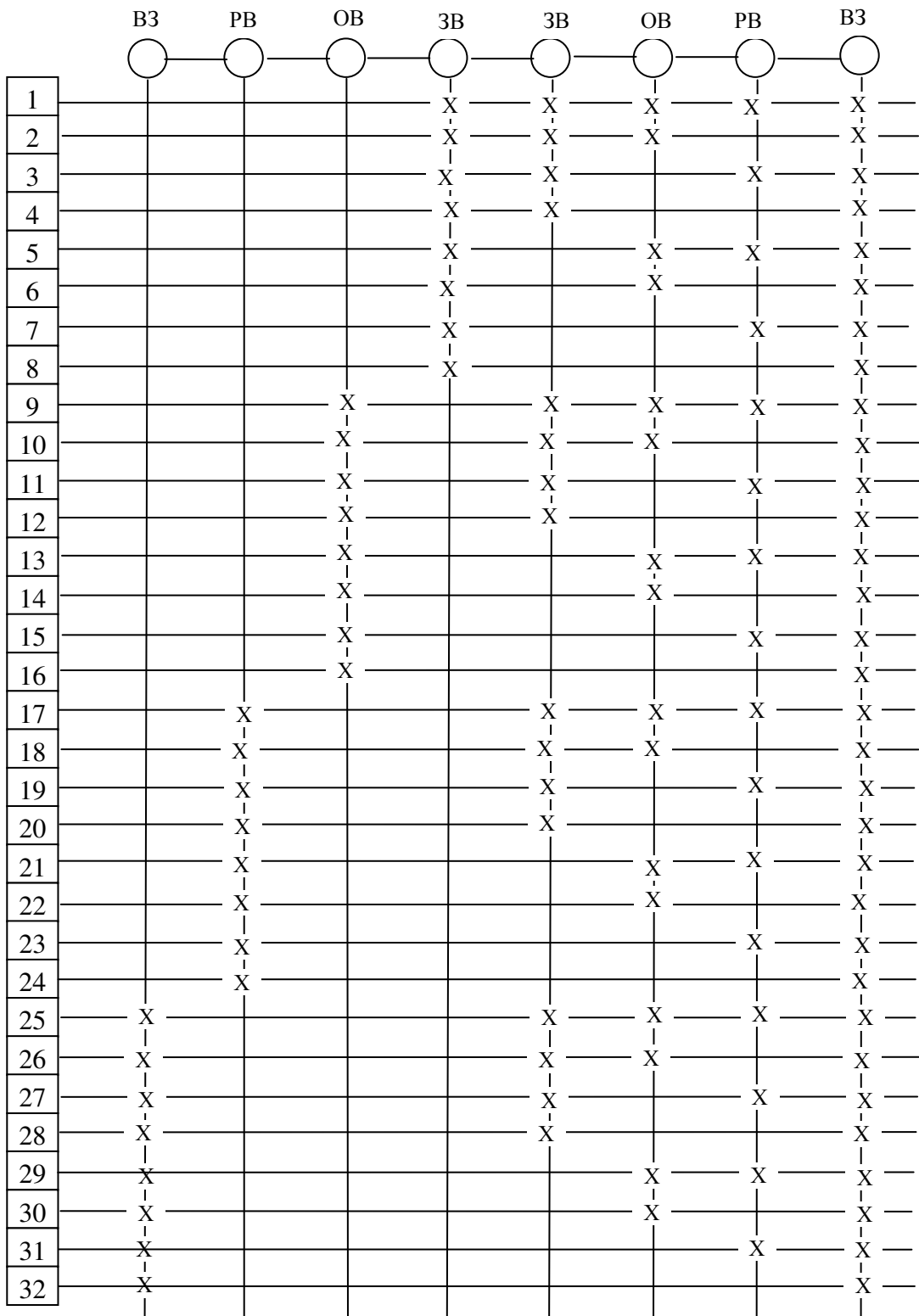


Рисунок 7 – Схема варіантів планів сортування письмової кореспонденції у чотирирівневій мережі МПЗ АТ2

Об'єкти поштового зв'язку, в яких виконується сортування письмової кореспонденції, на схемах рис. 4, 5, 6, 7 позначені хрестиками.

Хоча на зазначених схемах види сортування письмової кореспонденції в об'єктах поштового зв'язку не наведені, вони легко визначаються наступним чином:

- в об'єктах поштового зв'язку, розташованих зліва від першого хрестика, виконується сортування S_0 ;
- в об'єктах поштового зв'язку, позначених хрестиками, виконується сортування до об'єктів поштового зв'язку, позначених наступними хрестиками;
- в об'єктах поштового зв'язку, розташованих між двома об'єктами поштового зв'язку, позначеними сусідніми хрестиками, виконується сортування до об'єктів поштового зв'язку, позначених правими хрестиками.

Наприклад, у варіанті 13 рис. 7 виконуються наступні види сортування:

- у висхідних об'єктах ВЗ і РВ – сортування S_0 (направлення несортованої письмової кореспонденції до висхідних об'єктів ОВ);
- у висхідних об'єктах ОВ, ЗВ і низхідних об'єктах ЗВ – сортування S_2 (сортування до низхідних об'єктів ОВ);
- у низхідних об'єктах ОВ – сортування S_3 (сортування до низхідних об'єктів РВ);
- у низхідних об'єктах РВ – сортування S_4 (сортування до низхідних об'єктів ВЗ);
- у низхідних об'єктах ВЗ – сортування S_5 (сортування до доставних дільниць).

У табл. 2, 3, 4, 5 наведено варіанти планів сортування письмової кореспонденції в трирівневих мережах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та чотирирівневих мережах МПЗ АТ1, МПЗ АТ2 відповідно до схем варіантів планів сортування, наведених на рис. 4, 5, 6, 7.

Таблиця 2 – Варіанти планів сортування письмової кореспонденції в трирівневій мережі МПЗ ФТ1

Номер варіанта	Об'єкти поштового зв'язку					Загальна кількість сортувань
	ВЗ	ТВ	ГВ	ТВ	ВЗ	
1	S_0	S_0	S_2	S_3	S_4	3
2	S_0	S_0	S_3	S_3	S_4	2
3	S_0	S_2	S_2	S_3	S_4	3
4	S_0	S_3	S_3	S_3	S_4	2
5	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	3
6	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	2

Таблиця 3 – Варіанти планів сортування письмової кореспонденції в трирівневій мережі МПЗ ФТ2

Номер варіанта	Об'єкти поштового зв'язку					Загальна кількість сортувань	
	ВЗ	ТВ	ЗВ	ЗВ	ТВ		ВЗ
1	S_0	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	4
2	S_0	S_0	S_1	S_3	S_3	S_4	3
3	S_0	S_0	S_2	S_2	S_3	S_4	3
4	S_0	S_0	S_3	S_3	S_3	S_4	2

5	S_0	S_1	S_1	S_2	S_3	S_4	4
6	S_0	S_1	S_1	S_3	S_3	S_4	3
7	S_0	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	3
8	S_0	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	2
9	S_1	S_1	S_1	S_2	S_3	S_4	4
10	S_1	S_1	S_1	S_3	S_3	S_4	3
11	S_2	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	3
12	S_3	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	2

Таблиця 4 – Варіанти планів сортування письмової кореспонденції в чотирирівневій мережі МПЗ АТ1

Номер варіанта	Об'єкти поштового зв'язку							Загальна кількість сортувань
	ВЗ	РВ	ОВ	ГВ	ОВ	РВ	ВЗ	
1	S_0	S_0	S_0	S_2	S_3	S_4	S_5	4
2	S_0	S_0	S_0	S_2	S_4	S_4	S_5	3
3	S_0	S_0	S_0	S_3	S_3	S_4	S_5	3
4	S_0	S_0	S_0	S_4	S_4	S_4	S_5	2
5	S_0	S_0	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
6	S_0	S_0	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
7	S_0	S_0	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
8	S_0	S_0	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2
9	S_0	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
10	S_0	S_2	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
11	S_0	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
12	S_0	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2
13	S_2	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
14	S_2	S_2	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
15	S_3	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
16	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2

Таблиця 5 – Варіанти планів сортування письмової кореспонденції в чотирирівневій мережі МПЗ АТ2

Номер варіанта	Об'єкти поштового зв'язку								Загальна кількість сортувань
	ВЗ	РВ	ОВ	ЗВ	ЗВ	ОВ	РВ	ВЗ	
1	S_0	S_0	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	5
2	S_0	S_0	S_0	S_1	S_2	S_4	S_4	S_5	4
3	S_0	S_0	S_0	S_1	S_3	S_3	S_4	S_5	4
4	S_0	S_0	S_0	S_1	S_4	S_4	S_4	S_5	3
5	S_0	S_0	S_0	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
6	S_0	S_0	S_0	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
7	S_0	S_0	S_0	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
8	S_0	S_0	S_0	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2
9	S_0	S_0	S_1	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	5
10	S_0	S_0	S_1	S_1	S_2	S_4	S_4	S_5	4
11	S_0	S_0	S_1	S_1	S_3	S_3	S_4	S_5	4
12	S_0	S_0	S_1	S_1	S_4	S_4	S_4	S_5	3

Продовження таблиці 5

13	S_0	S_0	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
14	S_0	S_0	S_2	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
15	S_0	S_0	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
16	S_0	S_0	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2
17	S_0	S_1	S_1	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	5
18	S_0	S_1	S_1	S_1	S_2	S_4	S_4	S_5	4
19	S_0	S_1	S_1	S_1	S_3	S_3	S_4	S_5	4
20	S_0	S_1	S_1	S_1	S_4	S_4	S_4	S_5	3
21	S_0	S_2	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
22	S_0	S_2	S_2	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
23	S_0	S_3	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
24	S_0	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2
25	S_1	S_1	S_1	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	5
26	S_1	S_1	S_1	S_1	S_2	S_4	S_4	S_5	4
27	S_1	S_1	S_1	S_1	S_3	S_3	S_4	S_5	4
28	S_1	S_1	S_1	S_1	S_4	S_4	S_4	S_5	3
29	S_2	S_2	S_2	S_2	S_2	S_3	S_4	S_5	4
30	S_2	S_2	S_2	S_2	S_2	S_4	S_4	S_5	3
31	S_3	S_3	S_3	S_3	S_3	S_3	S_4	S_5	3
32	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_5	2

Слід зазначити, що реальна кількість можливих варіантів планів сортування письмової кореспонденції в МПЗ ФТ і МПЗ АТ суттєво менше наведеної у табл. 2, 3, 4, 5.

Це стосується, перш за все, вибору висхідного об'єкта поштового зв'язку першого сортування.

Так, якщо для цього немає переконливих заперечень, при об'єднанні правила першого сортування і правила зумовленого сортування впливає доцільність виконання першого сортування у висхідному об'єкті найвищого рівня ієрархії (ГВ або ЗВ). При цьому варіанти планів сортування 3, 4; 5, 6 табл. 2 переходять у варіанти 1, 2; варіанти планів сортування 5...8; 9...12 табл. 3 переходять у варіанти 1...4; варіанти планів сортування 5...8; 9...12; 13...16 табл. 4 переходять у варіанти 1...4; варіанти планів сортування 9...16; 17...24; 25...32 табл. 5 – у варіанти 1...8.

Завдяки цьому реальна кількість можливих варіантів планів сортування скорочується в МПЗ ФТ1 з 6 до 2, в МПЗ ФТ2 з 12 до 4, в МПЗ АТ1 з 16 до 4, а в МПЗ АТ2 з 32 до 8.

У табл. 6 наведено значення мінімальної, середньої та максимальної кількості сортувань письмової кореспонденції в мережах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

Таблиця 6 – Значення кількості сортувань письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку

Значення кількості сортувань	МПЗ ФТ1	МПЗ ФТ2	МПЗ АТ1	МПЗ АТ2
Мінімальні	2	2	2	2
Середні	2,5	3	3	3,5
Максимальні	3	4	4	5

На вартість сортування письмової кореспонденції суттєво впливає не лише кількість її сортувань, а й кількість об'єктів поштового зв'язку, в яких воно провадиться.

Так, при здійсненні двох етапів сортування в одному об'єкті поштового зв'язку, пачки письмової кореспонденції, відсортовані на першому етапі, безпосередньо передаються на робочі місця другого етапу сортування, внаслідок чого процес сортування має безперервний характер, а додаткові операції з формування постпакетів, сортування постпакетів, формування мішків, сортування мішків та відправлення мішків виконуються лише один раз.

При здійсненні двох етапів сортування в різних об'єктах поштового зв'язку, пачки письмової кореспонденції, відсортовані на першому етапі в одних об'єктах поштового зв'язку, перевозяться поштовим транспортом до інших об'єктів поштового зв'язку для виконання другого етапу сортування, внаслідок чого процес сортування розривається на тривалий час (як мінімум – на декілька годин), а зазначені додаткові операції повинні виконуватися в кожному з цих об'єктів. Крім того, до згаданих додаткових операцій у другому об'єкті поштового зв'язку додаються операції приймання мішків, розкриття мішків, виймання постпакетів, розкриття постпакетів перед другим етапом сортування.

У табл. 7 наведено основні операції, що виконуються у вузлах поштового зв'язку за різних рівнів транзитного оброблення письмової кореспонденції. Прийнято аббревіатури: К – контейнер, М – мішок, П – постпакет, Л – лист.

Таблиця 7 – Операції транзитного оброблення письмової кореспонденції

Рівень транзитного оброблення	Операції транзитного оброблення											
	Розвантаження К	Розкриття К	Розкриття М	Розкриття П	Сортування Л	Формування П	Сортування П	Формування М	Сортування М	Формування К	Сортування К	Завантаження К
1	X										X	X
2	X	X							X	X	X	X
3	X	X	X				X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Якщо до операцій транзитного оброблення пошти, наведених у табл. 7, додати не наведені в ній операції з перевірки відповідності контейнерів (мішків,

постпакетів) супровідній документації у місцях надходження; транспортування контейнерів (мішків, постпакетів) від місць надходження до місць оброблення; складання супровідної документації на відправлення контейнерів (мішків, постпакетів) у місцях оброблення; транспортування контейнерів (мішків, постпакетів) від місць оброблення до місць відправлення; перевірки відповідності контейнерів (мішків, постпакетів) супровідній документації у місцях відправлення та деяких інших операцій, стане зрозумілим, чому транзитне оброблення суттєво збільшує як вартість, так і строки пересилання письмової кореспонденції.

1.3. Аналіз методів сортування поштових одиниць

Можливі два основні методи сортування поштових одиниць: метод виділення напрямів і метод групування напрямів.

Згідно з першим методом на кожному з етапів сортування в кожний з $n - 1$ накопичувачів направляються поштові одиниці чергових $n - 1$ напрямів, тобто виділяються $n - 1$ зазначених напрямів, решта направляється в n -й (збірний) накопичувач, з якого на наступному етапі сортування знову виділяються $n - 1$ напрямів аж доки всі поштові одиниці не будуть відсортовані за своїми напрямками.

Поштові одиниці за напрямом N_i будуть сортуватися

$$S_i = \left\lceil \frac{i}{n-1} \right\rceil$$

разів, де $\lceil X \rceil$ – значення X , округлене до найближчого більшого цілого числа.

Виходячи з цього, загальна кількість етапів сортування складе

$$k = \left\lceil \frac{m-1}{n-1} \right\rceil$$

з урахуванням того, що поштові одиниці останнього напрямку сортування автоматично залишаються в n -му накопичувачі, а середня кількість сортувань однієї поштової одиниці

$$S = \sum_{i=1}^{m-1} v_i \left\lceil \frac{i}{n-1} \right\rceil + v_m \left\lceil \frac{m-1}{n-1} \right\rceil \leq \sum_{i=1}^m v_i \left\lceil \frac{i}{n-1} \right\rceil.$$

Згідно з другим методом на кожному з етапів сортування поштові одиниці поділяються за напрямками сортування на n груп, кожна з яких направляється у відповідний накопичувач, кожна з зазначених груп поштових одиниць на наступному етапі сортування знов поділяється на n груп, аж доки в кожному накопичувачі не опиняться поштові одиниці лише одного напрямку.

Подаючи кількість напрямів сортування у виді

$$n^{k-1} < m \leq n^k,$$

одержимо середню кількість сортувань однієї поштової одиниці

$$k - 1 < S \leq k,$$

причому поштові одиниці за напрямими B_1, B_2, \dots, B_r пройдуть $k - 1$ етапів сортування, а поштові одиниці за напрямими $B_{r+1}, B_{r+2}, \dots, B_m$ – k етапів сортування, внаслідок чого середня кількість сортувань однієї поштової одиниці складе

$$S = (k-1) \sum_{i=1}^r v_i + k \sum_{i=r+1}^m v_i = k - \sum_{i=1}^r v_i.$$

Значення r може бути одержано з виразу

$$r = \left[\frac{n^k - m}{n - 1} \right],$$

де $[X]$ – ціла частина X .

На практиці звичайно використовують комбінований метод сортування, в якому на першому або на першому і наступних етапах сортування частина напрямів виділяється, а решта групується.

На рис. 8 наведено приклади сортування поштових одиниць на 100 напрямів за наявності 10 накопичувачів (a – методом виділення напрямів, b – методом групування напрямів, c – комбінованим методом). Цифри в овалах – групи напрямів, цифри в колах – виділені напрями, цифри в прямокутниках – етапи сортування.

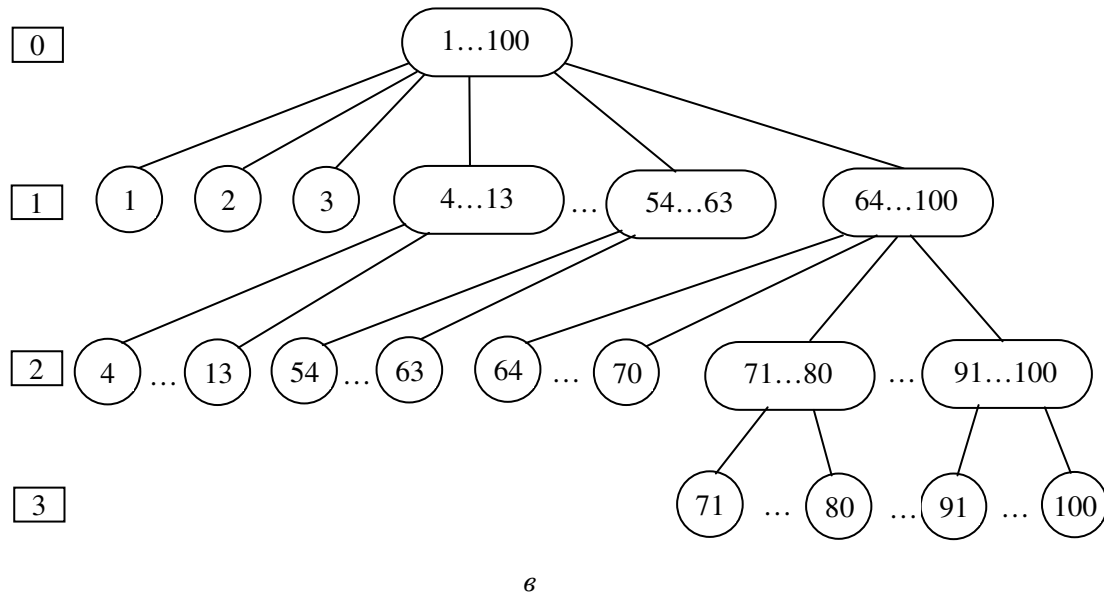
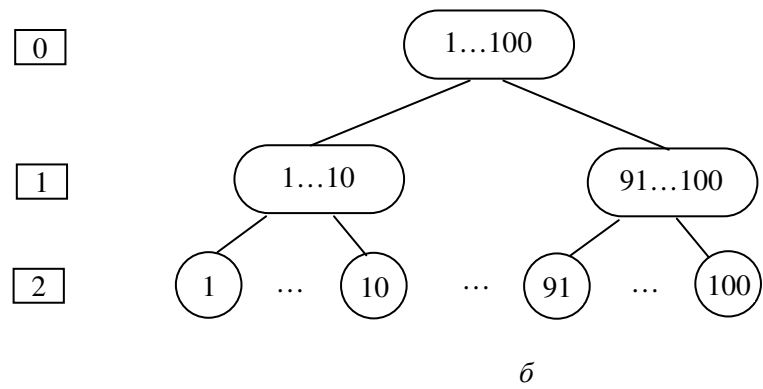
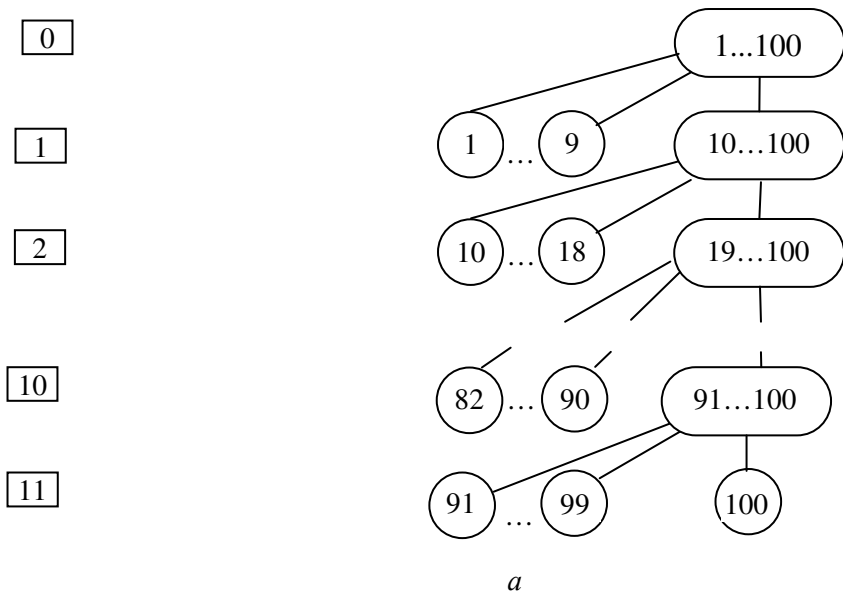


Рисунок 8 – Приклади сортування поштових одиниць

Середня кількість сортувань однієї поштової одиниці складає:

– в схемі рис. 8, *a*

$$S = (v_1 + v_2 + \dots + v_9) + 2(v_{10} + v_{11} + \dots + v_{18}) + \dots + 11(v_{91} + v_{92} + \dots + v_{99}) + 11v_{100};$$

– в схемі рис. 8, б

$$S = 2;$$

– в схемі рис. 8, в

$$S = (v_1 + v_2 + v_3) + 2(v_4 + v_5 + \dots + v_{70}) + 3(v_{71} + v_{72} + \dots + v_{100}).$$

Оптимальне співвідношення кількості накопичувачів для напрямів, що виділяються, і для напрямів, що групуються, в схемі комбінованого сортування може бути знайдено з таких міркувань.

Візьмемо за основу схему рис. 8, б, в якій $S = 2$.

Початковий розподіл напрямів сортування за накопичувачами

$$R_0 = \{B_1 \dots B_{10}, B_{11} \dots B_{20}, \dots, B_{91} \dots B_{100}\},$$

за якого в кожний з накопичувачів $A_1 \dots A_{10}$ потрапляють поштові одиниці 10 напрямів.

Виділимо напрям B_1 , якому відповідає розподіл напрямів сортування

$$R_1 = \{B_1, B_2 \dots B_{11}, B_{12} \dots B_{21}, \dots, B_{82} \dots B_{100}\}.$$

З розподілу R_1 видно, що в накопичувач A_1 потрапляють поштові одиниці одного напрямку, в накопичувачі $A_2 \dots A_9$ – 10 напрямів, в накопичувач A_{10} – 19 напрямів.

З зазначених 19 напрямів на другому етапі сортування виділяються 9 і на третьому етапі 10 напрямів.

Таким чином, виділення напрямку B_1 , тобто зменшення на одиницю кількості його сортувань, призводить до збільшення на одиницю кількості сортувань 10 напрямів ($B_{91} \dots B_{100}$).

Очевидно, що при виконанні нерівності

$$v_1 > v_{91} + v_{92} + \dots + v_{100}$$

виділення напрямку B_1 доцільно, а при невиконанні – недоцільно.

Якщо виділення напрямку B_1 доцільно, виділимо напрям B_2 , якому відповідає розподіл напрямів сортування

$$R_2 = \{B_1, B_2, B_3 \dots B_{12}, B_{13} \dots B_{22}, \dots, B_{73} \dots B_{100}\}.$$

Виділення напрямку B_2 доцільно, якщо виконується нерівність

$$v_2 > v_{81} + v_{82} + \dots + v_{90},$$

і недоцільно, якщо вона не виконується.

Якщо виділення напрямку B_2 доцільно, виділимо напрям B_3 , якому відповідає розподіл напрямів сортування

$$R_3 = \{B_1, B_2, B_3, B_4 \dots B_{13}, B_{14} \dots B_{23}, \dots, B_{64} \dots B_{100}\}.$$

Виділення напрямку B_3 доцільно, якщо виконується нерівність

$$v_3 > v_{71} + v_{72} + \dots + v_{80},$$

і недоцільно, якщо вона не виконується.

Зазначений процес послідовного порівняння ймовірностей напрямів сортування закінчується, якщо чергова нерівність не виконується (в разі виконання всіх нерівностей одержимо схему рис. 8, а; в разі невиконання першої нерівності – схему рис. 8, б; в разі виконання першої, другої й третьої нерівності та невиконання четвертої нерівності – схему рис. 8, в).

Вибір тієї чи іншої схеми сортування визначається заданим розподілом ймовірностей напрямів сортування.

Розглянемо три приклади розподілу ймовірностей напрямів сортування поштових одиниць для $n = 10$, $m = 100$, які призводять до зазначених схем сортування.

Приклад 1. Ймовірності напрямів сортування задані як члени геометричної прогресії, що спадає,

$$v_1 = a, v_2 = aq, v_3 = aq^2, \dots, v_m = aq^{m-1}$$

зі знаменником q і значенням $a = \frac{1-q}{1-q^m}$.

$$\text{Нехай } q = \frac{1}{2}, \text{ тоді } a = \frac{1 - \frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2^{100}}} \approx \frac{1}{2},$$

отже $v_1 = \frac{1}{2}, v_2 = \frac{1}{2^2}, v_3 = \frac{1}{2^3}, \dots, v_{100} = \frac{1}{2^{100}}$.

Оскільки сума ймовірностей $v_1 + v_2 + \dots + v_{100} \approx 1$,

$$v_1 > v_2 + v_3 + \dots + v_{100},$$

$$v_2 > v_3 + v_4 + \dots + v_{100},$$

$$v_3 > v_4 + v_5 + \dots + v_{100},$$

тобто будь-яка ймовірність

$$v_k > v_{k+1} + v_{k+2} + \dots + v_m,$$

внаслідок чого виділення всіх напрямів сортування доцільно.

Схему сортування для цього прикладу наведено на рис. 8, а.

Середня кількість сортувань однієї поштової одиниці складає

$$S = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{2^9}\right) + 2\left(\frac{1}{2^{10}} + \frac{1}{2^{11}} + \dots + \frac{1}{2^{18}}\right) + \dots + 11\left(\frac{1}{2^{91}} + \frac{1}{2^{92}} + \dots + \frac{1}{2^{100}}\right) = 1,001946.$$

Приклад 2. Всі напрями сортування рівноймовірні

$$v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_{100} = 0,01.$$

Очевидно, що

$$v_1 < v_{91} + v_{92} + \dots + v_{100},$$

внаслідок чого виділення напрямів сортування недоцільно.

Схему сортування для цього прикладу наведено на рис. 8, б.

Середня кількість сортувань однієї поштової одиниці складає

$$S = 2.$$

Приклад 3. Ймовірності напрямів сортування, як і в прикладі 1, задані як члени геометричної прогресії, що спадає.

Сума k членів геометричної прогресії

$$v_1 + v_2 + \dots + v_k = a \frac{1 - q^k}{1 - q},$$

отже для знаходження суми $v_{91} + v_{92} + \dots + v_{100}$ слід від суми 100 членів прогресії відняти суму її 90 членів, для знаходження суми $v_{81} + v_{82} + \dots + v_{90}$ слід від суми 90 членів прогресії відняти суму її 80 членів і т.д.

Нехай $q = 0,965$, тоді $a = \frac{1-0,965}{1-0,965^{100}} = 0,036022$.

Порівнюємо v_1 з $v_{91} + v_{92} + \dots + v_{100}$:

$$v_1 = 0,036022,$$

$$v_{91} + v_{92} + \dots + v_{100} = 0,036022 \frac{1-0,965^{100}}{1-0,965} - 0,036022 \frac{1-0,965^{90}}{1-0,965} = 0,012493.$$

Оскільки $v_1 > v_{91} + v_{92} + \dots + v_{100}$, виділення напрямку B_1 доцільно.

Порівнюємо v_2 з $v_{81} + v_{82} + \dots + v_{90}$:

$$v_2 = 0,036022 \cdot 0,965 = 0,034761,$$

$$v_{81} + v_{82} + \dots + v_{90} = 0,036022 \frac{1-0,965^{90}}{1-0,965} - 0,036022 \frac{1-0,965^{80}}{1-0,965} = 0,017840.$$

Оскільки $v_2 > v_{81} + v_{82} + \dots + v_{90}$, виділення напрямку B_2 доцільно.

Порівнюємо v_3 з $v_{71} + v_{72} + \dots + v_{80}$:

$$v_3 = 0,036022 \cdot 0,965^2 = 0,033544,$$

$$v_{71} + v_{72} + \dots + v_{80} = 0,036022 \frac{1-0,965^{80}}{1-0,965} - 0,036022 \frac{1-0,965^{70}}{1-0,965} = 0,025475.$$

Оскільки $v_3 > v_{71} + v_{72} + \dots + v_{80}$, виділення напрямку B_3 доцільно.

Порівнюємо v_4 з $v_{61} + v_{62} + \dots + v_{70}$:

$$v_4 = 0,036022 \cdot 0,965^3 = 0,033370,$$

$$v_{61} + v_{62} + \dots + v_{70} = 0,036022 \frac{1-0,965^{70}}{1-0,965} - 0,036022 \frac{1-0,965^{60}}{1-0,965} = 0,036379.$$

Оскільки $v_4 < v_{61} + v_{62} + \dots + v_{70}$, виділення напрямку B_4 недоцільно.

Таким чином, доцільно виділення напрямів сортування B_1, B_2, B_3 .

Схему сортування для цього прикладу наведено на рис. 8, в.

Середня кількість сортувань однієї поштової одиниці порівняно з початковою схемою групування напрямів ($S = 2$) зменшується на $v_1 + v_2 + v_3$ і збільшується на $v_{71} + v_{72} + \dots + v_{100}$, отже

$$S = 2 - (0,036022 + 0,034761 + 0,033544) + (0,012493 + 0,018840 + 0,025475) = 1,952481.$$

У загальному випадку для повного використання всіх накопичувачів сортувальної машини на останньому етапі сортування кількість напрямів сортування повинна складати

$$m = i(n-1) + 1,$$

а кількість напрямів сортування, що перерозподіляються між накопичувачами,

$$g = j(n-1),$$

де i та j – натуральні числа.

Для виконання першої умови кількість напрямів сортування m може доповнюватися деякою кількістю Δm фіктивних напрямів з нульовими ймовірностями, яке може бути знайдено з виразу

$$\Delta m = \left\lceil \frac{m-1}{n-1} \right\rceil (n-1) - m + 1,$$

а для виконання другої умови – кількість напрямів сортування, що перерозподіляються, повинна бути кратною $n-1$.

Так, при $m = 537$, $n = 16$ значення $\Delta m = 4$, отже для виконання першої умови слід доповнити значення m до 541, а для виконання другої – вибрати число напрямів сортування, що перерозподіляються між накопичувачами, з ряду 15, 30, 45 і т.д.

1.4. Організація багатоетапного сортування поштових одиниць

Упровадження багатоетапного сортування поштових одиниць викликане тим, що необхідна кількість напрямів сортування багаторазово перевищує кількість накопичувачів ЛСМ у системах автоматизованого сортування пошти.

Окрім власне сортування повинно бути забезпечене упакування поштових одиниць до вузлів різних рівнів ієрархії.

Традиційна стратегія багатоетапного автоматизованого сортування заснована на низхідному сортуванні поштових одиниць в об'єктах поштового зв'язку вищих рівнів ієрархії на підпорядковані їм об'єкти поштового зв'язку нижчих рівнів ієрархії та фактично повторює традиційну стратегію ручного сортування поштових одиниць.

Приймаючи до уваги, що при такому сортуванні в будь-якому об'єкті поштового зв'язку вхідний потік поштових одиниць розділяється на декілька вихідних потоків, загальна схема багатоетапного сортування приймає вид піраміди, у вершині якої розташований об'єкт поштового зв'язку найвищого рівня ієрархії, а в основі – об'єкти поштового зв'язку найнижчого рівня ієрархії.

Схему традиційного автоматизованого триетапного сортування й упакування поштових одиниць наведено на рис. 9. Враховуючи, що кількість напрямів сортування m , кількість накопичувачів ЛСМ n і кількість етапів сортування k пов'язані співвідношенням $m = n^k$, реальна кількість етапів сортування не перевищує трьох.

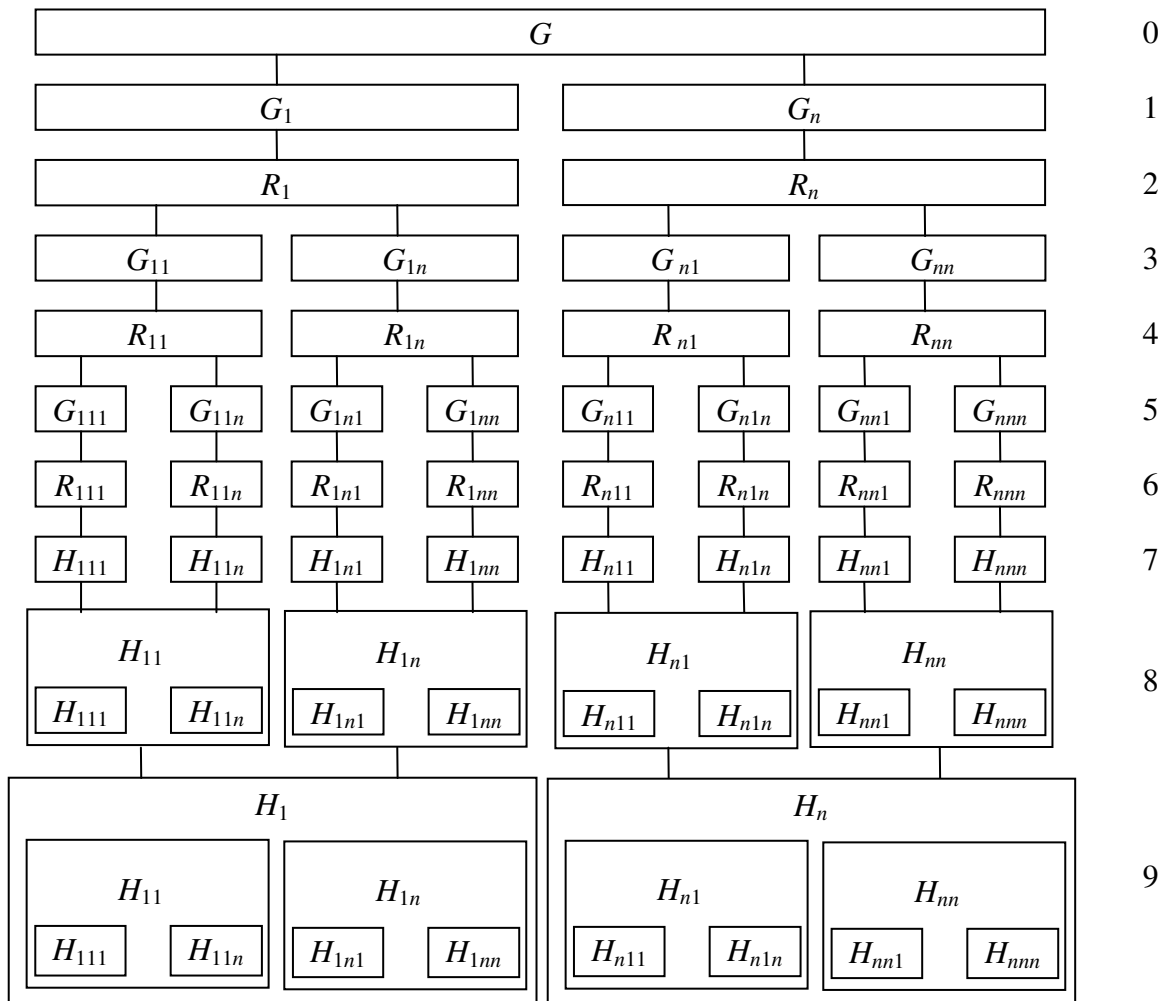


Рисунок 9 – Традиційна схема автоматизованого триетапного сортування й упакування поштових одиниць

Цифрами на рис. 9 позначені:

- 0 – несортована сукупність поштових одиниць G ;
- 1 – сортувальні групи першого етапу сортування G_i ($i = 1, 2, \dots, n$);
- 2 – робочі комірки проміжного зберігання сортувальних груп або упаковок сортувальних груп першого етапу сортування R_i ($i = 1, 2, \dots, n$);
- 3 – сортувальні групи другого етапу сортування G_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$);
- 4 – робочі комірки проміжного зберігання сортувальних груп або упаковок сортувальних груп другого етапу сортування R_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$);
- 5 – сортувальні групи третього етапу сортування G_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$);
- 6 – робочі комірки проміжного зберігання сортувальних груп або упаковок сортувальних груп третього етапу сортування R_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$);
- 7 – упаковки сортувальних груп третього етапу сортування H_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$);
- 8 – упаковки сортувальних груп другого етапу сортування H_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$), що містять в собі упаковки сортувальних груп третього етапу сортування H_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$);

9 – упаковки сортувальних груп першого етапу сортування H_i ($i = 1, 2, \dots, n$), що містять в собі упаковки сортувальних груп другого етапу сортування H_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$), що у свою чергу містять в собі упаковки сортувальних груп третього етапу сортування H_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$).

У залежності від порядку формування й упакування сортувальних груп можливі два основні методи організації багатоетапного сортування.

Згідно з першим методом упакування сортувальних груп виконується лише після повного завершення їхнього формування.

Загальний порядок сортування й упакування сортувальних груп за першим методом передбачає наступні дії:

перший етап сортування

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\} \rightarrow \{R_1, R_2, \dots, R_n\};$$

другий етап сортування

$$R_1 = G_1 = \{G_{11}, G_{12}, \dots, G_{1n}\} \rightarrow \{R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1n}\};$$

$$R_2 = G_2 = \{G_{21}, G_{22}, \dots, G_{2n}\} \rightarrow \{R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$R_n = G_n = \{G_{n1}, G_{n2}, \dots, G_{nn}\} \rightarrow \{R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{nn}\};$$

третій етап сортування

$$R_{11} = G_{11} = \{G_{111}, G_{112}, \dots, G_{11n}\} \rightarrow \{R_{111}, R_{112}, \dots, R_{11n}\};$$

$$R_{12} = G_{12} = \{G_{121}, G_{122}, \dots, G_{12n}\} \rightarrow \{R_{121}, R_{122}, \dots, R_{12n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$R_{1n} = G_{1n} = \{G_{1n1}, G_{1n2}, \dots, G_{1nn}\} \rightarrow \{R_{1n1}, R_{1n2}, \dots, R_{1nn}\};$$

$$R_{21} = G_{21} = \{G_{211}, G_{212}, \dots, G_{21n}\} \rightarrow \{R_{211}, R_{212}, \dots, R_{21n}\};$$

$$R_{22} = G_{22} = \{G_{221}, G_{222}, \dots, G_{22n}\} \rightarrow \{R_{221}, R_{222}, \dots, R_{22n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$R_{2n} = G_{2n} = \{G_{2n1}, G_{2n2}, \dots, G_{2nn}\} \rightarrow \{R_{2n1}, R_{2n2}, \dots, R_{2nn}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$R_{n1} = G_{n1} = \{G_{n11}, G_{n12}, \dots, G_{n1n}\} \rightarrow \{R_{n11}, R_{n12}, \dots, R_{n1n}\};$$

$$R_{n2} = G_{n2} = \{G_{n21}, G_{n22}, \dots, G_{n2n}\} \rightarrow \{R_{n21}, R_{n22}, \dots, R_{n2n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$R_{nn} = G_{nn} = \{G_{nn1}, G_{nn2}, \dots, G_{nnn}\} \rightarrow \{R_{nn1}, R_{nn2}, \dots, R_{nnn}\};$$

формування упаковок сортувальних груп третього етапу сортування

$$\{R_{111}, R_{112}, \dots, R_{11n}\} \rightarrow \{H_{111}, H_{112}, \dots, H_{11n}\} \rightarrow \{R_{111}, R_{112}, \dots, R_{11n}\};$$

$$\{R_{121}, R_{122}, \dots, R_{12n}\} \rightarrow \{H_{121}, H_{122}, \dots, H_{12n}\} \rightarrow \{R_{121}, R_{122}, \dots, R_{12n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{R_{1n1}, R_{1n2}, \dots, R_{1nn}\} \rightarrow \{H_{1n1}, H_{1n2}, \dots, H_{1nn}\} \rightarrow \{R_{1n1}, R_{1n2}, \dots, R_{1nn}\};$$

$$\{R_{211}, R_{212}, \dots, R_{21n}\} \rightarrow \{H_{211}, H_{212}, \dots, H_{21n}\} \rightarrow \{R_{211}, R_{212}, \dots, R_{21n}\};$$

$$\{R_{221}, R_{222}, \dots, R_{22n}\} \rightarrow \{H_{221}, H_{222}, \dots, H_{22n}\} \rightarrow \{R_{221}, R_{222}, \dots, R_{22n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{R_{2n1}, R_{2n2}, \dots, R_{2nn}\} \rightarrow \{H_{2n1}, H_{2n2}, \dots, H_{2nn}\} \rightarrow \{R_{2n1}, R_{2n2}, \dots, R_{2nn}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{R_{n11}, R_{n12}, \dots, R_{n1n}\} \rightarrow \{H_{n11}, H_{n12}, \dots, H_{n1n}\} \rightarrow \{R_{n11}, R_{n12}, \dots, R_{n1n}\};$$

$$\{R_{n21}, R_{n22}, \dots, R_{n2n}\} \rightarrow \{H_{n21}, H_{n22}, \dots, H_{n2n}\} \rightarrow \{R_{n21}, R_{n22}, \dots, R_{n2n}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{R_{nn1}, R_{nn2}, \dots, R_{nnn}\} \rightarrow \{H_{nn1}, H_{nn2}, \dots, H_{nnn}\} \rightarrow \{R_{nn1}, R_{nn2}, \dots, R_{nnn}\};$$

формування упаковок сортувальних груп другого етапу сортування

$$H_{11} = G_{11} = \{R_{111}, R_{112}, \dots, R_{11n}\} \rightarrow R_{11};$$

$$H_{12} = G_{12} = \{R_{121}, R_{122}, \dots, R_{12n}\} \rightarrow R_{12};$$

$$H_{1n} = G_{1n} = \{R_{1n1}, R_{1n2}, \dots, R_{1nn}\} \rightarrow R_{1n};$$

$$H_{21} = G_{21} = \{R_{211}, R_{212}, \dots, R_{21n}\} \rightarrow R_{21};$$

$$H_{22} = G_{22} = \{R_{221}, R_{222}, \dots, R_{22n}\} \rightarrow R_{22};$$

$$H_{2n} = G_{2n} = \{R_{2n1}, R_{2n2}, \dots, R_{2nn}\} \rightarrow R_{2n};$$

$$H_{n1} = G_{n1} = \{R_{n11}, R_{n12}, \dots, R_{n1n}\} \rightarrow R_{n1};$$

$$H_{n2} = G_{n2} = \{R_{n21}, R_{n22}, \dots, R_{n2n}\} \rightarrow R_{n2};$$

$$H_{nn} = G_{nn} = \{R_{nn1}, R_{nn2}, \dots, R_{nnn}\} \rightarrow R_{nn};$$

формування упаковок сортувальних груп першого етапу сортування

$$H_1 = G_1 = \{R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1n}\} \rightarrow R_1;$$

$$H_2 = G_2 = \{R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2n}\} \rightarrow R_2;$$

$$H_n = G_n = \{R_{n1}, R_{n2}, \dots, R_{nn}\} \rightarrow R_n.$$

Кількість комірок R_i ($i = 1, 2, \dots, n$) складає n ;

кількість комірок R_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) складає n^2 ;

кількість комірок R_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$) складає n^3 .

Загальна кількість комірок для тимчасового збереження неупакованих або упакowanych сортувальних груп за першим методом складає

$$M_1 = n + n^2 + n^3.$$

У табл. 8 наведено приклад триетапного низхідного сортування поштових одиниць за першим методом за наявності $n = 10$ накопичувачів ЛСМ A_0, A_1, \dots, A_9 . Для скорочення записів підетапи другого і третього етапів сортування, на яких відсутні сортувальні групи, не зазначені. Цифри, за якими провадиться сортування, підкреслені.

Таблиця 8 – Приклад триетапного низхідного сортування поштових одиниць за першим методом

Початкова послідовність напрямів сортування										
625, 278, 309, 018, 540, 192, 278, 777, 913, 114, 007, 596, 250, 002, 116, 257, 303, 592, 778, 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	<u>018</u> <u>007</u> <u>002</u>	<u>192</u> <u>114</u> <u>116</u>	<u>278</u> <u>278</u> <u>250</u> <u>257</u>	<u>309</u> <u>303</u>		<u>540</u> <u>596</u> <u>592</u>	<u>625</u>	<u>777</u> <u>778</u>		<u>913</u> <u>999</u>
2.0	<u>007</u> <u>002</u>	<u>018</u>								
2.1		<u>114</u> <u>116</u>								192
2.2						<u>250</u> <u>257</u>		<u>278</u> <u>278</u>		

2.3	<u>309</u> <u>303</u>								
2.5					<u>540</u>				<u>596</u> <u>592</u>
2.6			<u>625</u>						
2.7							<u>777</u> <u>778</u>		
2.9		<u>913</u>							<u>999</u>
3.0.0			<u>002</u>				<u>007</u>		
3.0.1								<u>018</u>	
3.1.1					<u>114</u>		<u>116</u>		
3.1.9			<u>192</u>						
3.2.5	<u>250</u>						<u>257</u>		
3.2.7								<u>278</u> <u>278</u>	
3.3.0					<u>303</u>				<u>309</u>
3.5.4	<u>540</u>								
3.5.9			<u>592</u>				<u>596</u>		
3.6.2						<u>625</u>			
3.7.7							<u>777</u>	<u>778</u>	
3.9.1					<u>913</u>				
3.9.9									<u>999</u>

Згідно з другим методом формування сортувальних груп чередується з їхнім упакуванням.

Загальний порядок сортування й упакування сортувальних груп за другим методом передбачає наступні дії:

перший етап сортування

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\} \rightarrow \{R_1, R_2, \dots, R_n\};$$

поточний другий етап сортування

$$R_1 = G_1 = \{G_{11}, G_{12}, \dots, G_{1n}\} \rightarrow \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}\};$$

поточний третій етап сортування

$$R_{i1} = G_{11} = \{G_{111}, G_{112}, \dots, G_{11n}\} \rightarrow \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\};$$

формування упаковок сортувальних груп поточного третього етапу сортування

$$\{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\} \rightarrow \{H_{ij1}, H_{ij2}, \dots, H_{ijn}\} \rightarrow \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\};$$

формування упаковки сортувальної групи поточного другого етапу сортування

$$H_{11} = G_{11} = \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\} \rightarrow R_{i1};$$

поточний третій етап сортування

$$R_{i2} = G_{12} = \{G_{121}, G_{122}, \dots, G_{12n}\} \rightarrow \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\};$$

формування упаковок сортувальних груп поточного третього етапу сортування

$$\{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\} \rightarrow \{H_{ij1}, H_{ij2}, \dots, H_{ijn}\} \rightarrow \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\};$$

формування упаковки сортувальної групи поточного другого етапу сортування

$$H_{12} = G_{12} = \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\} \rightarrow R_{i2};$$

.....

поточний третій етап сортування

$$R_{in} = G_{1n} = \{G_{1n1}, G_{1n2}, \dots, G_{1nn}\} \rightarrow \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\};$$

формування упаковок сортувальних груп поточного третього етапу сортування

$$\{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\} \rightarrow \{H_{ij1}, H_{ij2}, \dots, H_{ijn}\} \rightarrow \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\};$$

формування упаковки сортувальної групи поточного другого етапу сортування

$$H_{1n} = G_{1n} = \{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijn}\} \rightarrow R_{in};$$

формування упаковки сортувальної групи поточного першого етапу сортування

$$H_1 = G_1 = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}\} \rightarrow R_1;$$

.....

формування упаковки сортувальної групи поточного першого етапу сортування

$$H_2 = G_2 = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}\} \rightarrow R_2;$$

.....

формування упаковки сортувальної групи поточного першого етапу сортування

$$H_n = G_n = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in}\} \rightarrow R_n.$$

Кількість комірок R_i ($i = 1, 2, \dots, n$) складає n ;

кількість комірок R_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n$) складає n ;

кількість комірок R_{ijk} ($k = 1, 2, \dots, n$) складає n .

Загальна кількість комірок для тимчасового збереження неупакованих або упакованих сортувальних груп за другим методом складає

$$M_1 = 3n.$$

У табл. 9 наведено приклад триетапного низхідного сортування поштових одиниць за другим методом. Початкові дані збігаються з наведеними у табл. 8.

Таблиця 9 – Приклад триетапного низхідного сортування поштових одиниць за другим методом

Початкова послідовність напрямів сортування										
625, 278, 309, 018, 540, 192, 278, 777, 913, 114, 007, 596, 250, 002, 116, 257, 303, 592, 778, 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	<u>018</u> <u>007</u> <u>002</u>	<u>192</u> <u>114</u> <u>116</u>	<u>278</u> <u>278</u> <u>250</u> <u>257</u>	<u>309</u> <u>303</u>		<u>540</u> <u>596</u> <u>592</u>	<u>625</u>	<u>777</u> <u>778</u>		<u>913</u> <u>999</u>
2.0	<u>007</u> <u>002</u>	<u>018</u>								
3.0.0			<u>002</u>					<u>007</u>		
3.0.1									<u>018</u>	
2.1		<u>114</u> <u>116</u>								<u>192</u>
3.1.1					<u>114</u>		<u>116</u>			
3.1.9			<u>192</u>							
2.2						<u>250</u> <u>257</u>		<u>278</u> <u>278</u>		
3.2.5	<u>250</u>							<u>257</u>		
3.2.7									<u>278</u> <u>278</u>	

Продовження таблиці 9

2.3	309 303								
3.3.0				303					309
2.5					540				596 592
3.5.4	540								
3.5.9			592				596		
2.6			625						
3.6.2						625			
2.7							777 778		
3.7.7							777	778	
2.9		913							999
3.9.1				913					
3.9.9									999

Традиційній стратегії багатоетапного сортування поштових одиниць властивий ряд принципів недоліків, основними з яких є:

- необхідність застосування $M = (n^r - 1)/(n - 1)$ програм сортування (при $n = 100$, $r = 3$ кількість таких програм складе 10101);
- необхідність застосування від $R = 3n$ до $R = (n^{r+1} - 1)/(n - 1)$ робочих комірок для проміжного зберігання сортувальних груп або упаковок сортувальних груп між етапами сортування (при $n = 100$, $r = 3$ кількість робочих комірок складе від 300 до 1010100);
- необхідність розвантаження n накопичувачів ЛСМ після виконання сортування по кожній з $M = (n^r - 1)/(n - 1)$ програм сортування (при $n = 100$, $r = 3$ кількість таких розвантажень складе 1010100);
- необхідність почергової подачі відсортованих груп поштових одиниць з індивідуальних робочих комірок на вхід ЛСМ для виконання подальших етапів сортування;
- необхідність формування відправок поштових одиниць до відповідних об'єктів поштового зв'язку з відсортованих груп поштових одиниць, що зберігаються в різних індивідуальних робочих комірках;
- суттєві витрати ручної праці при виконанні операцій розвантаження накопичувачів ЛСМ; переміщення відсортованих груп поштових одиниць від накопичувачів ЛСМ в індивідуальні робочі комірки для їхнього проміжного зберігання; почергове переміщення відсортованих груп поштових одиниць з індивідуальних робочих комірок на вхід ЛСМ для виконання подальших етапів сортування; переміщення відсортованих груп поштових одиниць з індивідуальних робочих комірок до місць формування відправок до відповідних об'єктів поштового зв'язку;
- багаторазове (в десятки разів на другому, в сотні разів на третьому етапі сортування) падіння реальної продуктивності ЛСМ, обумовлене її вимушеними простоями під час багатократних розвантажень накопичувачів при зміні програм сортування.

Ідея запропонованої стратегії автоматизованого багатоетапного безупинного сортування поштових одиниць полягає у заміні традиційного низхідно-

го порядку сортування поштових одиниць (від об'єктів поштового зв'язку вищого рівня ієрархії до об'єктів поштового зв'язку нижчого рівня ієрархії) вихідним порядком сортування (від об'єктів поштового зв'язку нижчого рівня ієрархії до об'єктів поштового зв'язку вищого рівня ієрархії).

Приймаючи до уваги, що при такому сортуванні, як це впливає з рис. 1, у будь-якому об'єкті поштового зв'язку всі вхідні потоки об'єднуються в один вихідний потік, виникає унікальна можливість упорядкованого об'єднання всіх сортувальних груп, сформованих на попередньому етапі сортування, перед виконанням чергового етапу сортування, завдяки чому кожний етап сортування виконується одночасно для всіх зазначених груп, минаючи стадії їхнього зберігання в індивідуальних робочих комірках, а, разом з тим, виключаючи простої ЛСМ в процесі виконання всіх етапів сортування.

Розглянемо принцип безупинного сортування поштових одиниць детальніше на прикладі триетапного сортування.

Важливо підкреслити, що кількість напрямів безупинного сортування на кожному з її етапів дорівнює n (у традиційному сортуванні, як вже наголошувалося, кількість напрямів сортування складає: на першому етапі – n ; на другому етапі – n^2 ; на третьому етапі – n^3).

Довільний напрям сортування N_c при триетапному безупинному сортуванні представляється у виді сукупності напрямів сортування на кожному з цих етапів $N_c = \{N_1, N_2, N_3\}$.

Уводиться єдина нумерація зазначених напрямів сортування незалежно від рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку, яким вони відповідають.

Так, при $n = 100$, кожний з напрямів сортування представляється двозначними числами від 00 до 99, а конкретний напрям сортування – деяким числом, наприклад, $N_c = 652907$, де $N_1 = 65$ – номер напрямку сортування, що відповідає об'єкту поштового зв'язку першого рівня ієрархії; $N_2 = 29$ – номер напрямку сортування, що відповідає об'єкту поштового зв'язку другого рівня ієрархії; $N_3 = 07$ – номер напрямку сортування, що відповідає об'єкту поштового зв'язку третього рівня ієрархії.

Підкреслимо, що хоча всі напрями сортування, що представляють всі об'єкти першого рівня ієрархії (група цифр N_1), всі об'єкти другого рівня ієрархії (група цифр N_2) і всі об'єкти третього рівня ієрархії (група цифр N_3) мають співпадаючі нумерації, індивідуальність кожного конкретного напрямку сортування визначається комбінацією цифр усіх груп (у приведеному прикладі $N_c = 652907$ розглядається як напрям сортування, представлений цим шестизначним числом).

Пропоновану схему безупинного триетапного сортування й упакування поштових одиниць наведено на рис. 10.

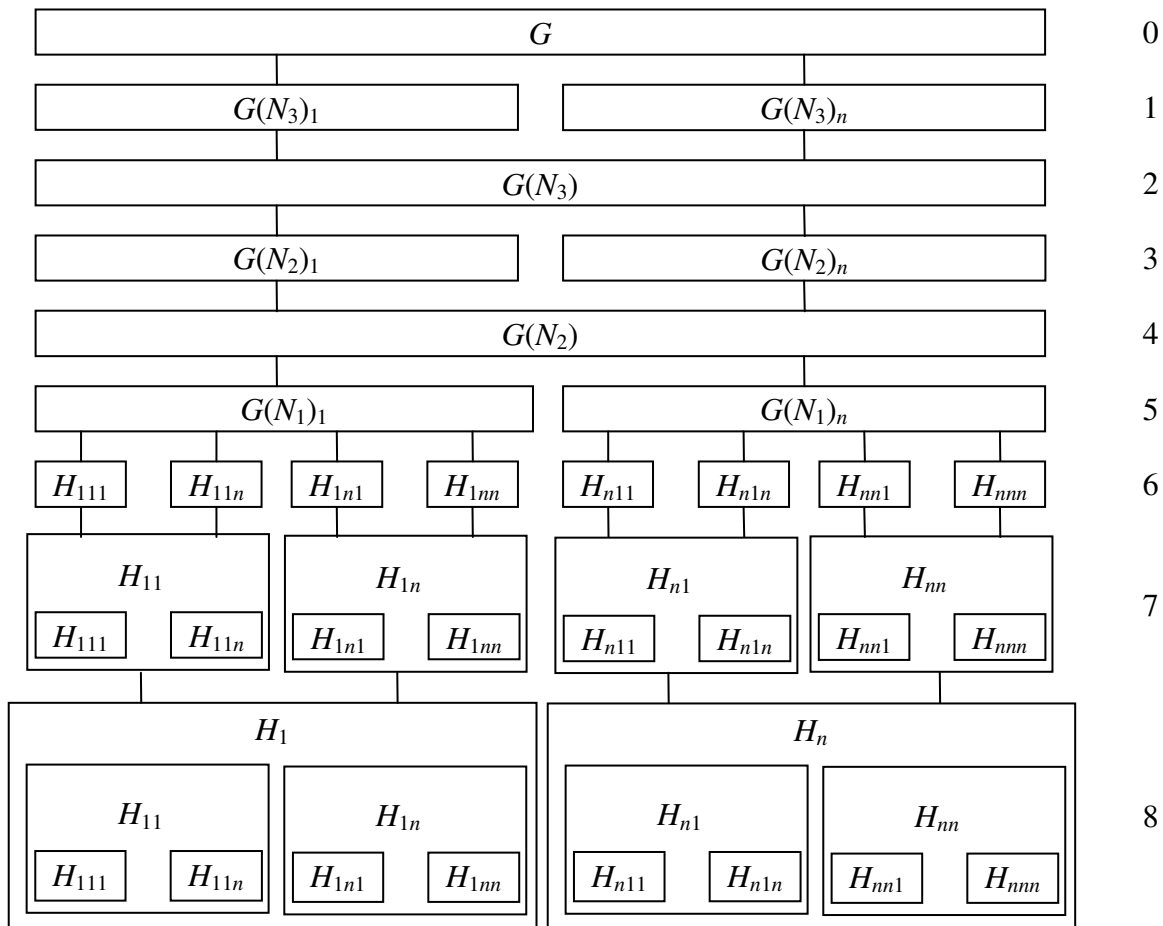


Рисунок 10 – Пропонована схема автоматизованого триетапного сортування й упакування поштових одиниць

Цифрами на рис. 10 позначені:

0 – несортована сукупність поштових одиниць G ;

1 – сортувальні групи першого етапу сортування за цифрами N_3 напрямів сортування $G(N_3)_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$);

2 – об'єднання сортувальних груп першого етапу сортування в порядку зростання значень цифр N_3 напрямів сортування $G(N_3)$;

3 – сортувальні групи другого етапу сортування за цифрами N_2 напрямів сортування $G(N_2)_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$);

4 – об'єднання сортувальних груп другого етапу сортування в порядку зростання значень цифр N_2 напрямів сортування $G(N_2)$;

5 – сортувальні групи третього етапу сортування за цифрами N_1 напрямів сортування $G(N_1)_k$ ($k = 1, 2, \dots, n$);

6 – упаковки сортувальних груп за цифрами N_3 напрямів сортування H_{kji} ($k, j, i = 1, 2, \dots, n$);

7 – упаковки сортувальних груп за цифрами N_2 напрямів сортування H_{kj} ($k, j = 1, 2, \dots, n$), що містять в собі упаковки сортувальних груп за цифрами N_3 напрямів сортування H_{kji} ($k, j, i = 1, 2, \dots, n$);

8 – упаковки сортувальних груп за цифрами N_1 напрямів сортування H_k ($k = 1, 2, \dots, n$), що містять в собі упаковки сортувальних груп за цифрами N_2 на-

прямів сортування H_{kj} ($k, j = 1, 2, \dots, n$), що у свою чергу містять в собі упаковки сортувальних груп за цифрами N_3 напрямів сортування H_{kji} ($k, j, i = 1, 2, \dots, n$).

Загальний порядок сортування й упакування сортувальних груп за пропонуванним методом передбачає наступні дії:

перший етап сортування

$$G = \{G(N_3)_1, G(N_3)_2, \dots, G(N_3)_n\} \rightarrow G(N_3)$$

другий етап сортування

$$G(N_3) = \{G(N_2)_1, G(N_2)_2, \dots, G(N_2)_n\} \rightarrow G(N_2);$$

третій етап сортування

$$G(N_2) = \{G(N_1)_1, G(N_1)_2, \dots, G(N_1)_n\};$$

формування упаковок сортувальних груп третього етапу сортування

$$G(N_1)_1 \rightarrow \{H_{111}, H_{112}, \dots, H_{11n}\}, \{H_{121}, H_{122}, \dots, H_{12n}\}, \dots, \{H_{1n1}, H_{1n2}, \dots, H_{1nn}\};$$

$$G(N_1)_2 \rightarrow \{H_{211}, H_{212}, \dots, H_{21n}\}, \{H_{221}, H_{222}, \dots, H_{22n}\}, \dots, \{H_{2n1}, H_{2n2}, \dots, H_{2nn}\};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$G(N_1)_n \rightarrow \{H_{n11}, H_{n12}, \dots, H_{n1n}\}, \{H_{n21}, H_{n22}, \dots, H_{n2n}\}, \dots, \{H_{nn1}, H_{nn2}, \dots, H_{nnn}\};$$

формування упаковок сортувальних груп другого етапу сортування

$$\{H_{111}, H_{112}, \dots, H_{11n}\} \rightarrow H_{11};$$

$$\{H_{121}, H_{122}, \dots, H_{12n}\} \rightarrow H_{12};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{H_{1n1}, H_{1n2}, \dots, H_{1nn}\} \rightarrow H_{1n};$$

$$\{H_{211}, H_{212}, \dots, H_{21n}\} \rightarrow H_{21};$$

$$\{H_{221}, H_{222}, \dots, H_{22n}\} \rightarrow H_{22};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{H_{2n1}, H_{2n2}, \dots, H_{2nn}\} \rightarrow H_{2n};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{H_{n11}, H_{n12}, \dots, H_{n1n}\} \rightarrow H_{n1};$$

$$\{H_{n21}, H_{n22}, \dots, H_{n2n}\} \rightarrow H_{n2};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{H_{nn1}, H_{nn2}, \dots, H_{nnn}\} \rightarrow H_{nn};$$

формування упаковок сортувальних груп першого етапу сортування

$$\{H_{11}, H_{12}, \dots, H_{1n}\} \rightarrow H_1;$$

$$\{H_{21}, H_{22}, \dots, H_{2n}\} \rightarrow H_2;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\{H_{n1}, H_{n2}, \dots, H_{nn}\} \rightarrow H_n.$$

У табл. 10 наведено приклад безупинного триетапного сортування поштових одиниць при поданні кожної з груп напрямів сортування N_1, N_2, N_3 однією десятковою цифрою (усього при цьому можливо 1000 напрямів сортування від 000 до 999). Цифри напрямів, за якими провадиться сортування, підкреслені. Початкові дані збігаються з наведеними у табл. 8.

Таблиця 10 – Приклад безупинного триетапного сортування
ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ

Початкова послідовність напрямів сортування									
625, 278, 309, 018, 540, 192, 278, 777, 913, 114, 007, 596, 250, 002, 116, 257, 303, 592, 778, 999									
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ після першого етапу сортування									
A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
540 250		192 002 592	913 303	114	625	596 116	777 007 257	278 018 278 778	309 999
Послідовність напрямів сортування після першого етапу сортування									
540, 250, 192, 002, 592, 913, 303, 114, 625, 596, 116, 777, 007, 257, 278, 018, 278, 778, 309, 999									
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ після другого етапу сортування									
A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
002 303 007 309	913 114 116 018	625		540	250 257		777 278 278 778		192 592 596 999
Послідовність напрямів сортування після другого етапу сортування									
002, 303, 007, 309, 913, 114, 116, 018, 625, 540, 250, 257, 777, 278, 278, 778, 192, 592, 596, 999									
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами ЛСМ після третього етапу сортування									
A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
002 007 018	114 116 192	250 257 278 278	303 309		540 592 596	625	777 778		913 999
Послідовність напрямів сортування після третього етапу сортування									
002, 007, 018, 114, 116, 192, 250, 257, 278, 278, 303, 309, 540, 592, 596, 625, 777, 778, 913, 999									

Після закінчення третього етапу сортування в накопичувачах $A_0, A_1, A_2, A_3, A_5, A_6, A_7, A_9$ отримані групи поштових одиниць, відсортовані за всіма трьома цифрами напрямів сортування; відсутність поштових одиниць в накопичувачах A_4, A_8 свідчить про відсутність поштових одиниць, що направляються у відповідні об'єкти першого рівня ієрархії (і, природно, в підпорядковані їм об'єкти другого і третього рівнів ієрархії).

Приймаючи до уваги, що напрями сортування N_1 представляють об'єкти поштового зв'язку першого рівня ієрархії, до яких прямують відсортовані поштові одиниці, є можливість сформувати упаковки поштових одиниць до об'єктів поштового зв'язку всіх рівнів ієрархії і направити їх до зазначених об'єктів поштового зв'язку першого рівня ієрархії, або безпосередньо направити отримані в накопичувачах ЛСМ відсортовані групи поштових одиниць до зазначених об'єктів поштового зв'язку першого рівня ієрархії, де вони без додаткового сортування будуть розділені на відсортовані групи поштових одиниць, що направляються до підпорядкованих їм об'єктів поштового зв'язку другого і третього рівнів ієрархії.

Для зручності такого розділення може виявитися доцільною установка розподільвальних прокладок між сортувальними групами поштових одиниць при зміні значень цифр в покажчиках напрямів сортування N_3 і N_2 в процесі виконання третього етапу сортування за покажчиком напрямів сортування N_1 .

З табл. 10 також випливає, що запропонована стратегія безупинного багатoprogramного сортування зводиться до впорядкування напрямів сортування поштових одиниць в порядку їхнього зростання. Оскільки таке ж завдання ви-

рішується в стратегії маршрутного сортування поштових одиниць, не можна не відзначити єдність принципів обох стратегій сортування.

Із зіставлення схем рис. 9 і рис. 10 випливає, що схема традиційного сортування передбачає проведення послідовного сортування як за етапами, так і за групами цифр напрямів сортування, внаслідок чого може бути охарактеризована як послідовно-послідовна, в той час як схема безупинного сортування передбачає послідовне сортування за етапами і паралельне сортування за групами цифр напрямів сортування, у зв'язку з чим може бути охарактеризована як послідовно-паралельна.

У табл. 11 наведено основні показники традиційної і пропонованої стратегій багатоетапного сортування поштових одиниць при $n = 100$, $r = 3$.

Таблиця 11 – Показники багатоетапного сортування поштових одиниць

Показники	Традиційна стратегія	Пропонована стратегія
Порядок сортування	Низхідний	Висхідний
Кількість програм сортування	10101	3
Кількість розвантажень накопичувачів ЛСМ	1010100	300
Простої ЛСМ в процесі виконання етапів сортування	Після виконання кожної з 10101 програм сортування	Після виконання кожної з 3 програм сортування
Затрати ручної праці на розвантаження накопичувачів ЛСМ	Розвантаження 100 накопичувачів після виконання кожної з 10101 програм сортування	Розвантаження 100 накопичувачів після виконання кожної з 3 програм сортування
Затрати обладнання для проміжного зберігання відсортованих груп поштових одиниць	Мінімум 300 робочих комірок, максимум 1010100 робочих комірок	Відсутні
Формування відправок поштових одиниць до одного об'єкта поштового зв'язку	Зі 100 робочих комірок	З одного накопичувача ЛСМ

Як випливає з табл. 11, традиційна стратегія низхідного багатoprogramного сортування поштових одиниць за усіма основними показниками суттєво поступається пропонованій стратегії висхідного багатoprogramного сортування.

1.5. Організація багатoprogramного сортування поштових одиниць

Сортування поштових одиниць у вузлах поштового зв'язку потребує використання різноманітних програм сортування для забезпечення графіків відправлення поштових одиниць за відповідними напрямками.

Перехід від однієї програми сортування до іншої в існуючих системах автоматизованого оброблення поштових одиниць потребує зупинки сортування і розвантаження накопичувачів ЛСМ, що призводить до значних втрат часу, особливо в системах автоматизованого оброблення посилок.

Як свідчать фактичні дані, реальна продуктивність систем автоматизованого оброблення посилок (з урахуванням простоїв, обумовлених змінами програм сортування) виявляється на порядок меншою за її технічну продуктивність.

Аналіз існуючих програм сортування свідчить, що при всій різноманітності зазначених програм в них, як правило, передбачається загальне сортування, детальне сортування та виділення окремих напрямів сортування.

Кількість програм сортування збігається з кількістю напрямів загального сортування. Номер або назва програми сортування визначається тим напрямом загального сортування, за яким провадиться детальне сортування.

Загальне сортування передбачає розподіл первинного (вхідного) потоку поштових одиниць на крупні (узагальнені) напрями, наприклад, Північ, Південь, Схід, Захід, Центр.

Детальне сортування передбачає розподіл первинного потоку або вторинного потоку, створеного поштовими одиницями одного з загальних напрямів, на конкретні напрями, за якими провадиться обмінювання поштових одиниць.

Виділення окремих напрямів сортування передбачає спрямування поштових одиниць, адресованих у крупні міста, у виділені для них накопичувачі для всіх програм сортування.

Суттєве зменшення або повне виключення витрат часу на зміну програм сортування можливе за рахунок суміщення в часі зазначених видів сортування з розвантаженням відповідних накопичувачів сортувальної машини.

На рис. 11 наведено схеми сортування з безупинною зміною програм сортування.

Для забезпечення безупинного сортування поштових одиниць накопичувачі ЛСМ розділяються на три групи: накопичувачі загального сортування, накопичувачі виділених напрямів сортування і накопичувачі детального сортування.

Зміна програм сортування виконується трьома етапами, протягом яких одні групи накопичувачів завантажуються, а інші – розвантажуються.

На першому (підготовчому) етапі (рис. 11, *а*) здійснюється перехід до сортування первинного потоку на всі напрями загального сортування і виділені напрями сортування. Накопичувачі детального сортування, завантажені за попередньою програмою сортування, розвантажуються. Напрями сортування на цьому етапі збігаються в усіх програмах сортування.

На другому (основному) етапі (рис. 11, *б*) здійснюється перехід до сортування первинного потоку за новою програмою на всі напрями загального сортування, крім того, що передбачає детальне сортування, виділені напрями сортування і напрями детального сортування зазначеного загального напрямку. Відповідний накопичувач загального напрямку сортування розвантажуються.

На третьому (завершальному) етапі (рис. 11, *в*) здійснюється перехід до сортування вторинного потоку від накопичувача загального напрямку сортування, розвантаженого на другому етапі, на напрями детального сортування. Накопичувачі загального сортування і виділених напрямів в міру необхідності розвантажуються.

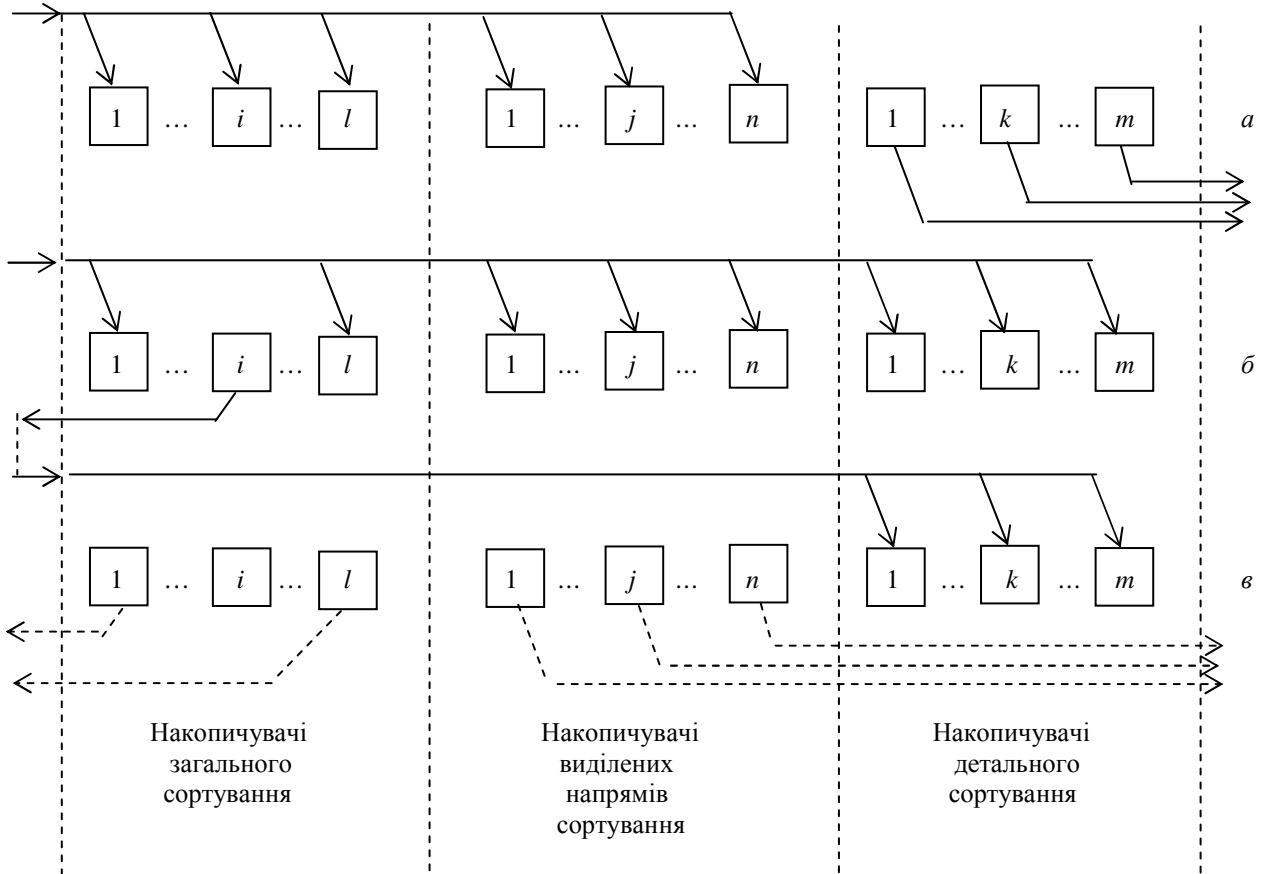


Рисунок 11 – Схеми сортування з безупинною зміною програм сортування

Після виконання третього етапу є можливість продовжити сортування за поточною програмою, повернувшись до другого етапу, або здійснити перехід до наступної програми сортування, повернувшись до першого етапу.

Таким чином, здійснюється суміщення в часі сортування поштових одиниць з розвантаженням накопичувачів ЛСМ.

1.6. Організація маршрутного сортування поштових одиниць

Маршрутне сортування широко застосовується при сортуванні поштових одиниць на послідовність пунктів обмінювання поштових одиниць, розташованих на шляху проходження поштового маршруту (магістральні, територіальні, обласні, районні маршрути, маршрути обмінювання поштових одиниць з міськими відділеннями зв'язку, маршрути МСП тощо), а також на поштові скриньки одержувачів (маршрути поштарів).

Звичайно маршрутне сортування виконується за схемою:

- сортування поштових одиниць до об'єктів поштового зв'язку;
- пакування груп поштових одиниць до об'єктів поштового зв'язку;
- сортування упакованих груп поштових одиниць до пунктів їхнього обмінювання.

Таке сортування включає окремий етап – сортування упакованих груп поштових одиниць, що обумовлює додаткові витрати часу і коштів на його здійснення.

Втім, існує можливість організації маршрутного сортування за схемою:

- сортування поштових одиниць до об'єктів поштового зв'язку в порядку проходження пунктів обмінювання поштових одиниць;
- пакування груп поштових одиниць до об'єктів поштового зв'язку в порядку проходження пунктів обмінювання поштових одиниць.

При цьому необхідність сортування упакованих груп поштових одиниць відпадає.

Формально задача маршрутного сортування ставиться як задача переформування неупорядкованої вхідної послідовності поштових одиниць, адресованих за m напрямками i, j, \dots, k ($i, j, \dots, k = 0, 1, \dots, m - 1$), в упорядковану вихідну послідовність $0, 1, \dots, m - 1$, в якій кількість поштових одиниць, адресованих за будь-яким напрямком, є довільним цілим числом.

Зазначена задача виступає також як окремий випадок відомої математичної задачі сортування (перетворення) деякої вхідної неупорядкованої послідовності чисел i, j, \dots, k ($0 \leq i, j, \dots, k \leq m - 1$) у вихідну упорядковану послідовність $0 \leq 1 \leq \dots \leq m - 1$.

Наприклад, вхідна послідовність поштових одиниць, адресованих за напрямками 07, 23, 13, 09, 17, 07, 13, 13, 10, 02, 20, 09, 23, 17, 24, 12, повинна бути переформована у вихідну послідовність 02, 07, 07, 09, 09, 10, 12, 13, 13, 13, 17, 17, 20, 23, 23, 24.

Оскільки на поштових одиницях зазначаються поштові індекси, а не напрями сортування у порядку проходження пунктів обмінювання поштових одиниць, зазначені індекси за допомогою заздалегідь підготованих таблиць повинні бути перетворені в ці напрями.

Відомі алгоритми розв'язання математичної задачі сортування засновані на переставленнях елементів вхідної послідовності чисел і практично непридатні для упорядкування фізичних поштових одиниць.

Для виконання маршрутного сортування природно застосовувати звичайні технології машинного або ручного сортування поштових одиниць.

Алгоритми, що використовуються нині для маршрутного сортування поштових одиниць, носять емпіричний характер і не забезпечують мінімізації кількості етапів сортування.

Для точного розв'язання задачі співвідношення загальної кількості напрямів сортування m , загальної кількості накопичувачів поштових одиниць n та загальної кількості етапів сортування k повинно відповідати умові

$$n^k \geq m \text{ або } k = \lceil \log_n m \rceil,$$

де $\lceil \log_n m \rceil$ – значення $\log_n m$, округлене до найближчого більшого цілого числа.

Оскільки при $n \geq m$ задача маршрутного сортування тривіальна, розглянемо реальний випадок $n < m$.

У цьому випадку для виконання маршрутного сортування необхідно скласти сортувальні таблиці, що визначають номери накопичувачів, в які повинні направлятися поштові одиниці, адресовані за певними напрямками, на кожному з етапів сортування.

Наведений нижче алгоритм складання сортувальних таблиць заснований на поданні напрямів сортування у виді чисел, записаних у позиційній системі числення з основою n .

У такій системі числення ціле число N дорівнює

$$N = m_{k-1}n^{k-1} + m_{k-2}n^{k-2} + \dots + m_0n^0,$$

і записується у вигляді k – розрядного числа

$$N = m_{k-1} m_{k-2} \dots m_0,$$

де $m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_0$ – цифри числа N , що можуть набувати значення $0, 1, \dots, n-1$.

Наприклад, десяткове число 13_{10} у двійковій, трійковій та четвірковій системах числення набуває виду:

$$13_{10} = 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1101_2,$$

$$13_{10} = 1 \cdot 3^2 + 1 \cdot 3^1 + 1 \cdot 3^0 = 111_3,$$

$$13_{10} = 3 \cdot 4^1 + 1 \cdot 4^0 = 31_4.$$

Позначимо n накопичувачів, що використовуються для маршрутного сортування, як A_0, A_1, \dots, A_{n-1} .

Тоді алгоритм складання сортувальних таблиць полягає у наступному: на першому етапі сортування поштові одиниці направляються в накопичувачі, номери яких збігаються зі значеннями перших (старших) цифр напрямів сортування; на другому етапі – зі значеннями других цифр і т.д.; на останньому етапі – зі значеннями останніх (молодших) цифр.

Так, поштова одиниця за згаданим напрямом 13 буде направлятися:

- при використанні двох накопичувачів A_0, A_1 – на першому, другому і четвертому етапах сортування у накопичувач A_1 , а на третьому етапі – у накопичувач A_0 ;
- при використанні трьох накопичувачів A_0, A_1, A_2 – на всіх трьох етапах сортування у накопичувач A_1 ;
- при використанні чотирьох накопичувачів A_0, A_1, A_2, A_3 – на першому етапі сортування у накопичувач A_3 , а на другому етапі – у накопичувач A_1 ;
- при використанні десяти накопичувачів A_0, A_1, \dots, A_9 – на першому етапі сортування у накопичувач A_1 , а на другому етапі – у накопичувач A_3 .

Нижче наведені приклади побудови сортувальних таблиць: табл. 12 – при $n = 2, k = 4, m = 16$; табл. 13 – при $n = 3, k = 3, m = 27$; табл. 14 – при $n = 4, k = 2, m = 16$; табл. 15 – при $n = 10, k = 2, m = 100$. Для зручності порівняння напрямів сортування у табл. 12, 13, 14 крім десяткової подані відповідно у двійковій, трійковій і четвірковій системах числення. Цифри, за якими здійснюється упорядкування у двійковій, трійковій, четвірковій і десятковій системах числення, підкреслені.

У табл. 16 поданий приклад маршрутного сортування наведеної раніше послідовності напрямів сортування поштових одиниць при використанні трьох накопичувачів A_0, A_1, A_2 за три етапи (використовується сортувальна таблиця, наведена в табл. 13).

Зазначимо, що відсутність поштових одиниць у деяких накопичувачах табл. 16 після закінчення маршрутного сортування указує на відсутність поштових одиниць, що підлягають обмінюванню у відповідних пунктах обмінювання поштових одиниць.

Таблиця 12 – Сортувальна таблиця для $n = 2, k = 4, m = 16$

Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на першому етапі сортування															
A_0								A_1							
<u>0000</u>	<u>0001</u>	<u>0010</u>	<u>0011</u>	<u>0100</u>	<u>0101</u>	<u>0110</u>	<u>0111</u>	<u>1000</u>	<u>1001</u>	<u>1010</u>	<u>1011</u>	<u>1100</u>	<u>1101</u>	<u>1110</u>	<u>1111</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на другому етапі сортування															
A_0				A_1				A_0				A_1			
<u>0000</u>	<u>0001</u>	<u>0010</u>	<u>0011</u>	<u>0100</u>	<u>0101</u>	<u>0110</u>	<u>0111</u>	<u>1000</u>	<u>1001</u>	<u>1010</u>	<u>1011</u>	<u>1100</u>	<u>1101</u>	<u>1110</u>	<u>1111</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на третьому етапі сортування															
A_0		A_1		A_0		A_1		A_0		A_1		A_0		A_1	
<u>0000</u>	<u>0001</u>	<u>0010</u>	<u>0011</u>	<u>0100</u>	<u>0101</u>	<u>0110</u>	<u>0111</u>	<u>1000</u>	<u>1001</u>	<u>1010</u>	<u>1011</u>	<u>1100</u>	<u>1101</u>	<u>1110</u>	<u>1111</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на четвертому етапі сортування															
A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1	A_0	A_1
<u>0000</u>	<u>0001</u>	<u>0010</u>	<u>0011</u>	<u>0100</u>	<u>0101</u>	<u>0110</u>	<u>0111</u>	<u>1000</u>	<u>1001</u>	<u>1010</u>	<u>1011</u>	<u>1100</u>	<u>1101</u>	<u>1110</u>	<u>1111</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15

Таблиця 13 – Сортувальна таблиця для $n = 3, k = 3, m = 27$

Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на першому етапі сортування																										
A_0									A_1									A_2								
<u>000</u>	<u>001</u>	<u>002</u>	<u>010</u>	<u>011</u>	<u>012</u>	<u>020</u>	<u>021</u>	<u>022</u>	<u>100</u>	<u>101</u>	<u>102</u>	<u>110</u>	<u>111</u>	<u>112</u>	<u>120</u>	<u>121</u>	<u>122</u>	<u>200</u>	<u>201</u>	<u>202</u>	<u>210</u>	<u>211</u>	<u>212</u>	<u>220</u>	<u>221</u>	<u>222</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на другому етапі сортування																										
A_0			A_1			A_2			A_0			A_1			A_2			A_0			A_1			A_2		
<u>000</u>	<u>001</u>	<u>002</u>	<u>010</u>	<u>011</u>	<u>012</u>	<u>020</u>	<u>021</u>	<u>022</u>	<u>100</u>	<u>101</u>	<u>102</u>	<u>110</u>	<u>111</u>	<u>112</u>	<u>120</u>	<u>121</u>	<u>122</u>	<u>200</u>	<u>201</u>	<u>202</u>	<u>210</u>	<u>211</u>	<u>212</u>	<u>220</u>	<u>221</u>	<u>222</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на третьому етапі сортування																										
A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2
<u>000</u>	<u>001</u>	<u>002</u>	<u>010</u>	<u>011</u>	<u>012</u>	<u>020</u>	<u>021</u>	<u>022</u>	<u>100</u>	<u>101</u>	<u>102</u>	<u>110</u>	<u>111</u>	<u>112</u>	<u>120</u>	<u>121</u>	<u>122</u>	<u>200</u>	<u>201</u>	<u>202</u>	<u>210</u>	<u>211</u>	<u>212</u>	<u>220</u>	<u>221</u>	<u>222</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Таблиця 14 – Сортувальна таблиця для $n = 4, k = 2, m = 16$

Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на першому етапі сортування															
A_0				A_1				A_2				A_3			
<u>00</u>	<u>01</u>	<u>02</u>	<u>03</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>32</u>	<u>33</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на другому етапі сортування															
A_0	A_1	A_2	A_3	A_0	A_1	A_2	A_3	A_0	A_1	A_2	A_3	A_0	A_1	A_2	A_3
<u>00</u>	<u>01</u>	<u>02</u>	<u>03</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>32</u>	<u>33</u>
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15

Таблиця 15 – Сортувальна таблиця для $n = 10, k = 2, m = 100$

Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на першому етапі сортування																																							
A_0				A_1				A_2				A_3				A_4				A_5				A_6				A_7				A_8				A_9			
<u>00</u>	...	<u>09</u>	<u>10</u>	...	<u>19</u>	<u>20</u>	...	<u>29</u>	<u>30</u>	...	<u>39</u>	<u>40</u>	...	<u>49</u>	<u>50</u>	...	<u>59</u>	<u>60</u>	...	<u>69</u>	<u>70</u>	...	<u>79</u>	<u>80</u>	...	<u>89</u>	<u>90</u>	...	<u>99</u>										
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на другому етапі сортування																																							
A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9	A_0	...	A_9										
<u>00</u>	...	<u>09</u>	<u>10</u>	...	<u>19</u>	<u>20</u>	...	<u>29</u>	<u>30</u>	...	<u>39</u>	<u>40</u>	...	<u>49</u>	<u>50</u>	...	<u>59</u>	<u>60</u>	...	<u>69</u>	<u>70</u>	...	<u>79</u>	<u>80</u>	...	<u>89</u>	<u>90</u>	...	<u>99</u>										

Таблиця 16 – Приклад маршрутного сортування для $n = 3, k = 3, m = 27$

Вхідна послідовність напрямів сортування																													
07, 23, 13, 09, 17, 07, 13, 13, 10, 02, 20, 09, 23, 17, 24, 12																													
Розподіл напрямів сортування по накопичувачах на першому етапі сортування																													
A_0									A_1									A_2											
07, 07, 02									13, 09, 17, 13, 13, 10, 09, 17, 12									23, 20, 23, 24											
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на другому етапі сортування																													
A_0			A_1			A_2			A_0			A_1			A_2			A_0			A_1			A_2					
02						07, 07			09, 10, 09			13, 13, 13, 12			17, 17			20			23, 23			24					
Розподіл напрямів сортування за накопичувачами на третьому етапі сортування																													
A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2	A_0	A_1	A_2			
		02					07, 07			09, 09	10		12	13, 13, 13						17, 17			20			23, 23	24		
Вихідна послідовність напрямів сортування																													
02, 07, 07, 09, 09, 10, 12, 13, 13, 13, 17, 17, 20, 23, 23, 24																													

1.7. Організація сортування періодичних видань у газетно-журнальних експедиціях

Метою сортування періодичних видань у газетно-журнальних експедиціях (ГЖЕ) є формування з цих видань так званих єдиних посилок (ЄП), кожне з яких містить усі періодичні видання, що направляються до кожного з газетно-журнальних вузлів.

Задача сортування полягає в наступному.

ГЖЕ отримує від друкарень одним або кількома надходженнями тиражі m періодичних видань.

Задані матриця $\|P_{ij}\|$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) розподілу тиражів зазначених m періодичних видань між n газетно-журнальними вузлами, графіки надходження періодичних видань до ГЖЕ та графіки відправлення ЄП до газетно-журнальних вузлів.

Необхідно мінімізувати трудові витрати на сортування періодичних видань у ГЖЕ.

Оскільки основним видом сортування періодичних видань у ГЖЕ є сортування газет, надалі розглядаються питання лише їхнього сортування, хоча багато з цих питань мають безпосереднє відношення і до сортування журналів.

На рис. 12 наведено загальний вид матриці „Газети – Вузли” $\|P_{ij}\|$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), елемент (P_{ij}) якої визначає кількість примірників газети Γ_i , що направляється до вузла B_j .

	B_1	...	B_j	...	B_n
Γ_1	P_{11}		P_{1j}		P_{1n}
...					
Γ_i	P_{i1}		P_{ij}		P_{in}
...					
Γ_m	P_{m1}		P_{mj}		P_{mn}

Рисунок 12 – Загальний вид матриці „Газети – Вузли”

Сума усіх елементів рядка i ($i = 1, 2, \dots, m$) матриці $\|P_{ij}\|$ дорівнює тиражу $P(\Gamma_i)$ газети Γ_i , що надходить до ГЖЕ

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = P(\Gamma_i).$$

Сума усіх елементів стовпця j ($j = 1, 2, \dots, n$) матриці $\|P_{ij}\|$ дорівнює сумарній кількості примірників $P(B_j)$ усіх газет, що направляються ЄП до вузла B_j

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = P(B_j).$$

Сума усіх елементів матриці $\|P_{ij}\|$ дорівнює сумарному тиражу P_Σ усіх газет, що надходять до ГЖЕ, або сумарній кількості примірників усіх газет, що направляються ЄП до всіх газетно-журнальних вузлів

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m P_{ij} = P_\Sigma.$$

Можливі два методи формування ЄП у ГЖЕ, ілюстрацію яких наведено на рис. 13.

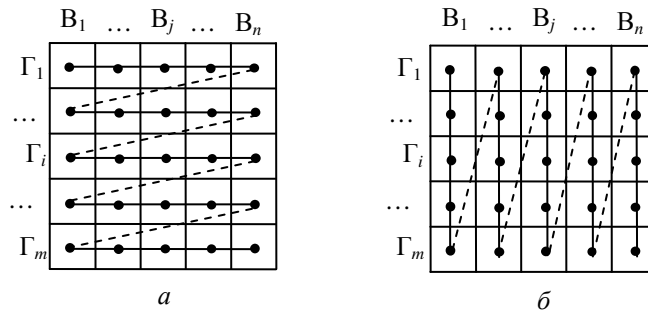


Рисунок 13 – Методи формування ЄП у ГЖЕ

Згідно з рис. 13, *a* (метод *A*) обхід елементів матриці $\|P_{ij}\|$ здійснюється по рядках зліва-направо і зверху-вниз.

За наявності одного робочого місця з сортування газет послідовність формування ЄП до вузлів B_1, B_2, \dots, B_n безпосередньо збігається з зазначеною на рис. 13, *a*.

За наявності $1 < q < m$ робочих місць з сортування газет матриця $\|P_{ij}\|$ поділяється горизонтальними лініями на q груп і за кожним робочим місцем закріплюються газети однієї з цих груп.

За наявності m робочих місць з сортування газет за кожним робочим місцем закріплюється газета одного найменування, а формування ЄП до вузлів B_1, B_2, \dots, B_n здійснюється одночасно по усіх рядках матриці $\|P_{ij}\|$.

Згідно з рис. 13, *б* (метод *B*) обхід елементів матриці $\|P_{ij}\|$ здійснюється по стовпцях зверху-вниз і зліва-направо.

За наявності одного робочого місця з сортування газет послідовність формування ЄП до вузлів B_1, B_2, \dots, B_n безпосередньо збігається з зазначеною на рис. 13, *б*.

За наявності $1 < r < n$ робочих місць з сортування газет матриця $\|P_{ij}\|$ поділяється вертикальними лініями на r груп і за кожним робочим місцем закріплюються вузли однієї з цих груп.

За наявності n робочих місць з сортування газет за кожним робочим місцем закріплюється один вузол, а формування ЄП до вузлів V_1, V_2, \dots, V_n здійснюється одночасно по усіх стовпцях матриці $\|P_{ij}\|$.

Кожний з методів формування ЄП може бути реалізований з використанням нерухомих робочих місць і з використанням рухомих робочих місць.

На рис. 14 наведено ілюстрацію формування ЄП за методами *A* і *B* при використанні нерухомих робочих місць.

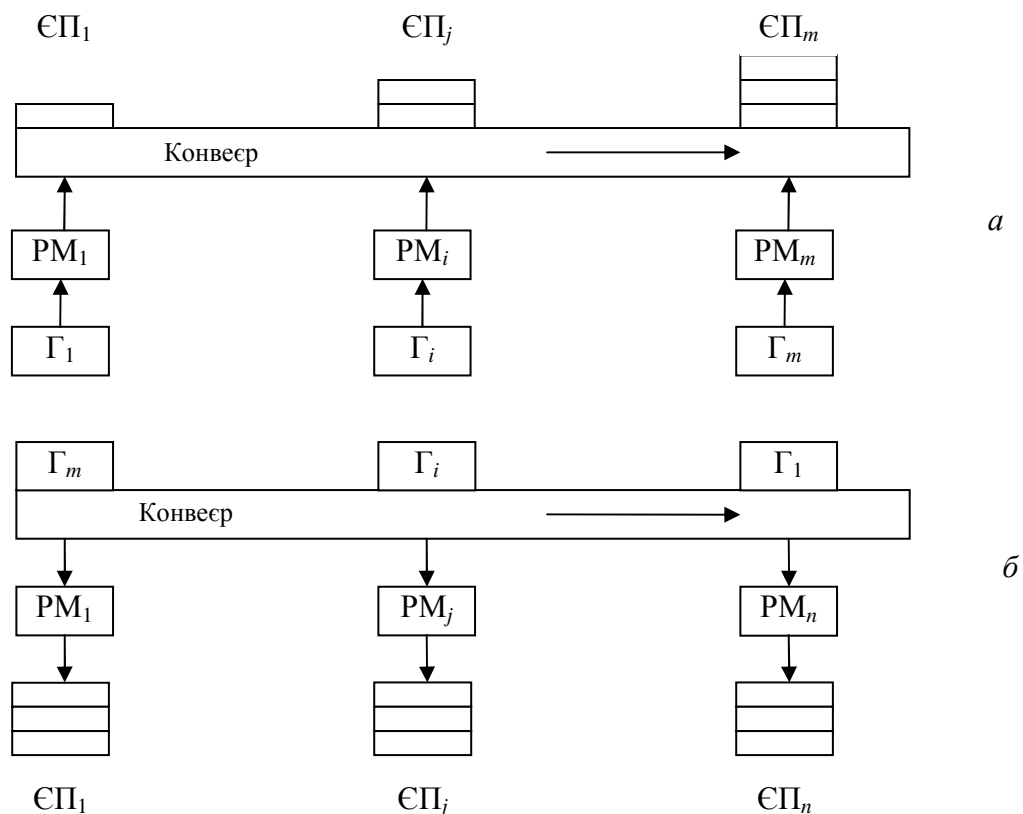


Рисунок 14 – Ілюстрація формування ЄП за методами *A* і *B* при використанні нерухомих робочих місць

У варіанті рис. 14, *a* (формування ЄП за методом *A*) робочі місця РМ₁, РМ₂, ..., РМ_m закріплені за газетами Г₁, Г₂, ..., Г_m, які заздалегідь завозяться на відповідні робочі місця; на кожному робочому місці РМ_i ($i = 1, 2, \dots, m$) до раніше сформованих частин ЄП до вузлів V_1, V_2, \dots, V_n у складі газет Г₁, Г₂, ..., Г_{i-1} додається газета Г_i.

По конвеєру в стартстопному режимі переміщуються раніше сформовані частини ЄП до вузлів V_1, V_2, \dots, V_n . На робочих місцях РМ₁, РМ₂, ..., РМ_m сортувальники одночасно відраховують від газет, розташованих на їхніх робочих місцях, кількість газет, призначену для вузлів, частини ЄП до яких розташовані

перед ними на конвеєрі, і додають ці газети до зазначених частин ЄП. Після цього конвеєр переміщує розташовані на ньому частини ЄП до наступних робочих місць.

У варіанті рис. 14, б (формування ЄП за методом *Б*) робочі місця PM_1, PM_2, \dots, PM_n закріплені за вузлами V_1, V_2, \dots, V_n ; на кожному робочому місці PM_j ($j = 1, 2, \dots, n$) формується ЄП до відповідного вузла V_j .

По конвеєру в стартстопному режимі переміщуються газети $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_m$. На робочих місцях PM_1, PM_2, \dots, PM_n сортувальники одночасно відраховують від газет, розташованих перед ними на конвеєрі, необхідну кількість газет, призначену для закріплених за робочими місцями вузлів, і додають ці газети до раніше сформованих частин ЄП. Після цього конвеєр переміщує розташовані на ньому газети до наступних робочих місць.

При використанні стартстопних конвеєрів для переміщення газет в процесі формування ЄП слід враховувати, що одночасне формування ЄП з газет різних найменувань, різних тиражів, до різних вузлів, на різних робочих місцях потребує його синхронізації з тактом роботи конвеєра. При цьому такт роботи конвеєра складається з двох частин: першої (неробочої), що використовується власне для сортування газет на робочих місцях, і другої (робочої), що використовується для переміщення газет між робочими місцями.

На рис. 15 наведено приклад часових діаграм конвеєрного сортування газет 6 найменувань до 8 вузлів (*а* – за методом *А*, *б* – за методом *Б*).

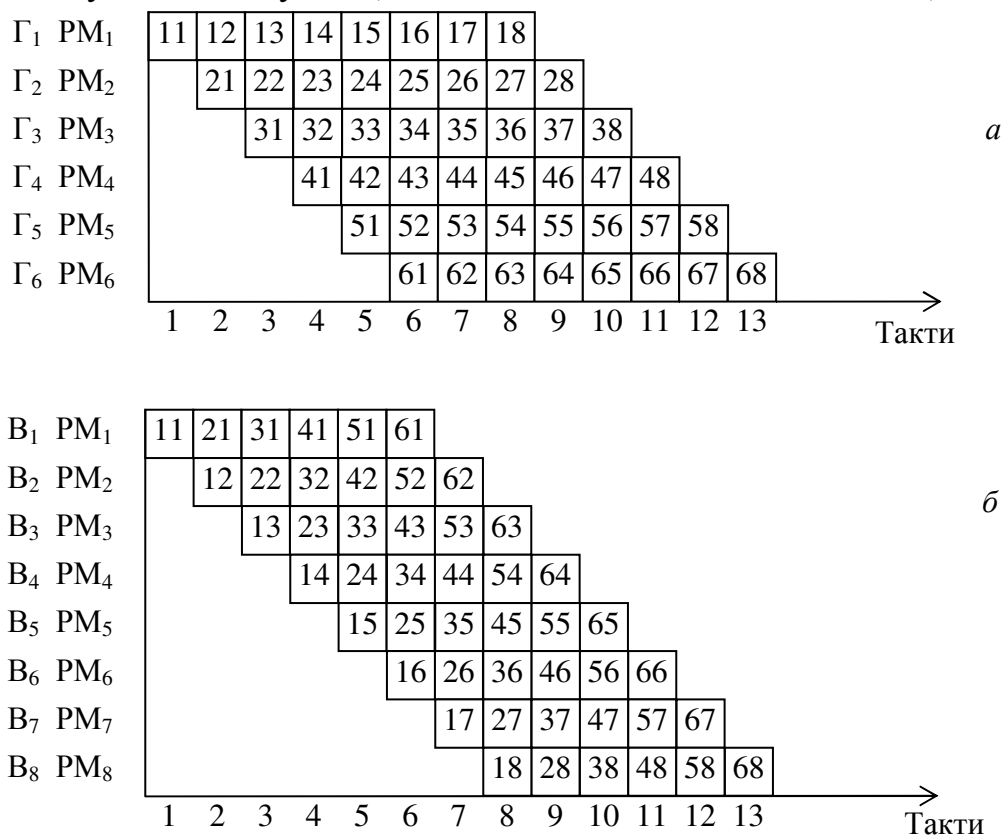


Рисунок 15 – Часові діаграми конвеєрного сортування газет

У клітинках часових діаграм зазначені індекси ij елементів (P_{ij}) матриці $\|P_{ij}\|$. Операції з сортування газет, зазначені на одній вертикалі, виконуються одночасно.

Наприклад, у такті 8 діаграми рис. 15, *а* одночасно виконуються операції з формування ЄП: Γ_1 до B_8 , Γ_2 до B_7 , Γ_3 до B_6 , Γ_4 до B_5 , Γ_5 до B_4 , Γ_6 до B_3 ; у такті 10 діаграми рис. 15, *б* одночасно виконуються операції з формування ЄП: Γ_6 до B_5 , Γ_5 до B_6 , Γ_4 до B_7 , Γ_3 до B_8 .

Зауважимо, що в одному і тому ж такті за методом *A* і за методом *B* формуються одні і ті ж ЄП.

Як впливає з рис. 15, для розглядуваного прикладу сортування газет b найменувань до 8 вузлів, сумарний час сортування газет за обома методами збігається і складає 13 тактів, а час готовності сформованих ЄП до відправлення за обома методами також збігається і розпочинається після виконання b тактів сортування.

З узагальнення часових діаграм рис. 15 на сортування газет m найменувань до n вузлів впливає:

- сумарний час сортування газет за обома методами збігається і складає $m + n - 1$ тактів;
- час готовності сформованих ЄП до відправлення за обома методами збігається і розпочинається після виконання m тактів сортування.

На рис. 16 наведено ілюстрацію формування ЄП за методами *A* і *B* при використанні рухомих робочих місць.

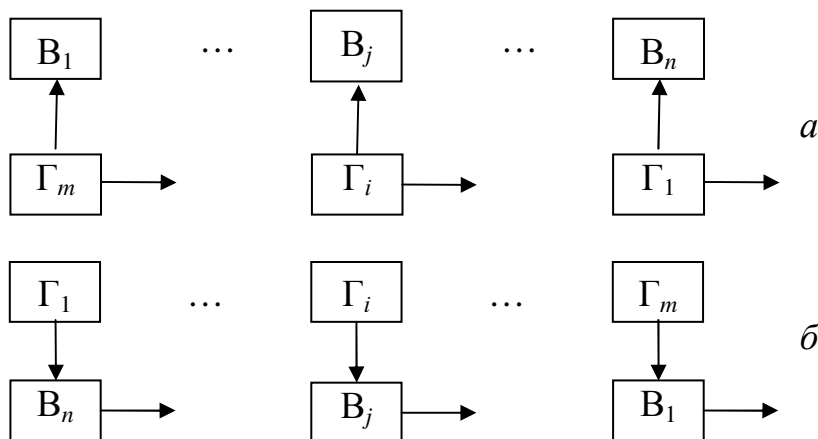


Рисунок 16 – Ілюстрація формування ЄП за методами *A* і *B* при використанні рухомих робочих місць

У варіанті рис. 16, *а* (формування ЄП за методом *A*) рухоме робоче місце PM_i , на якому знаходиться газета Γ_i , переміщується в стартстопному режимі уздовж накопичувачів ЄП до вузлів B_1, B_2, \dots, B_n .

Сортувальник робочого місця PM_i біля кожного з зазначених накопичувачів B_j відраховує необхідну для формування ЄП до вузла B_j кількість примірників

ків газети Γ_i і додає її до раніше сформованої частини ЄП до вузла V_j . Формування ЄП закінчується після занесення в усі накопичувачі примірників газети Γ_m .

У варіанті рис. 16, б (формування ЄП за методом *Б*) рухоме робоче місце PM_j , на якому формується ЄП до вузла V_j , переміщується в стартстопному режимі уздовж накопичувачів газет $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_m$.

Сортувальник робочого місця PM_j біля кожного з зазначених накопичувачів Γ_i відраховує необхідну для формування ЄП до вузла V_j кількість примірників газети Γ_i і додає її до раніше сформованої частини ЄП до вузла V_j . Формування ЄП до вузла V_j закінчується після проходження рухомим робочим місцем накопичувача газети Γ_m .

Сортування за методами *А* і *Б* має як свої переваги, так і свої недоліки.

Основною перевагою сортування газет з нерухомими робочими місцями є використання стартстопного конвеєра як єдиного засобу для транспортування газет між робочими місцями і пов'язана з цим відносна простота технічної реалізації упровадження автоматизованих систем сортування газет з програмним управлінням, в яких операції з відрахування кількостей газет, призначених для формування ЄП на кожному робочому місці, виконуються автоматично.

Недоліками сортування газет з нерухомими робочими місцями є низька ефективність використання робочих місць, обумовлена тим, що, внаслідок нерівномірного навантаження робочих місць, такт роботи конвеєра визначається сортувальником робочого місця з максимальним навантаженням, а на решті робочих місць спостерігаються простой.

Основною перевагою сортування газет з рухомими робочими місцями є висока ефективність використання робочих місць, обумовлена тим, що такт ручного або механізованого переміщення робочого місця задає сам сортувальник у залежності від кількості примірників газети Γ_i , необхідної для формування ЄП до вузла V_j . Завдяки цьому за наявності одного рухомого робочого місця його простої повністю виключаються, а за наявності декількох рухомих робочих місць можуть спостерігатися простой, обумовлені тим, що наступні робочі місця за рахунок менших кількостей примірників газет в ЄП до наступних вузлів, наздоганяють попередні рухомі робочі місця.

Недоліками сортування газет з рухомими робочими місцями є складність його автоматизації, обумовлена автономним переміщенням робочих місць.

Важливою перевагою сортування за методами *А* і *Б* з рухомими робочими місцями, а також сортування газет за методом *Б* з нерухомими робочими місцями є можливість формування ЄП до газетно-журнальних вузлів безпосередньо в контейнерах, що направляються до зазначених вузлів, завдяки чому виключається присутня при сортуванні газет за методом *А* з нерухомими робочими місцями операція з перевантаження сформованих на конвеєрі ЄП у контейнери.

Наявність численних періодичних видань, що мають низькі тиражі, існуюча тенденція подальшого зростання таких видань потребують прийняття дійових заходів з підвищення ефективності сортування періодичних видань у ГЖЕ.

Серед таких заходів зазначимо наступні:

- скорочення кількості робочих місць з сортування газет у ГЖЕ за рахунок розміщення на одному секціонованому робочому місці газет декількох найменувань і формування на таких робочих місцях об'єднаних з цих газет додатків до раніше сформованих частин ЄП до газетно-журнальних вузлів (рис. 14, *a*; 16, *a*) або за рахунок одночасного формування на одному секціонованому робочому місці ЄП до декількох газетно-журнальних вузлів (рис. 14, *б*; 16, *б*);
- скорочення протяжності траси переміщення рухомих робочих місць уздовж накопичувачів ЄП до газетно-журнальних вузлів або уздовж накопичувачів газет за рахунок використання секціонованих накопичувачів з розміщенням в одному такому накопичувачі ЄП до декількох газетно-журнальних вузлів (рис. 16, *a*) або газет декількох найменувань (рис. 16, *б*).

1.8. Аналіз процесів сортування та пакування поштових одиниць

Як вже зазначалося, в реальних умовах сортування поштових одиниць здійснюється за декілька етапів. Хоча при цьому сортування чергової сортувальної групи природно передує її пакуванню, процеси сортування та пакування декількох сортувальних груп можуть частково або повністю суміщуватися в часі.

У загальному випадку час сортування T_c , час простою сортування $T_{пс}$, час пакування $T_{п}$ та час простою пакування $T_{пп}$ пов'язані очевидним співвідношенням

$$T_c + T_{пс} = T_{п} + T_{пп}.$$

На рис. 17 наведено три можливі випадки співвідношення часу пакування $T_{пi}$ поточної сортувальної групи G_i та часу сортування $T_{c(i+1)}$ наступної сортувальної групи G_{i+1} .

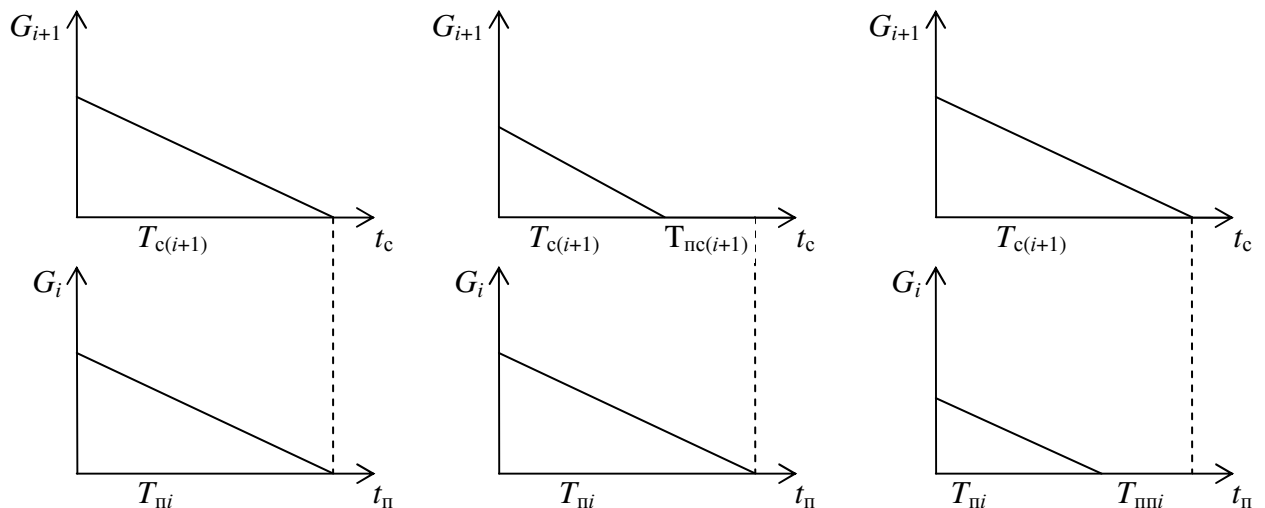


Рисунок 17 – Співвідношення часу пакування та сортування сортувальних груп

У першому випадку $T_{pi} = T_{c(i+1)}$, внаслідок чого простої пакування T_{ppi} та простої сортування $T_{pc(i+1)}$ відсутні: $T_{ppi} = T_{pc(i+1)} = 0$.

У другому випадку $T_{pi} > T_{c(i+1)}$, внаслідок чого $T_{ppi} = 0$, а $T_{pc(i+1)} = T_{pi} - T_{c(i+1)}$.

У третьому випадку $T_{pi} < T_{c(i+1)}$, внаслідок чого $T_{ppi} = T_{c(i+1)} - T_{pi}$, а $T_{pc(i+1)} = 0$.

Підкреслимо, що в усіх випадках сумарний час, що витрачається на пакування поточної сортувальної групи G_i та сортування наступної сортувальної групи G_{i+1} , дорівнює $\max(T_{pi}, T_{c(i+1)})$.

Враховуючи надто високу вартість ЛСМ, необхідно забезпечити мінімізацію часу простою сортування T_{pc} за рахунок відповідного скорочення часу пакування T_{pi} при можливому зростанні часу простою пакування T_{ppi} .

Скорочення часу пакування може бути досягнуте:

- шляхом підвищення продуктивності пакування за рахунок збільшення кількості $q > 1$ пакувальних пристроїв або залучення до пакування відсортованих груп поштових одиниць $q > 1$ пакувальників при використанні одного комплекту комірок для тимчасового зберігання n відсортованих груп поштових одиниць з закріпленням за кожним пристроєм або пакувальником n/q комірок;
- шляхом підвищення продуктивності пакування за рахунок використання $r > 1$ комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць з пересиланням чергових відсортованих груп поштових одиниць у чергові вільні комплекти комірок при використанні одного пакувального пристрою або залученні до пакування всіх відсортованих груп поштових одиниць одного пакувальника;
- шляхом підвищення продуктивності пакування за рахунок одночасного збільшення як кількості $r > 1$ комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць, так і кількості $q > 1$ пакувальних

пристроїв або пакувальників, що залучаються для їхнього пакування з закріпленням за кожним пакувальним пристроєм або пакувальником m/q комірок.

Питання вибору того чи іншого шляху скорочення часу пакування відсортованих груп поштових одиниць вирішується зіставленням ефективності такого скорочення та пов'язаних з його реалізацією додаткових витрат.

Розглянемо зазначені шляхи докладніше.

Як базовий оберемо варіант пакування з одним комплектом комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць і з одним пакувальним пристроєм або з одним пакувальником, що послідовно упакує усі n відсортованих груп поштових одиниць. При цьому загальний час пакування усіх n відсортованих груп поштових одиниць вважатимемо рівним загальному часу їхнього сортування.

Ефективність скорочення простоїв сортування поштових одиниць за рахунок збільшення кількості пакувальних пристроїв або пакувальників визначається співвідношенням значень часу пакування T_{pi} поточної сортувальної групи G_i та часу сортування $T_{c(i+1)}$ наступної сортувальної групи G_{i+1} .

Будемо вважати значення G_i та G_{i+1} випадковими величинами, рівномірно розподіленими в інтервалі (G_{\min}, G_{\max}) .

Очевидно, що при використанні для пакування $q = 1, q = 2, q = 3$ і т.д. пакувальних пристроїв або при залученні до пакування $q = 1, q = 2, q = 3$ і т.д. пакувальників, продуктивність пакування складає відповідно $Q_p, 2Q_p, 3Q_p$ і т.д., а простої сортування при продуктивності сортування Q_c визначаються як

$$T_{pc1} = \frac{G_i}{Q_p} - \frac{G_{i+1}}{Q_c}, \quad T_{pc2} = \frac{G_i}{2Q_p} - \frac{G_{i+1}}{Q_c}, \quad T_{pc3} = \frac{G_i}{3Q_p} - \frac{G_{i+1}}{Q_c} \text{ і т.д.}$$

У базовому варіанті $Q_c = Q_p = Q$, отже

$$T_{pc1}Q = G_i - G_{i+1}, \quad T_{pc2}Q = G_i / 2 - G_{i+1}, \quad T_{pc3}Q = G_i / 3 - G_{i+1} \text{ і т.д.}$$

На рис. 18 наведено значення $T_{pc1}, T_{pc2}, T_{pc3}, T_{pc4}$ у залежності від значень G_i та G_{i+1} при $q = 1, q = 2, q = 3, q = 4$ для $Q = 1, r = 1, G_{\min} = 1, G_{\max} = 12$.

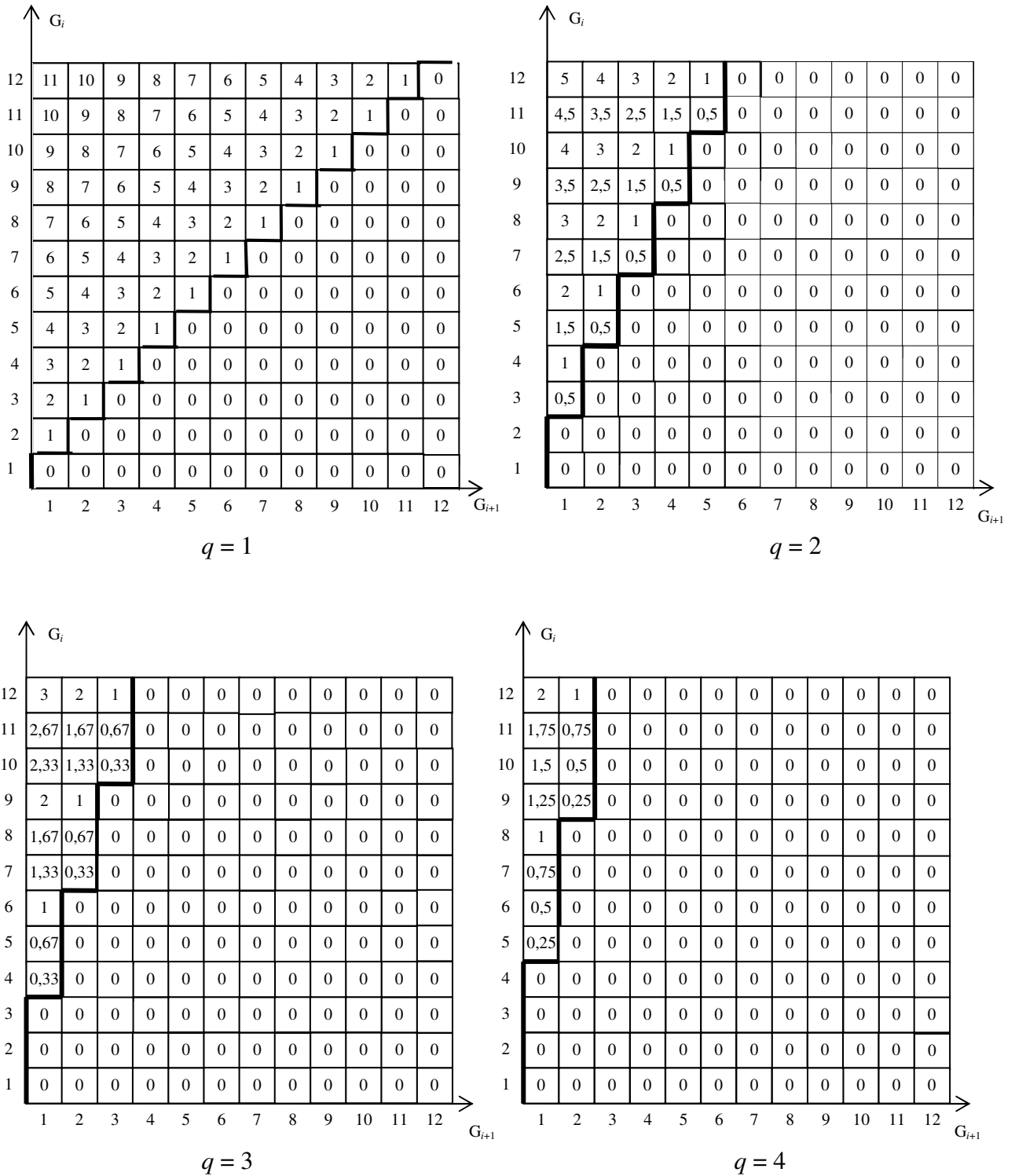


Рисунок 18 – Значення $T_{пс}$ при різних значеннях q

Ефективність скорочення простоїв сортування за рахунок збільшення кількості комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць ілюструється на рис. 19.

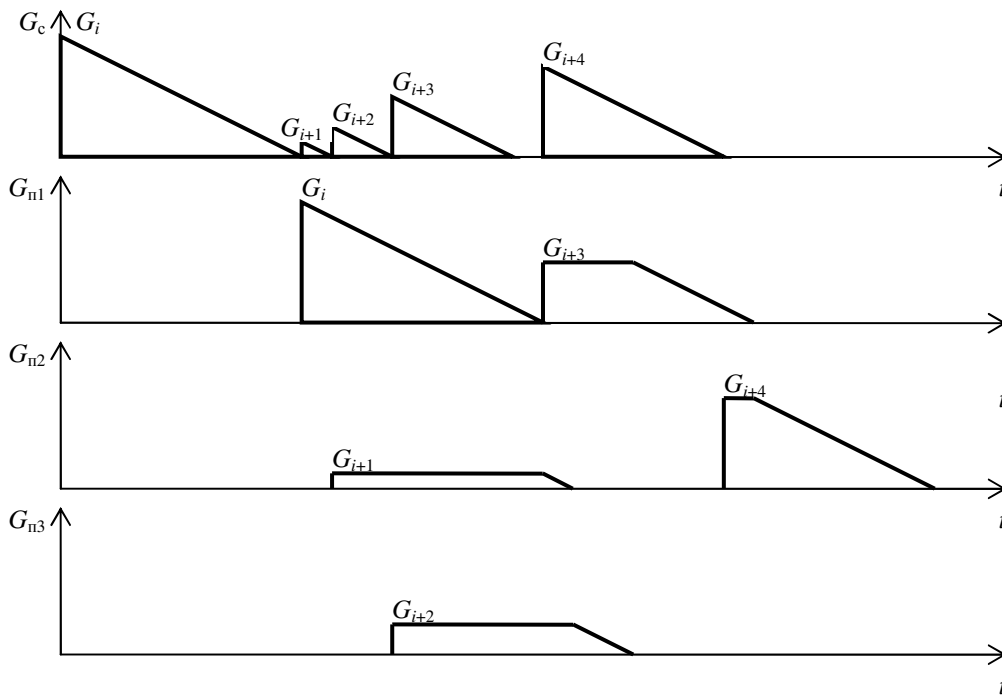


Рисунок 19 – Ілюстрація зайняття комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць

Як впливає з рис. 19, при використанні $r = 1, r = 2, r = 3$ і т.д. комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць, простої сортування при продуктивності сортування Q_c і продуктивності пакування Q_p визначаються як

$$T_{пс1} = \frac{G_i}{Q_p} - \frac{G_{i+1}}{Q_c}; \quad T_{пс2} = \frac{G_i}{Q_p} - \frac{G_{i+1} + G_{i+2}}{Q_c}; \quad T_{пс3} = \frac{G_i}{Q_p} - \frac{G_{i+1} + G_{i+2} + G_{i+3}}{Q_c} \text{ і т.д.}$$

У базовому варіанті $Q_c = Q_p = Q$, отже

$$T_{пс1}Q = G_i - G_{i+1}; \quad T_{пс2}Q = G_i - G_{i+1} - G_{i+2}; \quad T_{пс3}Q = G_i - G_{i+1} - G_{i+2} - G_{i+3} \text{ і т.д.}$$

На рис. 20 наведено значення $T_{пс1}, T_{пс2}, T_{пс3}, T_{пс4}$ у залежності від значень $G_i, G_{i+1}, G_{i+2}, G_{i+3}, G_{i+4}$, при $r = 1, r = 2, r = 3, r = 4$ для $Q = 1, q = 1, G_{\min} = 1, G_{\max} = 12$.

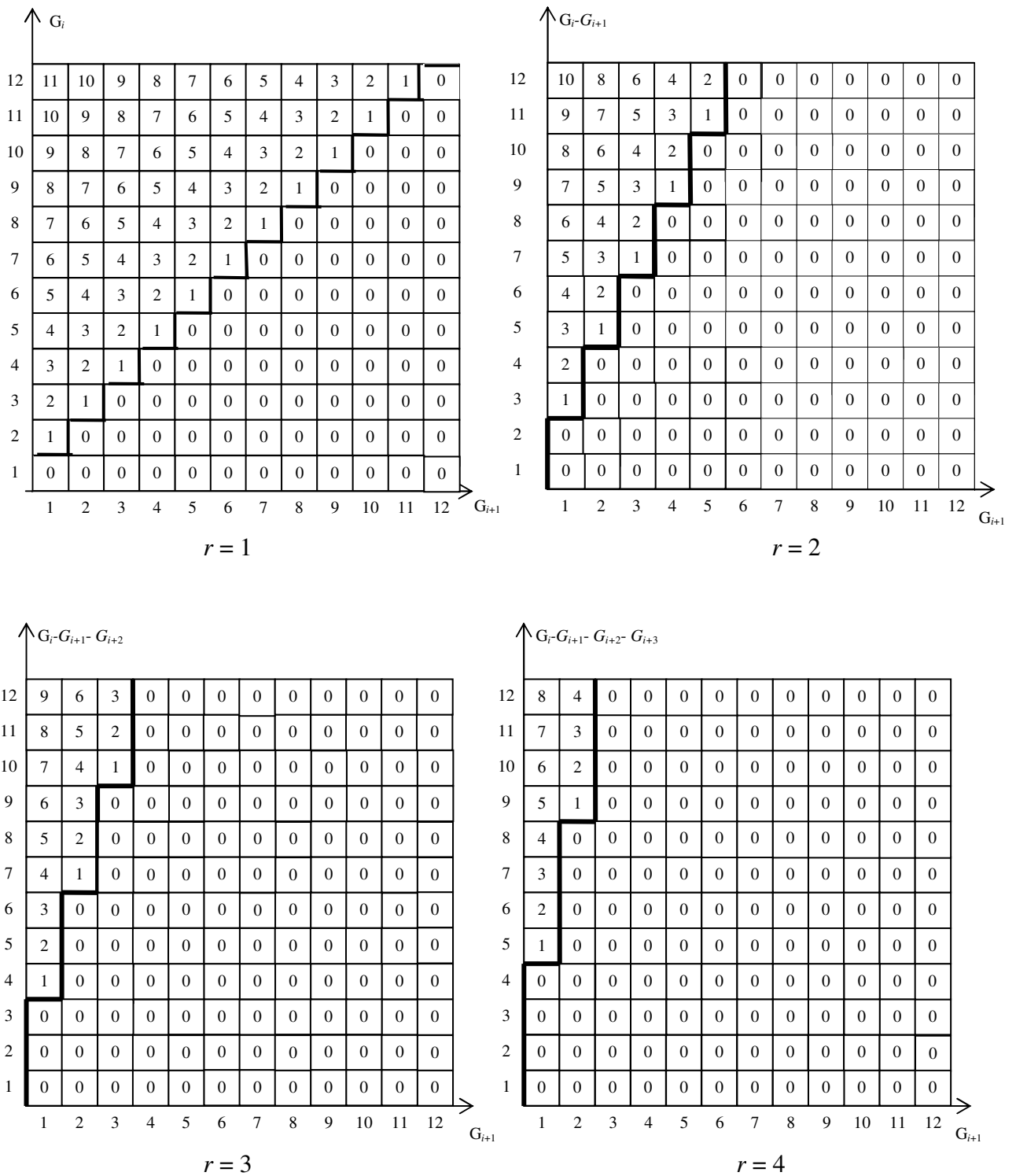


Рисунок 20 – Значення T_{pc} при різних значеннях r

У табл. 17, 18 наведено показники ефективності скорочення часу простою сортування – ймовірності простою сортування v_{pc} , середнього часу простою сортування T_{pc} і відношення T_{pc} / G_c (%), при $G_{\min} = 1$, $G_c = 0,5 (G_{\min} + G_{\max})$, $G_{\max} = 12$ відповідно для $q = 1, q = 2, q = 3, q = 4$ при

$r = 1$ та для $r = 1, r = 2, r = 3, r = 4$ при $q = 1$.

Таблиця 17 – Показники ефективності скорочення $T_{\text{пс}}$ при $q \geq 1, r = 1$

q	$v_{\text{пс}}$	$T_{\text{пс}}$	$T_{\text{пс}} / G_{\text{с}}, \%$
1	0,458	1,986	30,55
2	0,208	0,434	6,68
3	0,125	0,167	2,57
4	0,083	0,080	1,23

Таблиця 18 – Показники ефективності скорочення $T_{\text{пс}}$ при $r \geq 1, q = 1$

r	$v_{\text{пс}}$	$T_{\text{пс}}$	$T_{\text{пс}} / G_{\text{с}}, \%$
1	0,458	1,986	30,55
2	0,208	0,868	13,35
3	0,125	0,500	7,69
4	0,083	0,319	4,91

Як впливає з порівняння табл. 17 і 18, значення $T_{\text{пс}}$ при $q \geq 1, r = 1$ в q разів менше відповідних значень $T_{\text{пс}}$ при $r \geq 1, q = 1$.

1.9. Моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць

Складність процесів сортування та пакування поштових одиниць; необхідність визначення ефективності сортування та пакування поштових одиниць для значної кількості сортувальних груп; випадковий характер обсягів сортувальних груп; важливість одержання вірогідних результатів обумовлюють доцільність математичного моделювання зазначених процесів.

На рис. 21 наведено алгоритм моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць за базовим варіантом.

Прийняті наступні позначення:

G_i – поточна сортувальна група;

G_1, G_2, \dots, G_n – сортувальні групи;

$G_{\text{мін}}$ – мінімальне значення G_i ;

$G_{\text{макс}}$ – максимальне значення G_i ;

n – кількість сортувальних груп;

$T_{\text{с}}$ – значення реєстра сортування;

$T_{\text{п}}$ – значення реєстра пакування;

G_{Σ} – накопичувач значень G_i ;

T_{Σ} – лічильник тактів;

i – лічильник сортувальних груп;

$E_{\text{с}}$ – ефективність сортування.

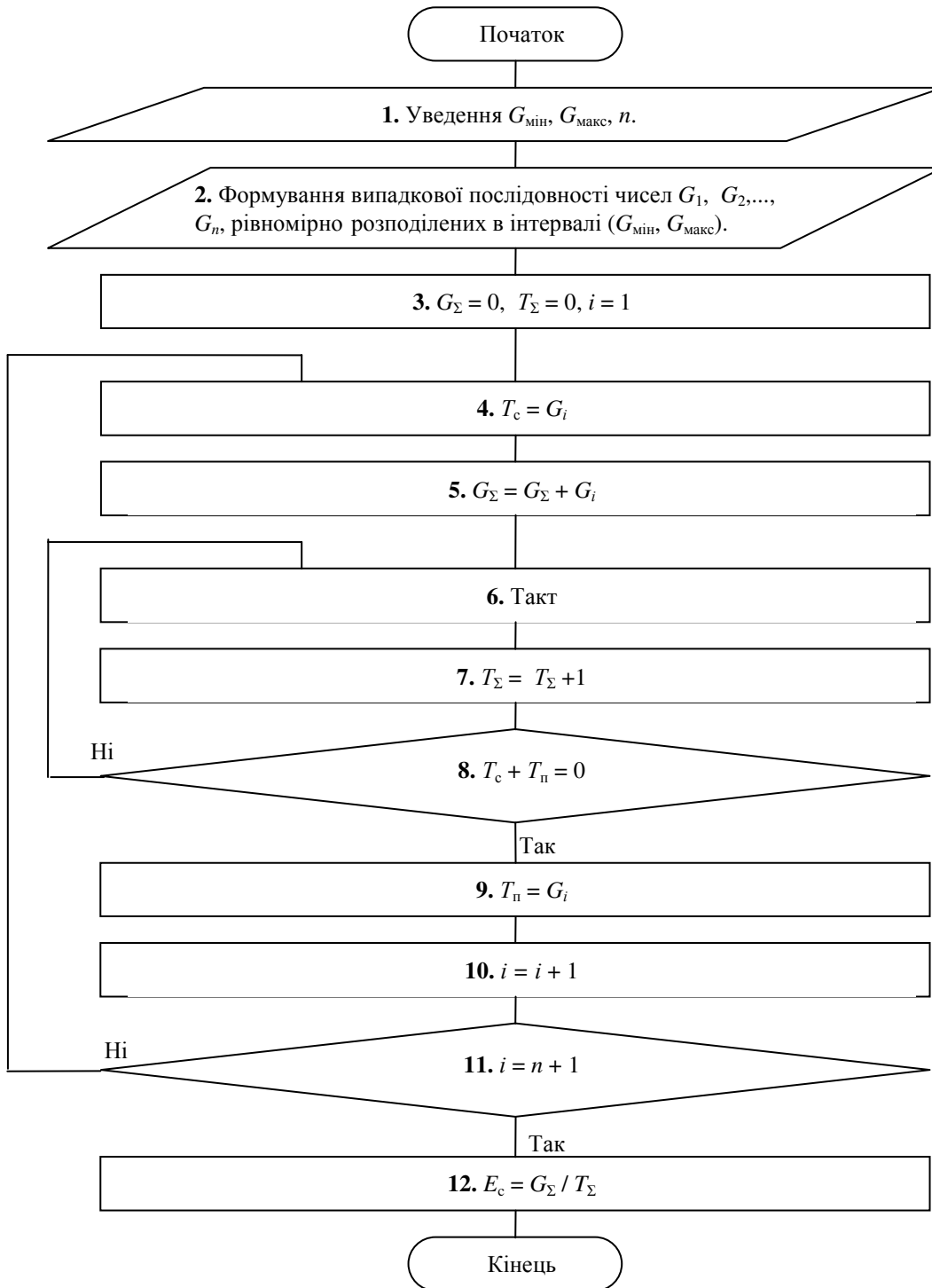


Рисунок 21 – Алгоритм моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць

Алгоритм містить 12 блоків.

У блоці 1 виконується введення вихідних даних: G_{\min}, G_{\max}, n .

У блоці 2 за допомогою окремої програми формується послідовність випадкових чисел G_1, G_2, \dots, G_n , рівномірно розподілених в інтервалі (G_{\min}, G_{\max}) .

У блоці 3 змінним величинам надаються їхні первинні значення:

$$G_{\Sigma} = 0, T_{\Sigma} = 0, i = 1.$$

У блоці 4 у реєстр сортування заноситься чергове значення G_i .

У блоці 5 до значення накопичувача G_{Σ} додається чергове значення G_i .

У блоці 6 виконується операція такту, яка імітує дискретний зсув у часі на одиницю і визначає вмісти реєстрів T_c і T_n у цей момент часу. Після виконання операції такту вмісти реєстрів T_c і T_n зменшуюються на одиницю, якщо вони не дорівнюють нулю, і залишаються без змін, якщо вони дорівнюють нулю.

У блоці 7 значення лічильника тактів T_{Σ} збільшується на одиницю.

У блоці 8 перевіряється виконання умови $T_c + T_n = 0$. Якщо „Так”, тобто, якщо вмісти обох реєстрів дорівнюють нулю, – перехід до наступного блока, якщо „Ні”, тобто, якщо вміст хоча би одного з цих реєстрів не дорівнює нулю, – повернення до блока 6.

У блоці 9 у реєстр пакування заноситься чергове значення G_i .

У блоці 10 значення лічильника сортувальних груп i збільшується на одиницю.

У блоці 11 перевіряється чи всі сортувальні групи перевірені. Якщо „Так”, тобто, якщо $i = n + 1$, – перехід до наступного блока, якщо „Ні”, тобто, якщо $i < n + 1$, – повернення до блока 4.

У блоці 12 підраховується значення ефективності сортування сформованих у блоці 2 сортувальних груп.

Слід зазначити, що внаслідок моделювання процесів сортування та пакування груп поштових одиниць з тактом, що дорівнює одиниці, при великих значеннях G_i робота алгоритму займає багато часу, а графічна інтерпретація результатів стає практично неможливою.

На рис. 22 наведено алгоритм швидкого моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць зі змінним тактом, що дорівнює G_i , внаслідок чого загальна кількість тактів дорівнює $n + 1$.

Алгоритм заснований на тому, що час, який витрачається на сортування та пакування двох сусідніх груп поштових одиниць G_i та G_{i+1} у базовому варіанті дорівнює максимальному з цих значень.

Позначення на рис. 22 ті ж самі, що на рис. 21.

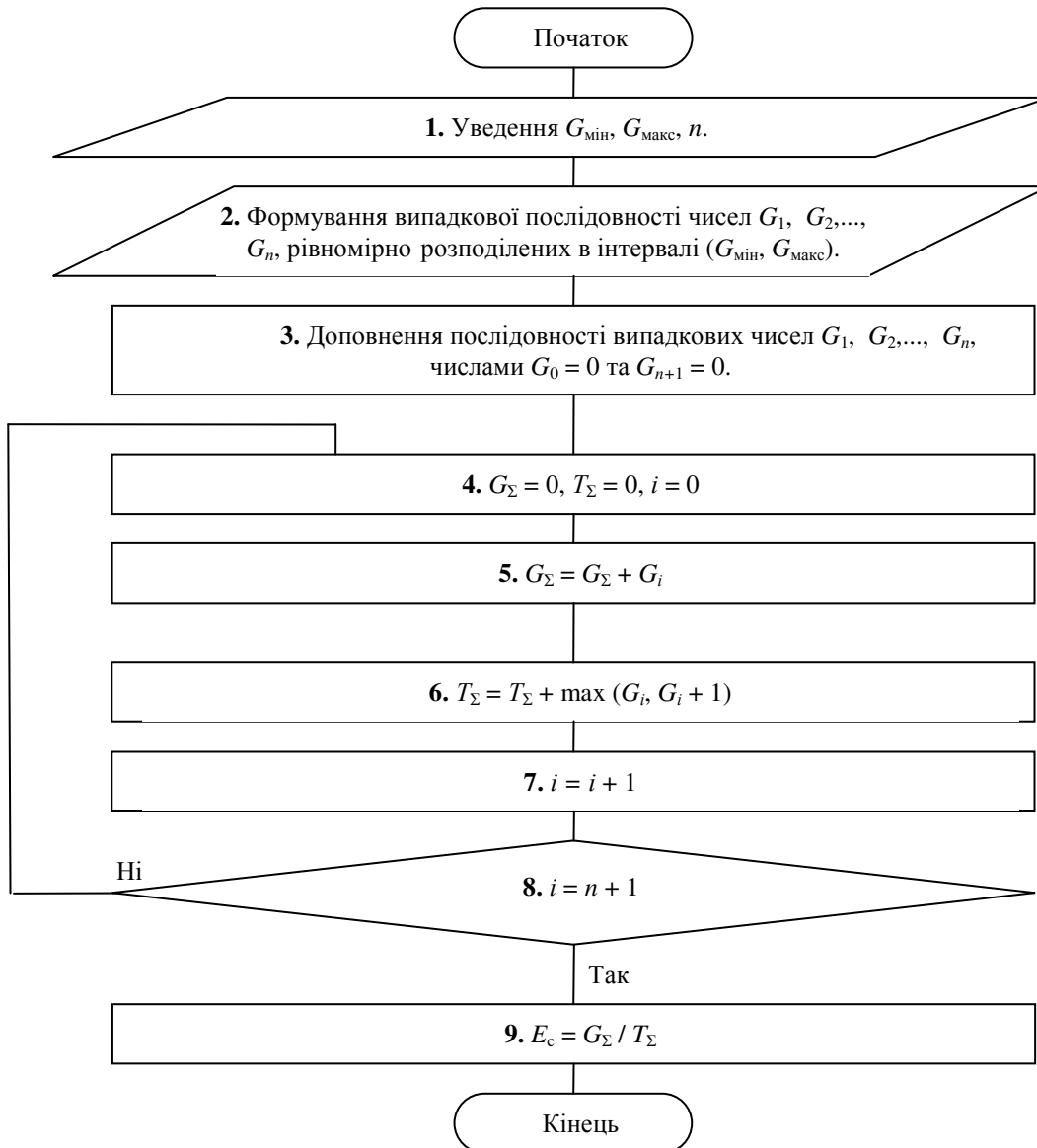


Рисунок 22 – Алгоритм швидкого моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць

Алгоритм містить 9 блоків.

У блоці 1 виконується введення вихідних даних: G_{\min} , G_{\max} , n .

У блоці 2 за допомогою окремої програми формується послідовність випадкових чисел G_1, G_2, \dots, G_n , рівномірно розподілених в інтервалі (G_{\min}, G_{\max}) .

У блоці 3 сформована послідовність випадкових чисел G_1, G_2, \dots, G_n доповнюється числами $G_0 = 0$ та $G_{n+1} = 0$.

У блоці 4 змінним величинам надаються їхні первинні значення: $G_{\Sigma} = 0, T_{\Sigma} = 0, i = 0$.

У блоці 5 до значення накопичувача G_{Σ} додається чергове значення G_i .

У блоці 6 до значення лічильника тактів T_{Σ} додається величина $\max(G_i, G_{i+1})$.

У блоці 7 значення лічильника сортувальних груп i збільшується на одиницю.

У блоці 8 перевіряється чи всі сортувальні групи перевірені. Якщо „Так”, тобто, якщо $i = n + 1$, – перехід до наступного блока, якщо „Ні”, тобто, якщо $i < n + 1$, – повернення до блока 4.

У блоці 9 підраховується значення ефективності сортування сформованих у блоці 2 сортувальних груп.

1.10. Визначення об'ємів оброблення поштових одиниць в об'єктах мережі поштового зв'язку за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків

У мережі поштового зв'язку спостерігаються багаторазові зміни об'ємів міжвузлових поштових потоків за добами, тижнями, місяцями, періодами.

Оскільки об'єми поштових потоків безпосередньо визначають навантаження ЛСМ або кількість робочих місць з оброблення поштових одиниць у вузлах мережі, а, отже, і загальні витрати на оброблення поштових одиниць, обґрунтування цих об'ємів набуває суттєвого значення.

Визначення навантаження ЛСМ або кількості робочих місць виходячи з максимальних об'ємів міжвузлових поштових потоків призведе до вкрай низької ефективності використання ЛСМ або робочих місць, а їхнє визначення виходячи з мінімальних об'ємів міжвузлових поштових потоків – до значних затримок пересилання поштових одиниць або до повного порушення поштового зв'язку.

Об'єми міжвузлових поштових потоків зручно подавати у виді матриць міжвузлових потоків $\|P_{ij}\|$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), елементи (P_{ij}) яких відбивають значення об'ємів потоків, що пересилаються від вузлів i до вузлів j .

Нерівномірність міжвузлових поштових потоків здебільшого носить циклічний характер, у якому дискретність змін об'ємів цих потоків дорівнює одній добі, тому при значенні періоду циклу зазначених змін C (діб) існує не одна, а C матриць $\|P_{ij}\|$.

На практиці для визначення навантаження ЛСМ або кількості робочих місць C матриць $\|P_{ij}\|$ використовуються по черзі, незалежно одна від одної, тобто, вважається, що вихідні та вхідні міжвузлові потоки кожного дня визначаються лише однією з цих матриць.

Такий підхід справедливий лише за умов відсутності затримок у пересиланні поштових одиниць між вузлами мережі поштового зв'язку.

За наявності зазначених затримок поштові маршрути, відправлені з вузлів відправлення в день D , надходять до вузлів призначення в дні

$D + k$ ($k = 0, 1, \dots$), а поштові маршрути, що надходять до вузлів призначення в день D , були відправлені з вузлів відправлення в дні $D - k$ ($k = 0, 1, \dots$).

Таким чином, за наявності затримок пересилання поштових одиниць значення навантаження ЛСМ або кількості робочих місць визначаються k матрицями $\|P_{ij}\|$, що відповідають дням $D, D + 1, \dots, D + k$ або дням $D, D - 1, \dots, D - k$.

При цьому спостерігається певне вирівнювання об'ємів міжвузлових потоків, зокрема, вхідні потоки у дні малих вихідних потоків будуть збільшуватися за рахунок надходження у ці дні затриманих вхідних потоків, відправлених у минулі дні більших вихідних потоків, а вхідні потоки у дні великих вихідних потоків будуть зменшуватися за рахунок надходження у ці дні затриманих вхідних потоків, відправлених у минулі дні менших вихідних потоків.

Підкреслимо, що як навантаження ЛСМ, так і кількість робочих місць з оброблення поштових одиниць, за такого вирівнювання об'ємів міжвузлових поштових потоків будуть зменшуватися, що, безумовно, сприятиме зниженню витрат на сортування і перевезення поштових одиниць.

Розглянемо в узагальненому виді пересилання поштових одиниць між вузлами мережі.

Позначимо C днів, що відповідають періоду циклічності змін об'ємів міжвузлових поштових потоків, невід'ємними цілими числами $0, 1, \dots, C - 1$.

Очевидно, що значення днів $D + k$ ($k = 0, 1, \dots$) або $D - k$ ($k = 0, 1, \dots$) також повинні бути невід'ємними числами $0, 1, \dots, C - 1$, а, отже, операція додавання $D + k$ або операція віднімання $D - k$ повинні виконуватися не як арифметичні операції, а як операції додавання або віднімання за модулем C .

Операції додавання або віднімання за модулем C визначаються так:

$$(D+k) \bmod C = \begin{cases} D+k, & \text{якщо } D+k < C \\ D+k-C, & \text{якщо } D+k \geq C, \end{cases}$$

$$(D-k) \bmod C = \begin{cases} D-k, & \text{якщо } D-k \geq 0 \\ D-k+C, & \text{якщо } D-k < 0. \end{cases}$$

Так, за наявності тижневих змін обсягів міжвузлових поштових потоків, дням тижня надаються числові значення, наведені у табл. 19.

Таблиця 19 – Числові значення днів тижня

Дні тижня	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб
Числові значення	0	1	2	3	4	5	6

При $C = 7$ дні $D + k$ і $D - k$ визначаються шляхом додавання або віднімання за модулем 7, наприклад,

$D = 1$ (понеділок), $k = 3$, $(D + k) \bmod 7 = 1 + 3 = 4$ (четвер);

$D = 5$ (п'ятниця), $k = 3$, $(D + k) \bmod 7 = 5 + 3 - 7 = 1$ (понеділок);

$D = 5$ (п'ятниця), $k = 3$, $(D - k) \bmod 7 = 5 - 3 = 2$ (вівторок);

$D = 2$ (вівторок), $k = 3$, $(D - k) \bmod 7 = 2 - 3 + 7 = 6$ (субота).

Для ілюстрації визначення об'ємів оброблення й перевезення пошти за наявності циклічних змін міжвузлових потоків розглянемо умовний приклад.

Схему мережі поштового зв'язку наведено на рис. 23.

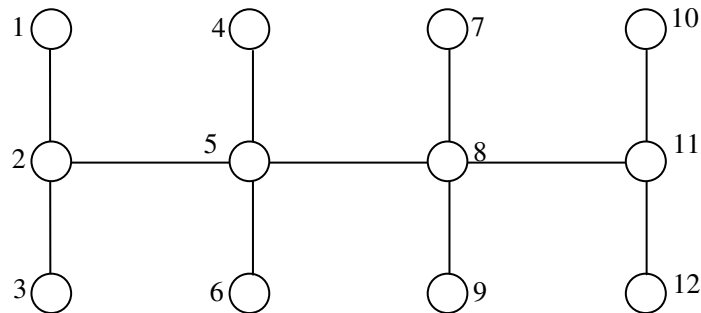


Рисунок 23 – Схема мережі поштового зв'язку

Мережа поштового зв'язку містить 12 вузлів (1, 2, ..., 12), з'єднаних між собою за допомогою поштових маршрутів.

Для спрощення розрахунків будемо вважати, що час проходження будь-яким поштовим маршрутом будь-якої ділянки між двома сусідніми вузлами схеми рис. 23 з урахуванням часу, що витрачається на оброблення поштових одиниць у цих вузлах, складає 24 години, тобто, що при проходженні кожної такої ділянки поштові одиниці затримуються на одну добу, а розклади руху поштового транспорту за усіма зазначеними ділянками збігаються.

Будемо також вважати, що циклічність змін об'ємів міжвузлових поштових потоків дорівнює одному тижню, тобто $C = 7$, а елементи (P_{ij}) матриць $\|P_{ij}\|$ міжвузлових потоків відповідають графіку рис. 24, який більш-менш адекватно відбиває реальні зміни об'ємів міжвузлових потоків за днями тижня.

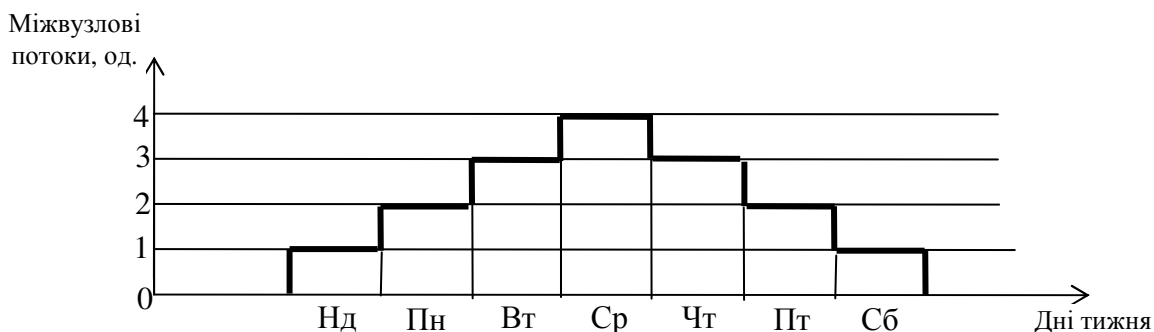


Рисунок 24 – Графік змін об'ємів міжвузлових потоків за днями тижня

У табл. 20 наведено значення днів відправлення поштових одиниць з вузлів відправлення, за яких забезпечується їхнє надходження в день D у вузли призначення.

Таблиця 20 – Значення днів відправлення пошти з вузлів відправлення, за яких забезпечується їхнє надходження в день D у вузлі призначення

Вузлі відправлення	Вузлі призначення											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	$D-1$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-5$	$D-4$	$D-5$
2	$D-1$	-	$D-1$	$D-2$	$D-1$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-4$
3	$D-2$	$D-1$	-	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-5$	$D-4$	$D-5$
4	$D-3$	$D-2$	$D-3$	-	$D-1$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-4$
5	$D-2$	$D-1$	$D-2$	$D-1$	-	$D-1$	$D-2$	$D-1$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-3$
6	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-1$	-	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-4$
7	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	-	$D-1$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-3$
8	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-1$	$D-2$	$D-1$	-	$D-1$	$D-2$	$D-1$	$D-2$
9	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-1$	-	$D-3$	$D-2$	$D-3$
10	$D-5$	$D-4$	$D-5$	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	-	$D-1$	$D-2$
11	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-1$	$D-2$	$D-1$	-	$D-1$
12	$D-5$	$D-4$	$D-5$	$D-4$	$D-3$	$D-4$	$D-3$	$D-2$	$D-3$	$D-2$	$D-1$	-

З табл. 20 випливає, що для забезпечення надходження поштових одиниць в день D , наприклад, до вузла 8, вони повинні відправлятися з вузлів 5, 7, 9, 11 в день $D-1$; з вузлів 2, 4, 6, 10, 12 – в день $D-2$; з вузлів 1, 3 – в день $D-3$.

У табл. 21 наведено значення об'ємів поштових потоків у вузлах мережі (відправлення/надходження).

Таблиця 21 – Об'єми поштових потоків у вузлах мережі

Вузлі	Дні тижня							
	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Усього
1	11/32	22/26	33/19	44/17	33/21	22/28	11/33	176/176
2	11/26	22/18	33/16	44/20	33/29	22/34	11/33	176/176
3	11/32	22/26	33/19	44/17	33/21	22/28	11/33	176/176
4	11/30	22/20	33/14	44/16	33/25	22/34	11/37	176/176
5	11/20	22/13	33/15	44/24	33/35	22/38	11/31	176/176
6	11/30	22/20	33/14	44/16	33/25	22/34	11/37	176/176
7	11/30	22/20	33/14	44/16	33/25	22/34	11/37	176/176
8	11/20	22/13	33/15	44/24	33/35	22/38	11/31	176/176
9	11/30	22/20	33/14	44/16	33/25	22/34	11/37	176/176
10	11/32	22/26	33/19	44/17	33/21	22/28	11/33	176/176
11	11/26	22/18	33/16	44/20	33/29	22/34	11/33	176/176
12	11/32	22/26	33/19	44/17	33/21	22/28	11/33	176/176
Усього	132/340	264/246	396/194	528/220	396/312	264/392	132/408	2112/2112
Разом	472	510	590	748	708	656	540	4224

З табл. 21 випливає, що об'єми вихідних потоків, що відправляються з вузлів мережі в день D , визначаються лише однією матрицею міжвузлових потоків відповідного дня тижня, у той час, як об'єми вхідних потоків, що надходять до вузлів мережі в день D , визначаються кількома матрицями міжвузлових потоків. Так, значення вхідного потоку, що надходить до вузла 8 у вівторок (15)

дорівнює сумі вихідних потоків 5 – 8, 7 – 8, 9 – 8, 11 – 8 понеділка ($4 \cdot 2 = 8$), вихідних потоків 2 – 8, 4 – 8, 6 – 8, 10 – 8, 12 – 8 неділі ($5 \cdot 1 = 5$) та вихідних потоків 1 – 8, 3 – 8 суботи ($2 \cdot 1 = 2$).

Значення кількості робочих місць у вузлах мережі визначаються як

$$R = \max \left\{ \left\lceil \frac{P_0}{Q_n T_n} \right\rceil, \left\lceil \frac{P_1}{Q_n T_n} \right\rceil, \dots, \left\lceil \frac{P_6}{Q_n T_n} \right\rceil \right\},$$

де R – кількість робочих місць з оброблення поштових одиниць;

P_0, P_1, \dots, P_6 – об'єми потоків у вузлі мережі за днями тижня;

Q_n – нормативна продуктивність праці на одному робочому місці (одиниць за годину);

T_n – нормативна тривалість часу оброблення пошти у вузлі мережі (годин);

$\lceil X \rceil$ – значення X , округлене до найближчого більшого цілого числа.

Значення P_0, P_1, \dots, P_6 визначаються з табл. 18.

Наприклад, при $Q_n = 3, T_n = 2$ значення R для вузла 8 складе

$$R = \max \left\{ \left\lceil \frac{31}{6} \right\rceil, \left\lceil \frac{35}{6} \right\rceil, \left\lceil \frac{48}{6} \right\rceil, \left\lceil \frac{68}{6} \right\rceil, \left\lceil \frac{68}{6} \right\rceil, \left\lceil \frac{60}{6} \right\rceil, \left\lceil \frac{42}{6} \right\rceil \right\} = \left\lceil \frac{68}{6} \right\rceil = 12,$$

що відповідає навантаженню цього вузла в середу або в четвер.

Підкреслимо, що при визначенні кількості робочих місць у вузлі 8 тільки для дня максимального загального навантаження вона складала б $\left\lceil \frac{88}{6} \right\rceil = 15$.

1.11. Визначення кількості робочих місць з оброблення поштових одиниць у вузлі поштового зв'язку

Кількість робочих місць з оброблення поштових одиниць у вузлі поштового зв'язку визначається значеннями поштового навантаження, що надходить у цей вузол, нормативом допустимого часу оброблення поштових одиниць, тобто допустимої затримки закінчення оброблення поштових одиниць відносно часу їхнього надходження у вузол, і значенням продуктивності праці одного працівника (кількості поштових одиниць, що обробляє один працівник за одну годину).

Нерівномірність надходження поштового навантаження у вузол поштового зв'язку обумовлює необхідність використання різної кількості робочих місць у різні інтервали доби.

За таких умов мінімальна кількість робочих місць з оброблення поштових одиниць, яка повинна бути створена у вузлі, визначається максимальним навантаженням, яке повинно бути оброблене за допустимий інтервал часу, а в інші інтервали часу створені робочі місця можуть використовуватися частково, або взагалі не використовуватися.

Значення поштового навантаження, що надходить у вузол, задаються відповідною таблицею (табл. 22).

Таблиця 22 – Значення поштового навантаження

Час надходження	T_1	T_2	...	T_i	...	T_j	...	T_k
Навантаження	N_1	N_2	...	N_i	...	N_j	...	N_k

Оскільки кожна поштова одиниця повинна бути оброблена за час, що не перевищує заданого нормативу, графік оброблення поштових одиниць може бути наданий у виді гіпотенузи прямокутного трикутника, катетами якого є навантаження N_i , що надходить у вузол в момент T_i , і час T допустимого оброблення навантаження у вузлі (рис. 25).

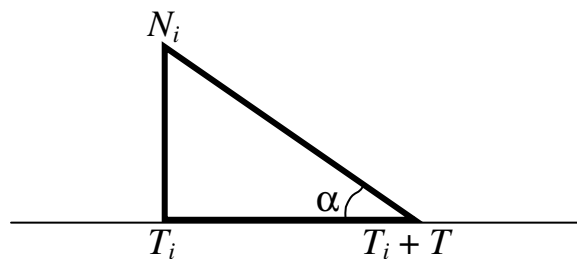


Рисунок 25 – Графік оброблення поштових одиниць

Тангенс кута нахилу гіпотенузи трикутника являє собою значення продуктивності оброблення поштових одиниць у вузлі

$$Q_i = \operatorname{tg}\alpha = \frac{N_i}{T}.$$

Реально в інтервалі часу T можуть мати місце декілька надходжень поштових навантажень, внаслідок чого в зазначеному інтервалі часу виконується оброблення поштових одиниць, що залишилися необробленими в попередньому інтервалі, і поштових одиниць, що надійшли в поточному інтервалі. У свою чергу оброблення поштових одиниць, що залишилися необробленими в поточному інтервалі часу, виконується в наступному інтервалі.

Таким чином, можуть мати місце зсуви оброблення поштових одиниць за умови, що максимальна затримка оброблення будь-якого надходження поштових одиниць не перевищує заданого нормативу T .

Отже, йдеться про знаходження максимального серед мінімальних значень кутів нахилу гіпотенуз усіх трикутників, що відповідають усім надходженням поштових одиниць у вузол, яке забезпечує оброблення будь-якого надходження поштових одиниць у заданому інтервалі часу.

Оскільки для оброблення навантажень N_i і N_j , що надходять у вузол в моменти часу T_i і T_j в межах одного інтервалу T , може бути виділений час, що дорівнює $T_j - T_i + T$, значення необхідної продуктивності оброблення поштових одиниць у вузлі визначається значенням тангенса кута нахилу гіпотенузи відповідного спільного трикутника

$$Q_{i,j} = \operatorname{tg}\alpha = \frac{N_i + N_j}{T_j - T_i + T},$$

принцип побудови якого впливає з рис. 26.

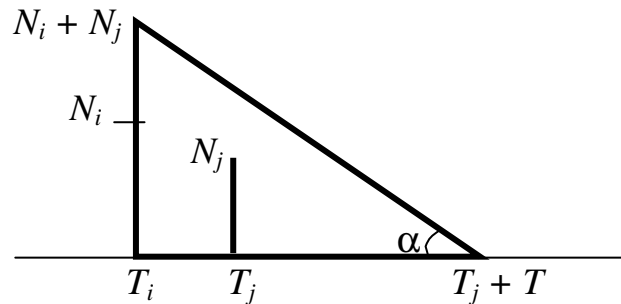


Рисунок 26 – Визначення необхідної продуктивності оброблення поштових одиниць

Узагальнюючи таке визначення значення кута нахилу гіпотенузи трикутника на довільний розподіл надходжень $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_j, \dots, N_k$ поштового навантаження в моменти часу $T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_j, \dots, T_k$ протягом доби дійдемо висновку, що значення необхідної продуктивності оброблення поштових одиниць у вузлі визначається максимальним значенням кута нахилу гіпотенузи серед всіх трикутників, що відповідають будь-яким можливим послідовностям надходжень поштового навантаження у вузол.

У табл. 23 наведено значення продуктивності оброблення поштових одиниць для усіх можливих послідовностей надходжень поштового навантаження у вузол.

Кількість робочих місць R з оброблення пошти дорівнює

$$R = \lceil Q_{\text{макс}} / Q_p \rceil,$$

де $Q_{\text{макс}}$ – максимальна продуктивність оброблення поштових одиниць у вузлі;

Q_p – продуктивність праці одного працівника;

$\lceil X \rceil$ – значення X , округлене до найближчого більшого цілого числа

Таблиця 23 – Значення продуктивності оброблення поштових одиниць

Перше надходження	Останнє надходження							
	N_1	N_2	...	N_i	...	N_j	...	N_k
N_1	$\frac{N_1}{T}$	$\frac{N_1 + N_2}{T_2 - T_1 + T}$		$\frac{N_1 + N_2 + \dots + N_i}{T_i - T_1 + T}$		$\frac{N_1 + N_2 + \dots + N_j}{T_j - T_1 + T}$		$\frac{N_1 + N_2 + \dots + N_k}{T_k - T_1 + T}$
N_2		$\frac{N_2}{T}$		$\frac{N_2 + N_3 + \dots + N_i}{T_i - T_2 + T}$		$\frac{N_2 + N_3 + \dots + N_j}{T_j - T_2 + T}$		$\frac{N_2 + N_3 + \dots + N_k}{T_k - T_2 + T}$
...								
N_i				$\frac{N_i}{T}$		$\frac{N_i + N_{i+1} + \dots + N_j}{T_j - T_i + T}$		$\frac{N_i + N_{i+1} + \dots + N_k}{T_k - T_i + T}$
...								
N_j						$\frac{N_j}{T}$		$\frac{N_j + N_{j+1} + \dots + N_k}{T_k - T_j + T}$
...								
N_k								$\frac{N_k}{T}$

На рис. 27 надано приклад трьох навантажень N_1, N_2, N_3 , які надходять в моменти часу $T_1, T_2 = T_1 + 2, T_3 = T_2 + 1$, при значенні інтервалу часу оброблення поштових одиниць $T = 3$.

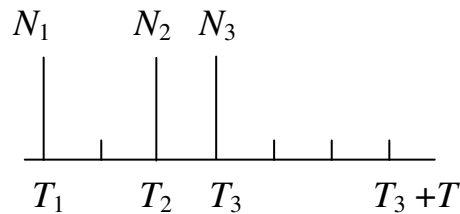


Рисунок 27 – Приклад надходження навантажень N_1, N_2, N_3

У табл. 24 надані значення навантажень, які визначають максимальні значення продуктивності оброблення поштових одиниць (виділені жирним шрифтом).

Таблиця 24 – Максимальні значення продуктивності оброблення поштових одиниць

N_1	N_2	N_3	Q_1	Q_2	Q_3	$Q_{1,2}$	$Q_{2,3}$	$Q_{1,2,3}$
360	180	60	120	60	20	108	60	100
180	360	60	60	120	20	108	105	100
180	60	360	60	20	120	48	105	100
360	360	120	120	120	40	144	120	140
120	360	360	40	120	120	96	180	140
360	120	360	120	40	120	96	120	140

Як впливає з табл. 24, максимальне значення продуктивності оброблення поштових одиниць для наведеного прикладу може визначатися будь-яким одним навантаженням N_1, N_2, N_3 ; сумою будь-яких двох сусідніх навантажень $N_1 + N_2, N_2 + N_3$; сумою всіх навантажень $N_1 + N_2 + N_3$.

Алгоритм розрахунку кількості робочих місць з оброблення поштових одиниць наведено на рис. 28.

Алгоритм містить 15 блоків.

У блоці 1 виконується введення початкових даних: кількості надходжень поштових одиниць k ; графіка надходження поштових одиниць $N_1, T_1; N_2, T_2; \dots N_k, T_k$; значення допустимої затримки оброблення поштових одиниць у вузлі T ; значення продуктивності праці одного працівника Q_p .

У блоці 2 обнулюється значення максимальної продуктивності оброблення поштових одиниць Q_{\max} .

У блоці 3 обнулюється значення поточного індексу i .

У блоці 4 значення поточного індексу i збільшується на одиницю.

У блоці 5 обчислюється значення поточного індексу $j = i - 1$.

У блоці 6 обнулюється значення навантаження послідовності надходжень поштових одиниць $N_{\text{п}}$.

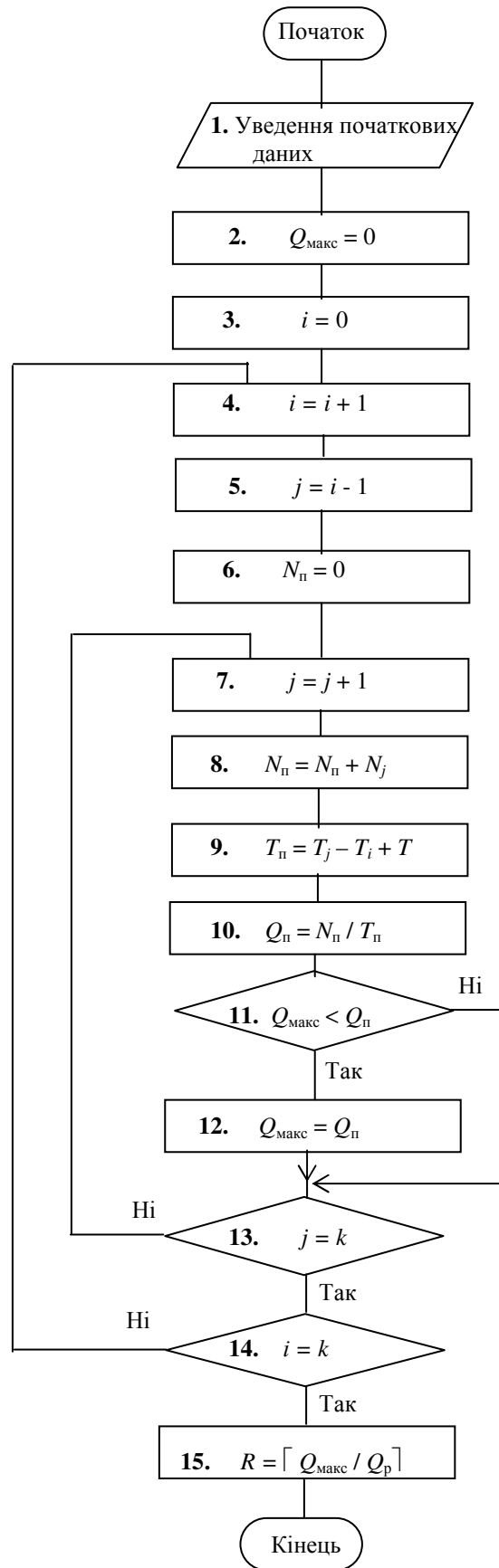


Рисунок 28 – Алгоритм розрахунку кількості робочих місць з оброблення поштових одиниць

У блоці 7 значення поточного індексу j збільшується на одиницю.

У блоці 8 значення навантаження послідовності надходжень поштових одиниць $N_{\text{п}}$ збільшується на величину поточного надходження поштових одиниць N_j .

У блоці 9 обчислюється значення часу, що виділяється на оброблення навантаження послідовності надходжень поштових одиниць, $T_{\text{п}} = T_j - T_i + T$.

У блоці 10 обчислюється значення необхідної продуктивності оброблення навантаження послідовності надходжень поштових одиниць $Q_{\text{п}} = N_{\text{п}} / T_{\text{п}}$.

У блоці 11 виконується перевірка виконання умови $Q_{\text{макс}} < Q_{\text{п}}$. Якщо “Так” – перехід до наступного блока, якщо “Ні” – до блока 13.

У блоці 12 значення $Q_{\text{макс}}$ замінюється значенням $Q_{\text{п}}$.

У блоці 13 виконується перевірка, чи дорівнює значення поточного індексу j значенню загального числа надходжень поштового навантаження k . Якщо “Так” – перехід до наступного блока, якщо “Ні” – до блока 7.

У блоці 14 виконується перевірка, чи дорівнює значення поточного індексу i значенню загального числа надходжень поштового навантаження k . Якщо “Так” – перехід до наступного блока, якщо “Ні” – до блока 4.

У блоці 15 обчислюється необхідна кількість робочих місць R з оброблення поштових одиниць у вузлі як округлене до найближчого цілого числа відношення знайденого значення $Q_{\text{макс}}$ до значення продуктивності праці одного працівника $Q_{\text{р}}$.

Нижче наведено приклад визначення кількості робочих місць з оброблення письмової кореспонденції у вузлі поштового зв'язку за алгоритмом рис. 28.

Кількість надходжень поштового навантаження – 4.

Значення поштового навантаження (тис. листів), що надходить у вузол, наведено у табл. 25.

Таблиця 25 – Значення поштового навантаження

Час надходження	08.00	10.30	12.00	14.00
Навантаження	6	4	8	3

Норматив часу оброблення письмової кореспонденції у вузлі – 3 год.

Продуктивність праці одного працівника – 2 тис. листів за год.

У табл. 26 наведено послідовність розрахованих значень продуктивності сортування поштових одиниць відповідно до даних табл. 25.

Таблиця 25 – Послідовність розрахованих значень продуктивності сортування поштових одиниць

Продуктивність сортування		
Аналітичні вирази	Поточні значення	Максимальні поточні значення
$\frac{N_1}{T}$	2,00	2,00
$\frac{N_1 + N_2}{T_2 - T_1 + T}$	1,82	2,00
$\frac{N_1 + N_2 + N_3}{T_3 - T_1 + T}$	2,57	2,57
$\frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}{T_4 - T_1 + T}$	2,33	2,57
$\frac{N_2}{T}$	1,33	2,57
$\frac{N_2 + N_3}{T_3 - T_2 + T}$	2,67	2,67
$\frac{N_2 + N_3 + N_4}{T_4 - T_2 + T}$	2,31	2,67
$\frac{N_3}{T}$	2,67	2,67
$\frac{N_3 + N_4}{T_4 - T_3 + T}$	2,22	2,67
$\frac{N_4}{T}$	1,00	2,67

Як впливає з отриманих результатів, для оброблення письмової кореспонденції в зазначеному вузлі достатньо двох робочих місць з максимальною сумарною продуктивністю оброблення письмової кореспонденції 2,67 тис. листів за год.

2. ОПТИМІЗАЦІЯ СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ

2.1. Загальна характеристика проблем автоматизації сортування письмової кореспонденції

Автоматизація сортування письмової кореспонденції – природний і закономірний процес, який пройшли, проходять або пройдуть поштові служби усіх країн, що мають достатньо високі об'єми письмової кореспонденції.

Не слід забувати, що для України, як і для інших республік колишнього СРСР, нинішня хвиля автоматизації сортування письмової кореспонденції – друга. Перша хвиля відноситься до 70-80 рр. ХХ століття, коли в СРСР був накопичений унікальний досвід автоматизованого сортування письмової кореспонденції у вузлах поштового зв'язку республіканських, крайових і обласних центрів.

Причиною практично повсюдної відмови від автоматизованого сортування письмової кореспонденції та повернення до її ручного сортування стало багаторазове падіння потоків письмової кореспонденції, обумовлене розпадом СРСР і бурхливим розвитком електронних засобів телекомунікацій, які повністю або частково витиснули поштовий зв'язок з багатьох раніше опанованих ним ніш.

Підкреслимо, що з економічної точки зору принципова відмінність ручного й автоматизованого сортування письмової кореспонденції полягає не в тому, що в першому випадку сортування письмової кореспонденції здійснюють сортувальники, а в другому – ЛСМ, і навіть не у співвідношенні вартості ручного й автоматизованого сортування письмової кореспонденції, а в тому, що оплата праці сортувальників робиться за виконану роботу, а отже, безпосередньо залежить від об'ємів сортованої кореспонденції, в той час як витрати на придбання ЛСМ носять завчасний характер, а витрати на їхню експлуатацію практично не залежать від того, сортують вони письмову кореспонденцію чи не сортують.

Як свідчать розрахунки, близько 99% витрат на утримання ЛСМ складають виплати по банківських кредитах або амортизаційні відрахування, утримання або оренда приміщень, придбання запасних частин і витратних матеріалів, оплата електроенергії, комунальні платежі, заробітна плата позазмінного, як правило, високооплачуваного адміністративно-управлінського персоналу, електронників, електромеханіків, програмістів, а також охорони і допоміжного обслуговуючого персоналу, і лише близько 1% на заробітну плату змінного, як правило, низькооплачуваного персоналу (1-2 оператори в кожній зміні).

Таким чином, ефективність використання ЛСМ визначається її навантаженням, тобто, по суті, коефіцієнтом корисної дії.

Зарубіжний досвід і досвід першої хвилі автоматизованого сортування письмової кореспонденції в СРСР свідчить, що використання ЛСМ є ефективним, якщо її корисна робота складає не менше 16 годин за добу. Виходячи з цього при середній продуктивності ЛСМ 30 тис. листів/год одна

ЛСМ повинна сортувати не менш 500 тис. листів за добу (з урахуванням можливого багатоступового сортування).

Про те, наскільки важливе виконання цієї вимоги, красномовно свідчить сумний досвід використання 19 автоматичних листосортувальних машин радянського виробництва, установлених свого часу в обласних центрах України, коли внаслідок багаторазового падіння потоків письмової кореспонденції, зазначені машини практично простоювали, їх утримання виявилось конче збитковим і вони, залишаючись у справному технічному стані, раніше чи пізніше опинилися на смітниках металобрухту.

У 1991 р. об'єми письмової кореспонденції в СРСР склали близько 15 млрд. одиниць за рік. Хоча облік цих обсягів по союзних республіках не провадився, за співвідношенням чисельності населення СРСР і України можна вважати, що на долю України припадало не менше 3 млрд. одиниць за рік (8,2 млн. одиниць за добу).

Нинішні об'єми письмової кореспонденції в Україні за даними Укрпошти складають близько 360 млн. одиниць за рік (близько 1 млн. одиниць за добу), тобто зменшилися порівняно з 1991 роком більш ніж у 8 разів.

Оптимістичні прогнози стосовно зростання потоків письмової кореспонденції, на жаль, не виправдовуються: наведені об'єми протягом останніх років практично не змінюються.

За даними Всесвітнього поштового союзу стагнація або падіння потоків письмової кореспонденції спостерігаються в усьому світі.

І це не дивно. Небувалий розвиток телефонного зв'язку, в тому числі мобільного, упровадження електронної пошти, гібридної пошти, SMS, інтернету, факсу, інших телекомунікаційних систем передавання інформації практично не залишають сподівань на зростання потоків письмової кореспонденції. Фактично за роки незалежності України виросло покоління молодих людей, яким взагалі невідомий епістолярний жанр.

Втім, перспектива реального поступового зростання потоків письмової кореспонденції в Україні все ж таки існує. Ця перспектива пов'язана не з якими-то особливостями України, а з тим, що нині за рівнем споживання послуг поштового зв'язку, що визначається рівнем життя населення, Україна суттєво поступається не тільки розвиненим країнам світу, а й колишнім радянським республікам, які лише нещодавно увійшли до європейської співдружності, а також Росії.

Так, кількість листів, що припадає на одного мешканця за рік за даними ВПС (2007 р.) складала: в США – 655,0, у Німеччині – 252,5, у Польщі – 32,5, у Росії – 7,7, в Україні – 6,5.

Зі зростанням добробуту населення, розвитком малого і середнього підприємництва можна сподіватися на зростання зазначеної кількості листів в Україні хоча б до рівня Польщі, що виявиться достатнім для ефективної роботи приблизно 12 ЛСМ.

Звідси випливає, що реальне зростання потоків письмової кореспонденції в Україні слід пов'язувати лише з прогнозами реального підвищення рівня життя населення України.

Оскільки в обласних вузлах мережі поштового зв'язку УДППЗ „Укрпошта” нині немає потоків письмової кореспонденції, достатніх для забезпечення ефективного використання ЛСМ, виходом зі становища є створення спеціалізованих об'єктів поштового зв'язку – регіональних сортувальних центрів (РСЦ), розташованих у головному (м. Київ) або у зональних (мм. Київ, Дніпропетровськ, Львів і, можливо, Миколаїв) вузлах мережі поштового зв'язку і призначених для здійснення автоматизованого сортування письмової кореспонденції, що надходить від закріплених за ними об'єктів поштового зв'язку відповідних регіонів, і що направляється у відсортованому виді до цих об'єктів.

Зазначимо, що створення РСЦ було передбачене ще Комплексною програмою створення Єдиної національної системи зв'язку України (Постанова Кабінету Міністрів України від 23 вересня 1993 р. №790) і повторене в Програмі реструктуризації Українського об'єднання поштового зв'язку „Укрпошта” (Постанова Кабінету Міністрів України від 4 січня 1998 р. №1), Концепції розвитку зв'язку України до 2010 року (Постанова Кабінету Міністрів України від 9 грудня 1999 р. №2238), Концепції Державної цільової програми розвитку поштового зв'язку на 2009-2013 роки (Постанова Кабінету Міністрів України від 14 січня 2009 р. №35-р) та ряді відомчих нормативних актів.

На користь створення єдиного РСЦ у ГВ можуть бути наведені наступні доводи:

- низькі об'єми письмової кореспонденції в Україні;
- мінімальні витрати на створення РСЦ;
- можливість організації безперервного сортування письмової кореспонденції;
- найвища концентрація потоків письмової кореспонденції в РСЦ;
- можливість об'єднання перевезень письмової кореспонденції з перевезеннями загальнодержавних періодичних видань;
- простота синхронізації оброблення і перевезення письмової кореспонденції.

На користь створення декількох РСЦ у ЗВ можуть бути наведені такі доводи:

- можливість скорочення кількості етапів сортування письмової кореспонденції за рахунок розподілу напрямів сортування між РСЦ;
- можливість скорочення загальної протяжності магістральних поштових маршрутів за рахунок існування оптимальної кількості РСЦ, за якої сумарна протяжність міжзональних і внутрішньозональних маршрутів сягає мінімуму.

У той же час створення РСЦ тягне за собою ряд недоліків, серед яких:

- необхідність створення нових коштовних об'єктів поштового зв'язку;
- необхідність додаткових перевезень письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку обласного рівня і РСЦ;

– затримка сортування письмової кореспонденції, обумовлена її додатковими перевезеннями, а також необхідністю забезпечення високої ефективності роботи ЛСМ.

Оскільки створення одного РСЦ оцінюється в декілька десятків мільйонів євро, виникає ряд важливих питань:

- скільки повинно бути створено РСЦ;
- де повинні розташовуватися РСЦ;
- як повинні бути з'єднані між собою РСЦ;
- до якого рівня повинна сортуватися письмова кореспонденція в РСЦ до об'єктів поштового зв'язку власних регіонів;
- до якого рівня повинна сортуватися письмова кореспонденція в РСЦ до об'єктів поштового зв'язку решти регіонів;
- як впливає створення РСЦ на техніко-економічні показники мережі поштового зв'язку;
- яким вимогам повинні відповідати ЛСМ у РСЦ?

2.2. Аналіз передумов упровадження систем автоматизованого сортування письмової кореспонденції

Світовий досвід переконливо свідчить: для впровадження надто коштовних систем автоматизованого оброблення письмової кореспонденції повинні бути створені відповідні техніко-економічні передумови.

Основними техніко-економічними передумовами упровадження систем автоматизованого оброблення письмової кореспонденції виступають:

- концентрація потоків письмової кореспонденції в РСЦ;
- забезпечення виконання нормативних строків пересилання письмової кореспонденції;
- економічна доцільність переходу від ручного до автоматизованого оброблення письмової кореспонденції.

Нижче в узагальненому виді наведений аналіз зазначених передумов.

Концентрація потоків письмової кореспонденції в РСЦ

Концентрація потоків письмової кореспонденції в РСЦ передбачає перевезення необробленої або частково обробленої письмової кореспонденції від місць її збирання або приймання до РСЦ.

На зазначену концентрацію рішучий вплив чинить структура мережі поштового зв'язку.

На рис. 29 наведено дві принципово відмінні структури мереж поштового зв'язку.

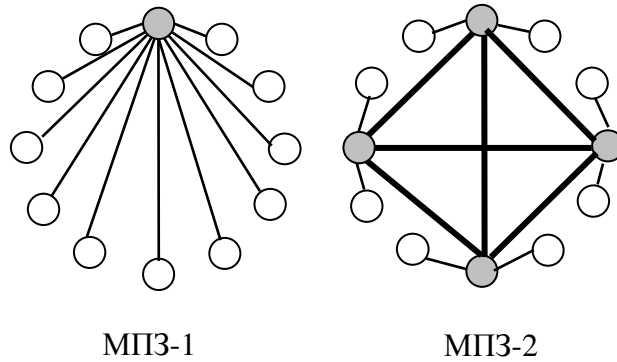


Рисунок 29 – Варіанти структур мереж поштового зв'язку

Передбачається, що РСЦ створюються в головному або в усіх зональних вузлах.

Цифра в позначенні мережі поштового зв'язку визначає максимальну кількість РСЦ, через які прямує письмова кореспонденція при її пересиланні між обласними вузлами. Оскільки відмінності мереж МПЗ-1 і МПЗ-2 виявляються лише на магістральному рівні, на рис. 29 зазначені лише обласні (незатінені) та головний або зональні (затінені) вузли. Вважається, що усього в кожній мережі g обласних вузлів, в h з яких створюються РСЦ. На рис. 29 значення $g = 12$ в обох мережах, $h = 1$ в МПЗ-1, $h = 4$ в МПЗ-2. Нумерація вузлів в обох мережах збігається з нумерацією годин на циферблаті годинника і на рис. 29 не наведена.

У мережі МПЗ-1 створено лише один РСЦ у головному вузлі 12. Письмова кореспонденція між усіма обласними вузлами пересилається через зазначений РСЦ. Загальна кількість поштових маршрутів, що з'єднують обласні вузли з головним вузлом, складає $g - 1$ (для МПЗ-1 на рис. 29 вона складе $12 - 1 = 11$ маршрутів).

У мережі МПЗ-2 створено 4 РСЦ в зональних вузлах 3, 6, 9, 12, з'єднаних між собою за принципом „кожний з кожним”. Обласні вузли закріплені за найближчими до них зональними вузлами. Письмова кореспонденція між обласними вузлами однієї зони пересилається через зональний вузол цієї зони. Письмова кореспонденція між обласними вузлами різних зон пересилається через два зональні вузли відповідних зон. Загальна кількість внутрішньозональних маршрутів складає $g - h$ (для МПЗ-2 на рис. 29 вона складе $12 - 4 = 8$ маршрутів). Загальна кількість міжзональних маршрутів складає $h(h - 1)/2$ (для МПЗ-2 на рис. 1 – $4(4 - 1)/2 = 6$ маршрутів).

Теоретично, зі створенням РСЦ в них можна було б виконувати всі види сортування письмової кореспонденції, що раніше виконувалися в обласних вузлах, однак, враховуючи установлені Мінтрансзв'язку нормативні строки пересилання місцевої кореспонденції $D + 2$ та внутрішньообласної кореспонденції $D + 3$, зазначена кореспонденція повинна вилучатися в обласних вузлах.

Теперішнього часу таке вилучення виконується шляхом попереднього сортування письмової кореспонденції в обласних вузлах.

Оскільки діючі нормативи трудових витрат на ручне сортування письмової кореспонденції не залежать від кількості напрямів сортування, вилучення

місцевої та внутрішньообласної кореспонденції, яке можна розглядати як сортування на два напрями (місцева та внутрішньообласна кореспонденція; інша кореспонденція), без збільшення трудових витрат можна об'єднати з сортуванням на більшу кількість напрямів, наприклад, з сортуванням до зон ($1 + 4 = 5$ напрямів); з сортуванням до зон і областей власної зони ($1 + 3 + 6 = 10$ напрямів); з сортуванням до зон, областей і обласних центрів власної зони ($1 + 3 + 6 + 6 = 16$ напрямів); з сортуванням до областей України ($1 + 25 = 26$ напрямів); з сортуванням до областей і обласних центрів України ($1 + 25 + 25 = 51$ напрямів) і т. ін.

Втім, не можна не бачити, що за такого об'єднання об'єми сортування письмової кореспонденції в РСЦ будуть відповідно зменшуватися, а разом з ними буде зменшуватися й ефективність автоматизованого сортування письмової кореспонденції в цих вузлах.

Фактично слід визнати наявність парадоксальної ситуації, за якої забезпечення високої ефективності машинного сортування письмової кореспонденції в РСЦ здійснюється за рахунок зниження ефективності її ручного сортування в обласних вузлах.

Для того, щоб уникнути зазначеної ситуації, доцільно відновити забуту практику використання спеціальних поштових скриньок відмітного кольору для збирання місцевої та внутрішньообласної кореспонденції в обласних центрах і крупних містах України, або перейняти досвід деяких європейських країн, що використовують спеціальні перегороджені поштові скриньки з двома щілинами, виймання кореспонденції з яких здійснюється в спеціальні перегороджені мішки, або використовувати для пересилання місцевої та внутрішньообласної кореспонденції спеціальні поштові конверти з відмітними ознаками.

Виходячи з цього, є підстави вважати, що з обласних вузлів до РСЦ може надходити несортована письмова кореспонденція, з якої, без попереднього сортування в обласних вузлах, вилучена місцева та внутрішньообласна кореспонденція.

Продуктивність сучасних ЛСМ складає близько 30 тис. листів за годину або 480 тис. листів за 16 годин корисної роботи протягом доби, отже, якби всі нинішні обсяги письмової кореспонденції України (близько 1 млн. одиниць за добу) підлягали автоматизованому обробленню, для їхнього сортування знадобилося б лише дві ЛСМ за умов одноетапного сортування або чотири ЛСМ за умов двоетапного сортування.

Насправді на автоматизоване оброблення може надійти лише близько 50% цих обсягів, оскільки решта письмової кореспонденції не підлягає автоматизованому обробленню. До зазначеної кореспонденції відносяться:

- місцева та внутрішньообласна кореспонденція, яка для забезпечення установлених Мінтрансзв'язку нормативних строків її пересилання (відповідно $D + 2$ і $D + 3$) вилучається в обласних вузлах;
- кореспонденція, яка за своїми розмірами та масою не може бути оброблена автоматичними ЛСМ;
- внутрішня реєстрована та міжнародна кореспонденція, яка оброблюється вручну за окремими технологіями;

– неоплачена або неповністю оплачена кореспонденція, яка вилучається в об'єктах поштового зв'язку, де здійснюється її перше оброблення, та повертається відправникам;

– кореспонденція, яка безпосередньо обмінюється між об'єктами поштового зв'язку, розташованими на відповідних поштових маршрутах (обласні вузли та магістральні вузли районного рівня).

Таким чином, для автоматизованого сортування всіх нинішніх об'ємів в письмової кореспонденції в Україні достатньо однієї ЛСМ за умов одноетапного сортування або двох ЛСМ за умов двоетапного сортування.

Оскільки в головному вузлі мережі МПЗ-1 досягається найвища концентрація потоків письмової кореспонденції (усі міжобласні потоки), які складають близько 50% письмової кореспонденції України, тобто близько 500 тис. одиниць за добу, а з урахуванням внутрішньообласних потоків письмової кореспонденції Київської області та упровадження сортування вхідної та місцевої кореспонденції Києва до відділень зв'язку – близько 600 тис. одиниць за добу, може бути забезпечено корисну роботу однієї листосортувальної машини протягом 20 годин або двох листосортувальних машин протягом 10 годин.

З урахуванням перспективи зростання об'ємів потоків письмової кореспонденції, можливості підвищення продуктивності автоматизованого сортування письмової кореспонденції в години найбільшого навантаження, забезпечення 100% резерву машинного сортування, можливості якісного проведення ремонтних і профілактичних робіт, потреби підготовки і підвищення кваліфікації спеціалістів з автоматизованого оброблення письмової кореспонденції, найвищої заробітної плати сортувальників в Києві, є резон обладнати головний вузол двома ЛСМ. При цьому доцільно розмістити ці ЛСМ в одному машинному залі, що, з одного боку, забезпечить широкі можливості розподілу навантаження між ними, а, з іншого, – дасть можливість знизити експлуатаційні витрати за рахунок обслуговування двох машин одним технічним персоналом.

За наявності в мережі поштового зв'язку чотирьох РСЦ в кожному з них на автоматизоване оброблення може надійти лише близько 120 тис. одиниць письмової кореспонденції за добу, що може забезпечити корисну роботу однієї ЛСМ протягом 4 годин.

Якщо навіть подвоїти ці обсяги за рахунок теоретично можливого упровадження двоетапного сортування письмової кореспонденції (перший етап – загальне сортування до 125 територіальних вузлів; другий етап – детальне сортування до 125 відділень зв'язку в межах зон обслуговування кожного з зазначених територіальних вузлів, тобто, до всіх $125 \cdot 125 = 15625$ відділень зв'язку України), хоча здійснення такого сортування з формуванням в чотирьох зональних вузлах 62500 постпакетів до всіх 15625 відділень зв'язку практично виглядає досить проблематичним з економічної, технічної та технологічної точок зору, то і в такому разі загальні обсяги сортування в одному сортувальному вузлі складуть лише близько 240 тис. одиниць за добу, тобто забезпечать корисну роботу однієї листосортувальної машини протягом 8 годин за добу, що удвічі менше економічно обгрунтованого нормативу.

Забезпечення виконання нормативних строків пересилання письмової кореспонденції

Хоча упровадження РСЦ уповільнює пересилання письмової кореспонденції внаслідок затримки її оброблення в РСЦ і зростання протяжностей шляхів між об'єктами поштового зв'язку, воно не призводить до порушення нормативних строків пересилання письмової кореспонденції, визначених Наказом Мінтрансзв'язку України „Про затвердження нормативів і нормативних строків пересилання поштових відправлень та поштових переказів” від 12.12.2007р. №1149 .

На рис. 30 наведено часові діаграми пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ ФТ2 (авіа), МПЗ АТ1, МПЗ АТ2, МПЗ АТ2 (авіа) з зазначенням допустимих інтервалів часу оброблення та перевезення письмової кореспонденції.

Часові діаграми пересилання письмової кореспонденції в МПЗ ФТ2 і МПЗ АТ2 наведено для двох випадків: використання для перевезень письмової кореспонденції між зональними вузлами автомобільного транспорту та використання для цих перевезень авіаційного транспорту (в останньому випадку на рис. 29 відповідні інтервали часу затінені).

Інтервали часу для обмінювання письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку та поштовими маршрутами й між поштовими маршрутами та об'єктами поштового зв'язку не зазначені: вважається, що вони входять у відповідні інтервали, виділені для оброблення та перевезення письмової кореспонденції.

Прийнято наступні часові показники:

- час проходження кільцевих поштових маршрутів ТВ – ВЗ – ТВ і РВ – ВЗ – РВ – 09.00 – 15.00, що забезпечує можливість доставляння письмової кореспонденції в сільських населених пунктах в день надходження;
- час готовності до відправлення письмової кореспонденції з територіальних вузлів в районних центрах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та з районних вузлів МПЗ АТ1, МПЗ АТ2 – 16.00;
- час готовності до відправлення письмової кореспонденції з територіальних вузлів в обласних центрах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та з обласних вузлів МПЗ АТ1, МПЗ АТ2 – 02.00, що дозволяє провадити останнє виймання письмової кореспонденції в обласних центрах орієнтовно в інтервалі часу 20.00 – 24.00 і, тим самим, уникнути автомобільних заторів;
- часові інтервали перевезення письмової кореспонденції визначені для найбільш протяжних поштових маршрутів при використанні для перевезень письмової кореспонденції відомчого автомобільного транспорту, що рухається з середньою швидкістю: на магістральних маршрутах – 50 км/год, на обласних маршрутах – 40 км/год, на районних маршрутах – 30 км/год.

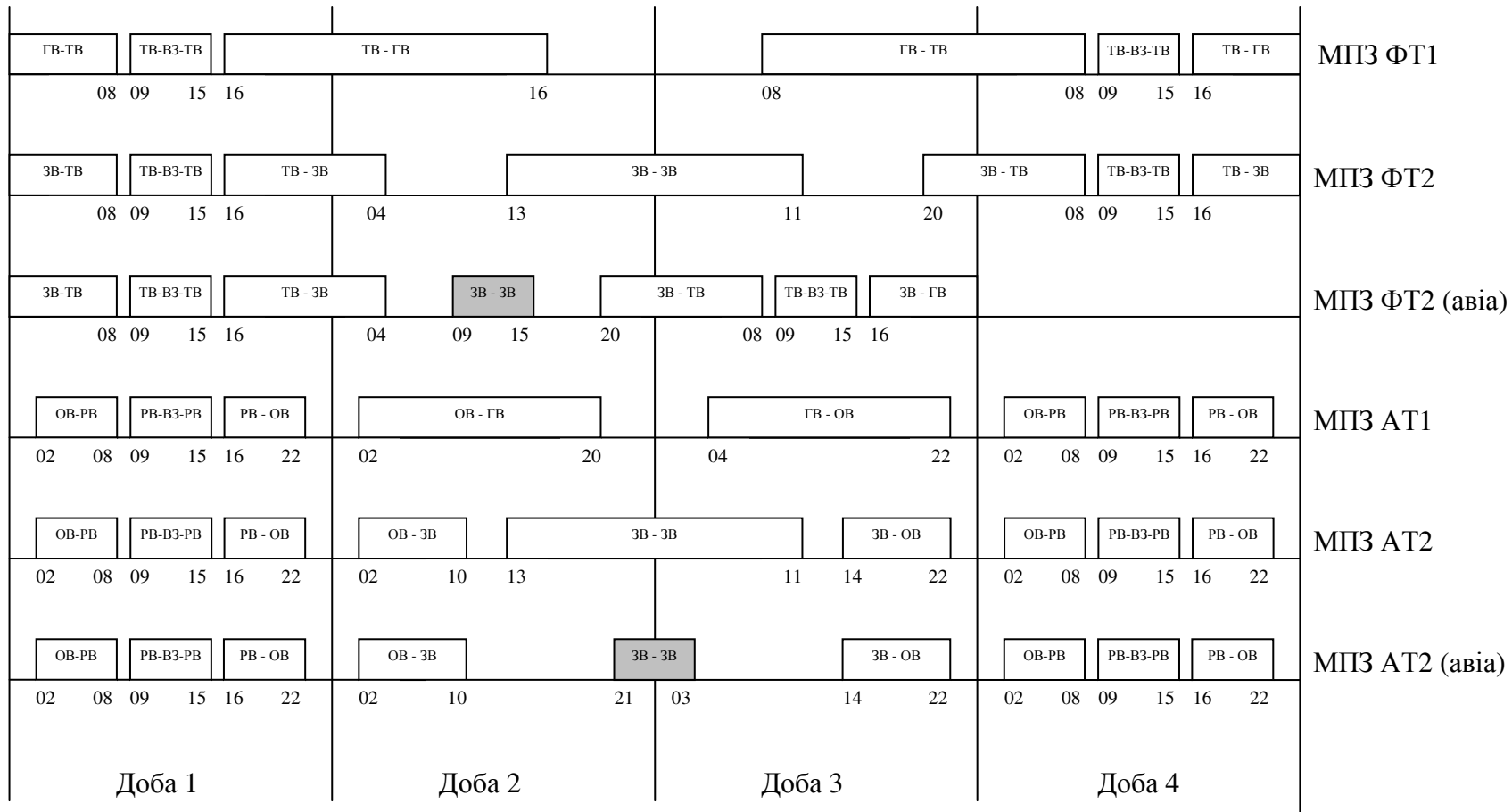


Рисунок 30 – Часові діаграми пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку

У табл. 27 наведено строки пересилання письмової кореспонденції в МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ ФТ2 (авіа), МПЗ АТ1, МПЗ АТ2, МПЗ АТ2 (авіа). Для порівняння наведено нормативні строки пересилання письмової кореспонденції, визначені Наказом Мінтрансзв'язку України.

Таблиця 27 – Строки пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку

Об'єкти поштового зв'язку, між якими визначаються строки пересилання письмової кореспонденції	Мережі поштового зв'язку						Нормативні
	МПЗ ФТ1	МПЗ ФТ2	МПЗ ФТ2 (авіа)	МПЗ АТ1	МПЗ АТ2	МПЗ АТ2 (авіа)	
Місцева	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 2
Між обласними центрами одного регіону	-	Д + 2	Д + 2	-	Д + 2	Д + 2	-
Між обласними центрами України	Д + 3	Д + 3	Д + 2	Д + 3	Д + 3	Д + 3	Д + 3
Між районними центрами однієї області	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 1	Д + 3
Між районними центрами областей одного регіону	-	Д + 2	Д + 2	-	Д + 2	Д + 2	-
Між районними центрами областей України	Д + 3	Д + 3	Д + 2	Д + 3	Д + 3	Д + 3	Д + 4
Між населеними пунктами однієї області	Д + 2	Д + 2	Д + 2	Д + 2	Д + 2	Д + 2	Д + 3
Між населеними пунктами областей одного регіону	-	Д + 3	Д + 3	-	Д + 3	Д + 3	-
Між населеними пунктами областей України	Д + 4	Д + 4	Д + 3	Д + 4	Д + 4	Д + 4	Д + 5

З приводу наведених у табл. 27 строків пересилання письмової кореспонденції слід зазначити наступне:

– строки пересилання місцевої кореспонденції та кореспонденції, що пересилається в межах області, зазначено за умов вилучення цієї кореспонденції у відповідних об'єктах поштового зв'язку області та її сортування в обласних центрах;

– нормативні строки пересилання письмової кореспонденції, визначені Наказом Мінтрансзв'язку України, збігаються або на 1 – 2 доби перевищують відповідні строки пересилання письмової кореспонденції в МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2, внаслідок чого не стимулюють підвищення якості послуг поштового зв'язку;

– строки пересилання письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку, розташованими в межах одного регіону, на одну добу менше ніж між відповідними об'єктами, розташованими в різних регіонах, що свідчить про доцільність нормативного визначення зазначених строків;

– застосування авіап перевезень письмової кореспонденції в МПЗ ФТ2 призводить, а в МПЗ АТ2 – не призводить до скорочення на одну добу строків

пересилання письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку, розташованими в різних регіонах;

– часові інтервали, що можуть бути виділені для оброблення письмової кореспонденції в головному вузлі МПЗ ФТ1 удвічі, а в зональних вузлах МПЗ ФТ2 – утричі перевищують відповідні інтервали в МПЗ АТ1 і МПЗ АТ2.

Економічна доцільність переходу від ручного до автоматизованого оброблення письмової кореспонденції

Вартість однієї ЛСМ продуктивністю 30 тис. листів/год складає близько 5 млн. євро. Виходячи з 10-річного строку експлуатації, обслуговування банківських кредитів або амортизаційні відрахування та експлуатаційні витрати без урахування інфляції складуть, як найменше, по 10% за рік, усього 20% за рік, тобто, 1 млн. євро за рік або 2740 євро за добу незалежно від фактичного часу корисної роботи машини протягом доби.

Вартість ручного сортування письмової кореспонденції визначається об'ємами сортуваної кореспонденції, продуктивністю праці сортувальників та їхньою заробітною платою.

За середньої продуктивності праці одного сортувальника 1800 листів/год і середній заробітній платі 1800 грн. за місяць з нарахуваннями (10 грн. або 1 євро за годину) для ручного сортування 30 тис. листів знадобиться 16,7 людино-годин або 16,7 євро. Витрати на ручне сортування більших об'ємів письмової кореспонденції пропорційно зростатимуть.

У табл. 28 наведено основні показники машинного та ручного сортування рівних об'ємів письмової кореспонденції.

Таблиця 28 – Основні показники машинного та ручного сортування рівних об'ємів письмової кореспонденції

Показники	Об'єми сортуваної кореспонденції, тис. од.							
	30	60	120	240	360	480	600	720
Час корисної роботи машини, годин за добу	1	2	4	8	12	16	20	24
Кількість людино-годин з ручного сортування	16,7	33,3	66,7	133,3	200,0	266,7	333,3	400,0
Вартість машинного сортування, євро за добу	2740	2740	2740	2740	2740	2740	2740	2740
Вартість ручного сортування, євро за добу	16,7	33,3	66,7	133,3	200,0	266,7	333,3	400,0
Співвідношення вартості машинного та ручного сортування	164,1	82,3	41,1	20,6	13,7	10,3	8,2	6,9

На рис. 31 наведено графік співвідношення вартості машинного $S_{\text{маш}}$ та ручного $S_{\text{ручн}}$ сортування письмової кореспонденції в залежності від часу $T_{\text{кор}}$ корисної роботи машини (годин за добу).

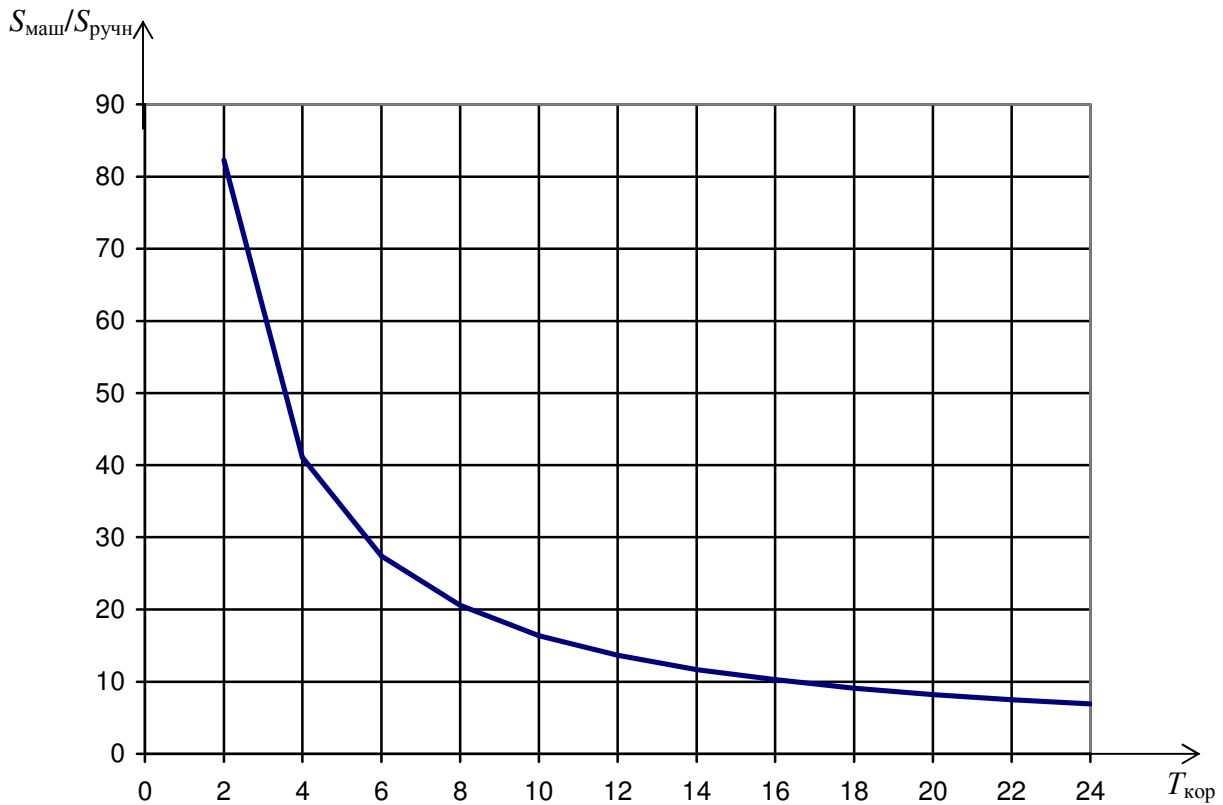


Рисунок 31 – Співвідношення вартості машинного та ручного сортування писемної кореспонденції

З табл. 28 і рис. 31 випливає, що мінімальне співвідношення вартості машинного і ручного сортування досягається при 24-годинній корисній роботі машини за добу і складає 6,9; при нормативному часі корисної роботи 16 годин за добу зазначене співвідношення зростає до 10,3, а при подальшому зменшенні часу корисної роботи машини багаторазово збільшується.

З цього можна зробити висновок, що теперішнього часу в Україні відсутні економічні передумови створення РСЦ. Втім, враховуючи найбільш високу заробітну плату сортувальників писемної кореспонденції в Києві, найвищу концентрацію потоків писемної кореспонденції в ГВ, перспективи зростання об'ємів писемної кореспонденції, необхідність підготовки спеціалістів з експлуатації ЛСМ створення єдиного РСЦ в ГВ можна вважати доцільним. В міру зростання потоків писемної кореспонденції може виявитися доцільним створення РСЦ в декількох ЗВ.

У табл. 29 наведено порівнянні техніко-економічні показники мереж МПЗ-1 і МПЗ-2.

Таблиця 29 – Техніко-економічні показники мереж поштового зв'язку

Техніко-економічні показники	Мережі поштового зв'язку	
	МПЗ-1	МПЗ-2
Кількість РСЦ	1	n
Концентрація потоків письмової кореспонденції в РСЦ	25	$25 / n$
Ефективність використання систем автоматизованого оброблення письмової кореспонденції	Висока	Низька
Кількість об'єктів поштового зв'язку, задіяних у пересиланні одного листа	7	8
Кількість поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа	6	7
Загальна кількість поштових маршрутів в мережі поштового зв'язку (без урахування можливості об'єднання)	24	$24 - n + n(n - 1) / 2$
Загальна протяжність поштових маршрутів у мережі поштового зв'язку	Найбільша	Найменша
Резерви часу пересилання письмової кореспонденції	Значні	Малі
Можливість суміщення пересилання письмової кореспонденції з перевезеннями загальнодержавних періодичних видань	Існує на маршрутах протяжністю до 600 км	Відсутня

2.3. Оптимізація кількості та місць розташування РСЦ у мережі поштового зв'язку

Кількість та місця розташування РСЦ чинять вирішальний вплив на всі техніко-економічні показники мережі поштового зв'язку.

У залежності від критеріїв оптимальності кількість та місця розташування РСЦ змінюються у широких межах.

Як основні критерії оптимальності кількості та місць розташування РСЦ можуть бути:

- кількість адміністративно-територіальних утворень України, що обслуговуються одним РСЦ;
- розміри територій, що обслуговуються одним РСЦ;
- природні межі (моря, озера, річки, водосховища, гірські хребти тощо);
- щільність населення в регіонах, що обслуговуються одним РСЦ;
- об'єми письмової кореспонденції, що сортується в РСЦ;
- сумарна протяжність магістральних поштових маршрутів;
- строки пересилання письмової кореспонденції і т. ін.

Відсутність єдиного підходу до визначення кількості та місць розташування РСЦ, а також надмірна роль суб'єктивних факторів обумовили надто суперечливі дані про кількість створених або планованих для створення РСЦ.

Не зупиняючись на аналізі цих даних, зауважимо лише те, що створення відносно значної кількості РСЦ суперечить вимозі концентрації в них великих потоків письмової кореспонденції і, тим самим, пророкує другій хвилі автоматизації сортування письмової кореспонденції долю першої.

У зв'язку з цим підійдемо до оптимізації кількості та місць розташування РСЦ з суто наукових позицій.

Визначення оптимальної кількості та місць розташування РСЦ за критерієм мінімуму об'ємів сортування письмової кореспонденції

Розглянемо мережу поштового зв'язку, що містить g територіальних вузлів поштового зв'язку, на базі яких можуть створюватися h РСЦ.

У мережі з одним РСЦ при сортуванні на m напрямів на ЛСМ, що має n накопичувачів, потрібно k етапів сортування, оскільки величини m , n , k пов'язані співвідношеннями

$$m = n^k; k = \log_n m; n = \sqrt[k]{m},$$

а об'єм сортування P_c і об'єм письмової кореспонденції $P_{пк}$ – співвідношенням

$$P_c = k P_{пк}.$$

Наприклад, при $m = 15625$ (приблизна кількість ВЗ в Україні) і $n = 125$ значення $k = \log_{125} 15625 = 2$:

- на першому етапі сортування письмова кореспонденція поділяється на 125 груп по 125 напрямів в кожній ($125 \times 125 = 15625$);
- на другому етапі сортування кожна зі 125 груп, одержаних на першому етапі сортування, знов поділяється на 125 груп по одному напрямку в кожній, внаслідок чого створюється 15625 груп по одному напрямку в кожній ($15625 \times 1 = 15625$), а $P_c = 2P_{пк}$.

В мережі з h РСЦ об'єми письмової кореспонденції в кожному з них визначаються елементами матриці розподілу потоків письмової кореспонденції, загальний вид якої наведений на рис. 32.

РСЦ	1	...	i	...	j	...	h
1	p_{11}		p_{1i}		p_{1j}		p_{1h}
...							
i	p_{i1}		p_{ii}		p_{ij}		p_{ih}
...							
j	p_{j1}		p_{ji}		p_{jj}		p_{jh}
...							
h	p_{h1}		p_{hi}		p_{hj}		p_{hh}

Рисунок 32 – Матриця розподілу потоків письмової кореспонденції між РСЦ

Елементи матриці p_{ii} ($i = 1, 2, \dots, h$), розташовані на її головній діагоналі, визначають об'єми письмової кореспонденції, що пересилаються в межах відповідних регіонів i .

Елементи матриці p_{ij} ($j = 1, 2, \dots, h; j \neq i$), розташовані в рядку i матриці, визначають об'єми вихідної письмової кореспонденції, що пересилається з регіону i до решти регіонів j .

Елементи матриці p_{ij} ($i = 1, 2, \dots, h; i \neq j$), розташовані в стовпці i матриці, визначають об'єми вхідної письмової кореспонденції, що пересилається до регіону i з решти регіонів j .

Об'єми сортування письмової кореспонденції в мережі з h РСЦ визначаються відповідними елементами матриці розподілу потоків письмової кореспонденції та кількістю етапів сортування цієї кореспонденції.

Загальна кількість напрямів сортування m в мережі з h РСЦ являє собою суму напрямів сортування всіх РСЦ

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_h.$$

Можливі три основні підходи до організації сортування письмової кореспонденції в мережі з h РСЦ.

Згідно з першим підходом усі РСЦ, незалежно від значень m_i ($i = 1, 2, \dots, h$), здійснюють усі етапи сортування власної письмової кореспонденції на m напрямів, після чого обмінюються відсортованою письмовою кореспонденцією з РСЦ відповідних регіонів. Перевагою такого підходу є досягнення мінімального значення кількості етапів сортування, а, отже, і мінімального об'єму сортування, що складає, як і в мережі з одним РСЦ,

$P_c = kP_{\text{ПК}}$. Недоліком цього підходу є необхідність застосування в РСЦ ЛСМ, кількість накопичувачів яких визначається кількістю напрямів сортування в мережі, а не в регіонах, а також необхідність формування й пересилання hm постпакетів з відсортованою письмовою кореспонденцією.

Згідно з другим підходом усі РСЦ на першому етапі сортування здійснюють сортування письмової кореспонденції до територіальних вузлів поштового зв'язку усіх регіонів, після чого обмінюються цією кореспонденцією з РСЦ решти регіонів і здійснюють наступні етапи сортування письмової кореспонденції лише на m_i ($i = 1, 2, \dots, h$) напрямів власних регіонів. Такій підхід має усі переваги першого підходу при багаторазовому скороченні кількості пересилаємих постпакетів з hm до hg , а також забезпечує можливість проведення наступних етапів сортування як в РСЦ, так і в територіальних вузлах. Недоліком цього підходу є наявність перерв між закінченням сортування власної письмової кореспонденції та початком сортування письмової кореспонденції, що надходить з решти РСЦ.

Згідно з третім підходом усі РСЦ здійснюють усі етапи сортування письмової кореспонденції тільки на m_i ($i = 1, 2, \dots, h$) напрямів власних регіонів і, крім того, на першому етапі сортування виділяють письмову кореспонденцію, адресовану в $h - 1$ решти регіонів, та обмінюються з ними цією несортованою кореспонденцією. Перевагою такого підходу є скорочення кількості напрямів сортування в РСЦ з m до $m_i + h - 1$ ($i = 1, 2, \dots, h$). Крім того, внаслідок зменшення кількості напрямів сортування письмової кореспонденції власних регіонів за певних умов можливе скорочення об'ємів сортування зазначеної кореспонденції за рахунок скорочення кількості етапів її сортування. Недоліком цього підходу є збільшення об'ємів сортування письмової кореспонденції решти

регіонів, обумовлене необхідністю її виділення на першому етапі сортування, а також, як і за другого підходу, наявність перерв між закінченням сортування власної письмової кореспонденції та початком сортування письмової кореспонденції, що надходить з решти РСЦ.

Загальний об'єм сортування письмової кореспонденції в мережі з h РСЦ без урахування його можливого зменшення за рахунок зменшення кількості етапів сортування складає

$$P_c = k \sum_{i=1}^h p_{ii} + (k+1) \sum_{i=1}^h \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^h p_{ij} = (k+1) P_{\text{вс}} - \sum_{i=1}^h p_{ii}.$$

Оптимізація кількості та місць розташування РСЦ за критерієм мінімізації сумарної протяжності магістральних поштових маршрутів

У мережах поштового зв'язку з РСЦ магістральні поштові маршрути складаються з внутрішньорегіональних і міжрегіональних.

Сумарна протяжність L_{Σ} внутрішньорегіональних $L_{\Sigma_{\text{вр}}}$ і міжрегіональних $L_{\Sigma_{\text{мр}}}$ поштових маршрутів складає

$$L_{\Sigma} = L_{\Sigma_{\text{вр}}} + L_{\Sigma_{\text{мр}}} = M_{\text{вр}} L_{\text{вр}} + M_{\text{мр}} L_{\text{мр}},$$

де $M_{\text{вр}}$ і $M_{\text{мр}}$ – відповідно кількість внутрішньорегіональних і міжрегіональних поштових маршрутів;

$L_{\text{вр}}$ і $L_{\text{мр}}$ – відповідно середня протяжність одного внутрішньорегіонального і одного міжрегіонального поштового маршруту.

Виходячи з того, що g – загальна кількість територіальних вузлів, а h – загальна кількість РСЦ, що створюються на базі зазначених територіальних вузлів, кількість внутрішньорегіональних маршрутів складає $g - h$ і зі зростанням h зменшується. Крім того, зі створенням нових РСЦ деякі територіальні вузли опиняються до них ближче, ніж до створених раніше, внаслідок чого середня протяжність одного внутрішньорегіонального маршруту також зменшується.

Таким чином, зі зростанням h сумарна протяжність внутрішньорегіональних поштових маршрутів зменшується як внаслідок зменшення кількості цих маршрутів, так і внаслідок зменшення їхньої середньої протяжності.

У той самий час зі зростанням h кількість міжрегіональних маршрутів збільшується; наприклад, при з'єднанні РСЦ за принципом „кожний з кожним”, кількість міжрегіональних маршрутів складає $h(h - 1) / 2$. Що ж до середньої протяжності одного міжрегіонального маршруту, то вона при більш-менш рівномірному розташуванні РСЦ на території України практично не залежить від їхньої кількості, а визначається, головним чином, розмірами та територією країни.

Зменшення сумарної протяжності внутрішньорегіональних маршрутів і збільшення сумарної протяжності міжрегіональних маршрутів зі зростанням h зумовлюють наявність мінімуму сумарної протяжності цих маршрутів.

На жаль, відсутність будь-яких аналітичних залежностей між величинами та формами території України і територій регіонів, а також відстанями між те-

риторіальними вузлами і РСЦ, не дозволяє знайти зазначений мінімум аналітичними методами.

У зв'язку з цим, для точного розв'язання задачі теоретично необхідно дослідити усі можливі варіанти побудови мережі з одним, двома, трьома і т.д. РСЦ та обрати серед них варіант з мінімальною сумарною протяжністю внутрішньорегіональних і міжрегіональних поштових маршрутів.

Очевидно, що загальна кількість таких варіантів визначається загальною кількістю можливих сполучень

$$C_g^1 + C_g^2 + \dots + C_g^g = 2^g - 1.$$

Зазначимо, що при відносно невеликому значенні $g = 100$ (кількість територіальних вузлів в Україні складає 182), перебір усіх варіантів практично неможливий зважаючи на астрономічну величину числа $2^{100} \approx 10^{30}$.

Якщо навіть допустити, що розрахунки провадяться на надпотужному надмініатюрному комп'ютері, виконаному у виді сфери діаметром 1 мм, в якому виконання однієї операції пов'язане лише з часом поширення електромагнітної хвилі від одного края сфери до іншого, а розрахунок одного варіанта потребує виконання лише однієї операції, то кількість аналізованих варіантів склала б $3 \cdot 10^{11}$ за 1 с, 10^{19} за 1 рік, 10^{22} за 1 тис. років, 10^{25} за 1 млн. років, 10^{28} за 1 млрд. років, 10^{30} за 100 млрд. років при тому, що вік Землі оцінюється усього в 4,5 млрд. років.

Втім, реально РСЦ в Україні створюються лише на базі 25 обласних вузлів, та існує ряд ефективних методів, що дозволяють замінити повний перебір варіантів спрямованим перебором. Зокрема, наявність значення h , за якого сумарна протяжність внутрішньорегіональних і міжрегіональних маршрутів сягає мінімуму, робить аналіз усіх варіантів після досягнення зазначеного мінімального значення безглуздим.

На щастя, L_Σ сягає мінімуму за малих значень h (в Україні – при $h = 4$), що дозволяє розв'язати задачу на серійному комп'ютері за прийнятний час.

Структурну схему алгоритму визначення оптимальної кількості та місць розташування РСЦ наведено на рис. 33.

Прийнято наступні позначення сумарних протяжностей магістральних маршрутів, внутрішньорегіональних маршрутів, міжрегіональних маршрутів:

$L_\Sigma, L_{\Sigma_{вр}}, L_{\Sigma_{мр}}$ – поточні значення;

$L_{\Sigma h}, L_{\Sigma h_{вр}}, L_{\Sigma h_{мр}}$ – попередні значення;

$L_{\Sigma(h+1)}, L_{\Sigma(h+1)_{вр}}, L_{\Sigma(h+1)_{мр}}$ – наступні значення.

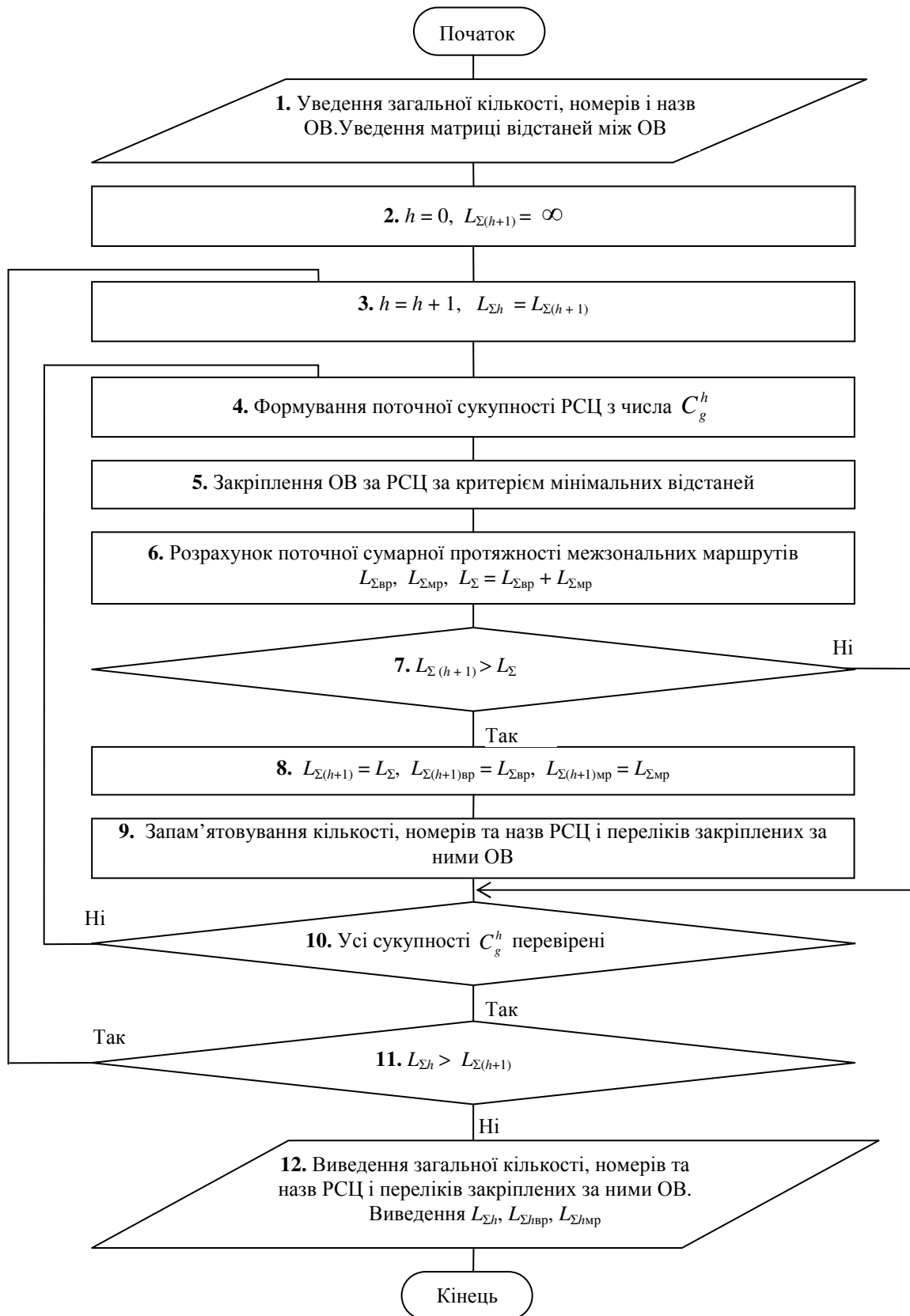


Рисунок 33 – Структурна схема алгоритму визначення оптимальної кількості та місць розташування РСЦ

Алгоритм містить 12 блоків.

У блоці 1 виконується уведення загальної кількості g , номерів і назв ОВ, на базі яких можуть створюватися РСЦ, та матриці відстаней між ОВ $\|l_{ij}\|$ ($i, j = 1, 2, \dots, g$).

У блоці 2 кількості РСЦ надається початкове значення $h = 0$, а попередній загальній протяжності магістральних маршрутів $L_{\Sigma(h+1)}$ – початкове нескінченне значення.

У блоці 3 значення h збільшується на одиницю, а попередній загальній протяжності магістральних маршрутів $L_{\Sigma(h+1)}$ надається значення наступної загальної протяжності цих маршрутів $L_{\Sigma h}$.

У блоці 4 формується поточна сукупність РСЦ з числа можливих сполучень C_g^h . При цьому послідовності номерів N_i ($i = 1, 2, \dots, g$) РСЦ у кожному з цих сполучень визначаються як $1 \leq N_1 \leq g - h + 1$; $N_1 + 1 \leq N_2 \leq g - h + 2$; ...; $N_{h-1} + 1 \leq N_h \leq g$, наприклад, при $g = 5$, $h = 3$ по черзі формуються наступні $C_5^3 = 10$ трійок номерів РСЦ: 1, 2, 3; 1, 2, 4; 1, 2, 5; 1, 3, 4; 1, 3, 5; 1, 4, 5; 2, 3, 4; 2, 3, 5; 2, 4, 5; 3, 4, 5.

У блоці 5 провадиться закріплення ОВ за найближчими до них РСЦ.

У блоці 6 розраховуються поточні сумарні протяжності магістральних маршрутів $L_{\Sigma_{вр}}$, $L_{\Sigma_{мр}}$, $L_{\Sigma} = L_{\Sigma_{вр}} + L_{\Sigma_{мр}}$.

У блоці 7 значення наступної загальної протяжності магістральних маршрутів $L_{\Sigma(h+1)}$ порівнюється з розрахованим значенням поточної протяжності цих маршрутів L_{Σ} . При виконанні умови $L_{\Sigma(h+1)} > L_{\Sigma}$ – перехід до блока 8, при невиконанні – до блока 10.

У блоці 8 наступні значення протяжностей магістральних маршрутів $L_{\Sigma(h+1)}$, $L_{\Sigma(h+1)_{вр}}$, $L_{\Sigma(h+1)_{мр}}$ замінюються відповідними поточними значеннями L_{Σ} , $L_{\Sigma_{вр}}$, $L_{\Sigma_{мр}}$.

У блоці 9 запам'ятовуються кількість, номери та назви РСЦ і переліки закріплених за ними ОВ.

У блоці 10 перевіряється, чи всі C_g^h можливих сукупностей РСЦ перевірені. Якщо „Так” – перехід до блока 11, якщо „Ні” – повернення до блока 4.

У блоці 11 значення попередньої сумарної протяжності магістральних маршрутів $L_{\Sigma h}$ порівнюється з розрахованим значенням наступної сумарної протяжності цих маршрутів $L_{\Sigma(h+1)}$. При невиконанні умови $L_{\Sigma h} > L_{\Sigma(h+1)}$ – перехід до блока 12, при виконанні – повернення до блока 3.

У блоці 12 виводяться загальна кількість, номери та назви РСЦ і переліки закріплених за ними ОВ, а також оптимальні значення $L_{\Sigma h}$, $L_{\Sigma_{вр}}$, $L_{\Sigma_{мр}}$.

Для ілюстрації можливості знаходження мінімальної сумарної протяжності внутрішньорегіональних і міжрегіональних поштових маршрутів аналітичними методами уявимо територію України S у формі круга радіусом R , а території h регіонів s – у формі кругів радіусом r , у центрах яких розташовані РСЦ.

Значення R і r складуть при цьому

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}; \quad r = \sqrt{\frac{s}{\pi}} = \sqrt{\frac{S}{\pi h}},$$

а середні протяжності внутрішньорегіональних і міжрегіональних маршрутів відповідно

$$L_{\text{вр}} = 0,5r = 0,5\sqrt{\frac{S}{\pi h}}; \quad L_{\text{мп}} = 0,5R = 0,5\sqrt{\frac{S}{\pi}}.$$

Виходячи з цього

$$L_{\Sigma\text{вр}} = 0,5(g-h)\sqrt{\frac{S}{\pi h}}; \quad L_{\Sigma\text{мп}} = 0,25h(h-1)\sqrt{\frac{S}{\pi}}; \quad L_{\Sigma} = 0,25\sqrt{\frac{S}{\pi}} \left(\frac{2(g-h)}{\sqrt{h}} + h(h-1) \right).$$

Диференціюючи одержану функцію по h і прирівнюючи похідну нулю, знайдемо

$$L'_{\Sigma} = 0,25\sqrt{\frac{S}{\pi}} \left(-\frac{g}{\sqrt[3]{h}} - \frac{1}{\sqrt{h}} + 2h - 1 \right) = 0,$$

або

$$4h^5 - 4h^4 + h^3 - 2gh - g^2 = 0,$$

звідки

$$h \approx \sqrt[5]{\frac{g^2}{4}}.$$

Так, при $g = 100$, значення h , за якого L_{Σ} сягає мінімуму, складає $h = 5$.

У табл. 30 наведено розрахункові значення $L_{\Sigma\text{вр}} = \frac{2(g-h)}{\sqrt{h}}$;

$L_{\Sigma\text{мп}} = h(h-1)$; $L_{\Sigma} = \frac{2(g-h)}{\sqrt{h}} + h(h-1)$ у залежності від h при $g = 100$, а на рис. 34

– графіки цих залежностей (множники $0,25\sqrt{\frac{S}{\pi}}$ при $L_{\Sigma\text{вр}}$, $L_{\Sigma\text{мп}}$, L_{Σ} опущені).

Таблиця 30 – Залежності $L_{\Sigma\text{вр}}$, $L_{\Sigma\text{мп}}$, L_{Σ} від h при $g = 100$

h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_{\Sigma\text{вр}}$	198	139	112	96	85	77	70	65	61	57
$L_{\Sigma\text{мп}}$	0	2	6	12	20	30	42	56	72	90
L_{Σ}	198	141	118	108	105	107	112	121	133	147

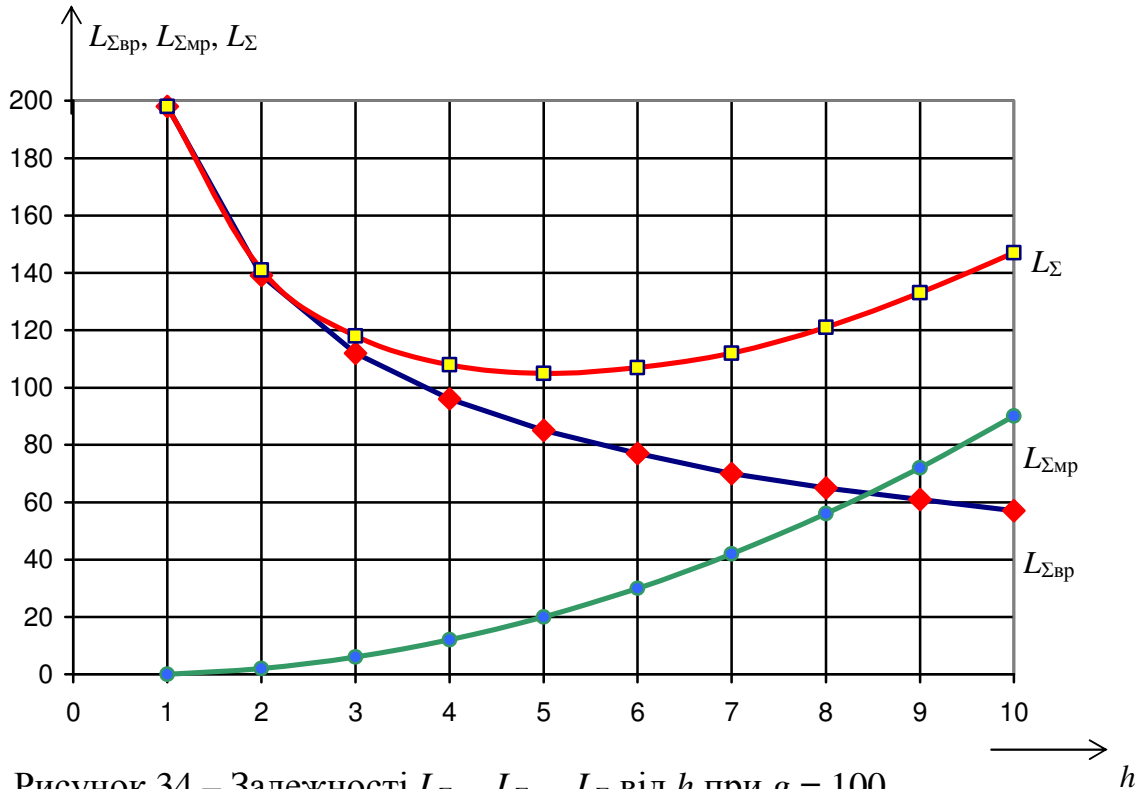


Рисунок 34 – Залежності $L_{\Sigma_{вр}}$, $L_{\Sigma_{мр}}$, L_{Σ} від h при $g = 100$

Як випливає з табл. 30 і рис. 34, при $g = 100$ мінімум сумарної протяжності внурішньорегіональних і міжрегіональних маршрутів дійсно досягається при $h = 5$. Зазначимо, що такий самий результат утворюється і при уявленні території регіонів у формі будь-яких регулярних ґратчастих структур, наприклад, у формі рівновеликих правильних шестикутників, квадратів або рівносторонніх трикутників, тобто правильних багатокутників, що забезпечують щільне укладання територій регіонів на території країни.

Оптимізація кількості та місць розташування РСЦ за критерієм мінімуму нормативних строків пересилання письмової кореспонденції

За певних умов мінімізація нормативних строків пересилання письмової кореспонденції може бути досягнена за рахунок використання авіаперевезень письмової кореспонденції між РСЦ. Природно, що при цьому РСЦ повинні розміщуватися в крупних адміністративних центрах, що мають аеропорти цілодобового функціонування.

Умовою мінімізації нормативних строків виступає забезпечення прискорення пересилання письмової кореспонденції на одну добу при переході від перевезень письмової кореспонденції між найближчими РСЦ наземним транспортом до її перевезень між цими РСЦ авіатранспортом.

Середній час перевезення письмової кореспонденції між найближчими РСЦ авіатранспортом складає близько 6 годин: по одній годині на перевезення письмової кореспонденції з РСЦ відправлення до аеропорту відправлення та із

аеропорту призначення до РСЦ призначення; по одній годині на завантаження літака та оформлення супровідної документації в аеропорту відправлення й на розвантаження літака та оформлення супровідної документації в аеропорту призначення; дві години на переліт із аеропорту відправлення до аеропорту призначення.

Для забезпечення прискорення пересилання письмової кореспонденції між найближчими РСЦ на 24 години час пересилання письмової кореспонденції між цими РСЦ наземним транспортом повинен складати $24 + 6 = 30$ годин. При середній швидкості перевезень письмової кореспонденції між РСЦ наземним транспортом 50 км/год це відповідає відстані 1500 км між зазначеними РСЦ, тобто, в середньому, по 750 км в кожному регіоні.

Узагальнюючи зазначений підхід, неважко бачити, що при перевезенні письмової кореспонденції авіатранспортом між РСЦ, розташованими на відстанях 3000, 4500, 6000 км і т.д. через 1, 2, 3 і т.д. проміжних РСЦ, час проходження авіамаршрутів становитиме 12, 18, 24 і т.д. годин, а час проходження відповідних наземних маршрутів $48 + 12 = 60$; $72 + 18 = 90$;

$96 + 24 = 120$ годин і т.д., тобто буде забезпечуватися прискорення пересилання письмової кореспонденції на 2, 3, 4 і т.д. доби.

Вважаючи, що територія регіону має форму круга радіусом 750 км, у центрі якого розташований РСЦ, його територія складе 1766250 кв. км. Оскільки територія України складає усього 0,6 млн. кв. км, робимо висновок, що упровадження авіап перевезень письмової кореспонденції між РСЦ не здатне скоротити нормативні строки пересилання письмової кореспонденції в Україні.

Зауважимо, що за таких умов у США, територія яких складає близько 9,4 млн. кв. км, може бути створено 5 РСЦ, а в Росії, територія якої перевищує 17 млн. кв. км, – 10 РСЦ.

2.4. Забезпечення безупинної роботи ЛСМ у РСЦ

Наявність змін об'ємів потоків письмової кореспонденції та неузгодженість часу надходження маршрутів ТВ – РСЦ з потребами автоматизованого сортування письмової кореспонденції в РСЦ призводять до того, що в роботі ЛСМ можуть спостерігатися перерви.

У той самий час для економії експлуатаційних витрат; для підвищення ефективності праці обслуговуючого персоналу; для максимізації інтервалів часу, що можуть бути виділені для попереднього оброблення письмової кореспонденції в ТВ, тобто для мінімізації кількості робочих місць в ТВ; для скорочення затримки пересилання письмової кореспонденції, обумовленої її автоматизованим обробленням, робота ЛСМ має бути безупинною.

Безупинну роботу ЛСМ може бути забезпечено двома шляхами:

- шляхом попереднього накопичення письмової кореспонденції в РСЦ і затримки часу початку сортування на час, що дорівнює сумі усіх перерв сортування, обумовлених неузгодженістю надходження маршрутів ТВ – РСЦ при їхньому найбільш ранньому відправленні з ТВ;

– шляхом узгодження надходження маршрутів ТВ – РСЦ при їхньому найбільш пізньому відправленні з ТВ.

Проте, як саме попереднє накопичування письмової кореспонденції в РСЦ, так і раннє відправлення поштових маршрутів ТВ – РСЦ, призводять до зростання витрат на оброблення письмової кореспонденції. Перше обумовлене тим, що попереднє накопичування письмової кореспонденції в РСЦ потребує збільшення кількості накопичувачів попереднього накопичування або збільшення їхньої ємності, а друге – тим, що раннє відправлення маршрутів ТВ – РСЦ призводить до скорочення інтервалу часу, що може бути виділений для попереднього оброблення письмової кореспонденції в ТВ, зокрема, для вилучення місцевої кореспонденції, внаслідок чого виникає потреба в збільшенні кількості робочих місць з попереднього оброблення письмової кореспонденції в ТВ.

Виходячи з цього безупинну роботу ЛСМ доцільно забезпечити за рахунок визначення найбільш пізнього часу відправлення маршрутів ТВ – РСЦ, за якого одночасно досягаються безупинна робота ЛСМ, мінімізація ємності накопичувачів попереднього накопичування письмової кореспонденції в РСЦ та максимізація інтервалів часу, що виділяється для попереднього оброблення письмової кореспонденції в ТВ.

Нижче наведено приклад визначення оптимального часу відправлення маршрутів ТВ – РСЦ, за якого забезпечується виконання зазначених вимог.

Основні вихідні дані та результати розрахунків наведено у табл. 31.

Таблиця 31 – Приклад визначення оптимального часу відправлення маршрутів ТВ – РСЦ

Но- мер ТВ	Час пере- везення письмової кореспон- денції ма- ршрутами ТВ – РСЦ, год.	Значення об'ємів письмової кореспон- денції, що надходять з ТВ до РСЦ, тис. од.	Розклади руху транспорту на маршру- тах ТВ – РСЦ, год.				Додаткові затримки відправлення транспорту на маршру- тах ТВ – РСЦ, год.
			Неоптимізовані		Оптимізовані		
			відпра- влення	прибут- тя	відпра- влення	прибут- тя	
1	3,0	30	02.00	05.00	03.00	06.00	1,0
2	4,0	40	02.00	06.00	03.30	07.30	1,5
3	5,0	40	02.00	07.00	04.30	09.30	2,5
4	6,0	30	02.00	08.00	04.30	11.30	2,5
5	8,0	20	02.00	10.00	05.00	13.00	3,0
6	9,0	30	02.00	11.00	05.00	14.00	3,0
7	11,0	20	02.00	13.00	04.30	15.30	2,5
8	12,0	10	02.00	14.00	04.30	16.30	2,5
9	14,0	40	02.00	16.00	03.00	17.00	1,0
10	15,0	20	02.00	17.00	04.00	19.00	2,0
11	18,0	30	02.00	20.00	02.00	20.00	0,0
12	19,0	10	02.00	21.00	02.30	21.30	0,5

Як впливає з табл. 31, розглядаються 12 ТВ, з'єднаних з РСЦ маршрутами ТВ – РСЦ, для яких задані час перевезення письмової кореспонденції маршрутами ТВ – РСЦ, значення об'ємів письмової кореспонденції, що надходить з ТВ до РСЦ, та неоптимізовані розклади руху транспорту на маршрутах ТВ – РСЦ з найбільш раннім відправленням з ТВ (02.00).

Результатами розрахунків є оптимізовані розклади руху транспорту на маршрутах ТВ – РСЦ з найбільш пізнім відправленням з ТВ (з 02.00 до 05.00), за яких забезпечується не тільки безупинна робота ЛСМ, а й максимізація значень додаткових затримок відправлення транспорту на маршрутах ТВ – РСЦ з ТВ.

На рис. 35 наведено часові графіки надходження й сортування письмової кореспонденції в РСЦ.

Будь-яка ордината графіків рис. 35, б, в, д відповідає значенню залишку несортованої кореспонденції у визначений момент часу, причому тангенс кута нахилу прямої між моментами будь-яких сусідніх надходжень визначається продуктивністю оброблення письмової кореспонденції в ЛСМ (на рис. 35 – 20 тис. листів за годину).

Графік рис. 35, а відбиває значення об'ємів письмової кореспонденції, що надходять з неоптимізованими маршрутами ТВ – РСЦ до РСЦ, та моменти їхнього надходження до РСЦ, а графік рис. 35, б – процес сортування в РСЦ об'ємів письмової кореспонденції, що надійшли відповідно до графіка рис. 35, а.

З графіка рис. 35, б впливає, що, не дивлячись на значну ємність накопичувачів попереднього накопичування (80 тис. листів), у роботі ЛСМ спостерігається перерва (з 19.00 до 20.00).

Графік рис. 35, в відбиває процес безупинного сортування об'ємів письмової кореспонденції, що надійшли згідно з графіком рис. 35, а, за рахунок затримки на одну годину часу початку сортування.

З графіка рис. 35, в впливає, що затримка на одну годину часу початку сортування потребує додаткового збільшення ємності накопичувачів попереднього накопичування письмової кореспонденції (з 80 тис. до 100 тис. листів).

Графік рис. 35, г оптимізованого надходження письмової кореспонденції до РСЦ побудовано виходячи з того, що сумарні об'єми письмової кореспонденції, що надходять на оброблення до РСЦ, складають 320 тис. листів, внаслідок чого для їх безупинного оброблення потрібно $320000:20000 = 16$ годин (з 06.00 до 22.00), причому момент кожного наступного надходження збігається з моментом закінчення оброблення письмової кореспонденції попереднього надходження.

Графік рис. 35, д оптимізованого сортування безпосередньо впливає з графіка рис. 35, г.

З графіка рис. 35, д впливає, що при оптимізованому надходженні письмової кореспонденції на оброблення ємність накопичувачів попереднього накопичування у РСЦ суттєво скорочується (до 40 тис. листів), а в роботі ЛСМ перерви відсутні. При цьому час відправлення маршрутів ТВ – РСЦ зростає з 0 до

3 годин, що дозволяє відповідно скоротити кількість робочих місць з ручного оброблення письмової кореспонденції в ТВ.

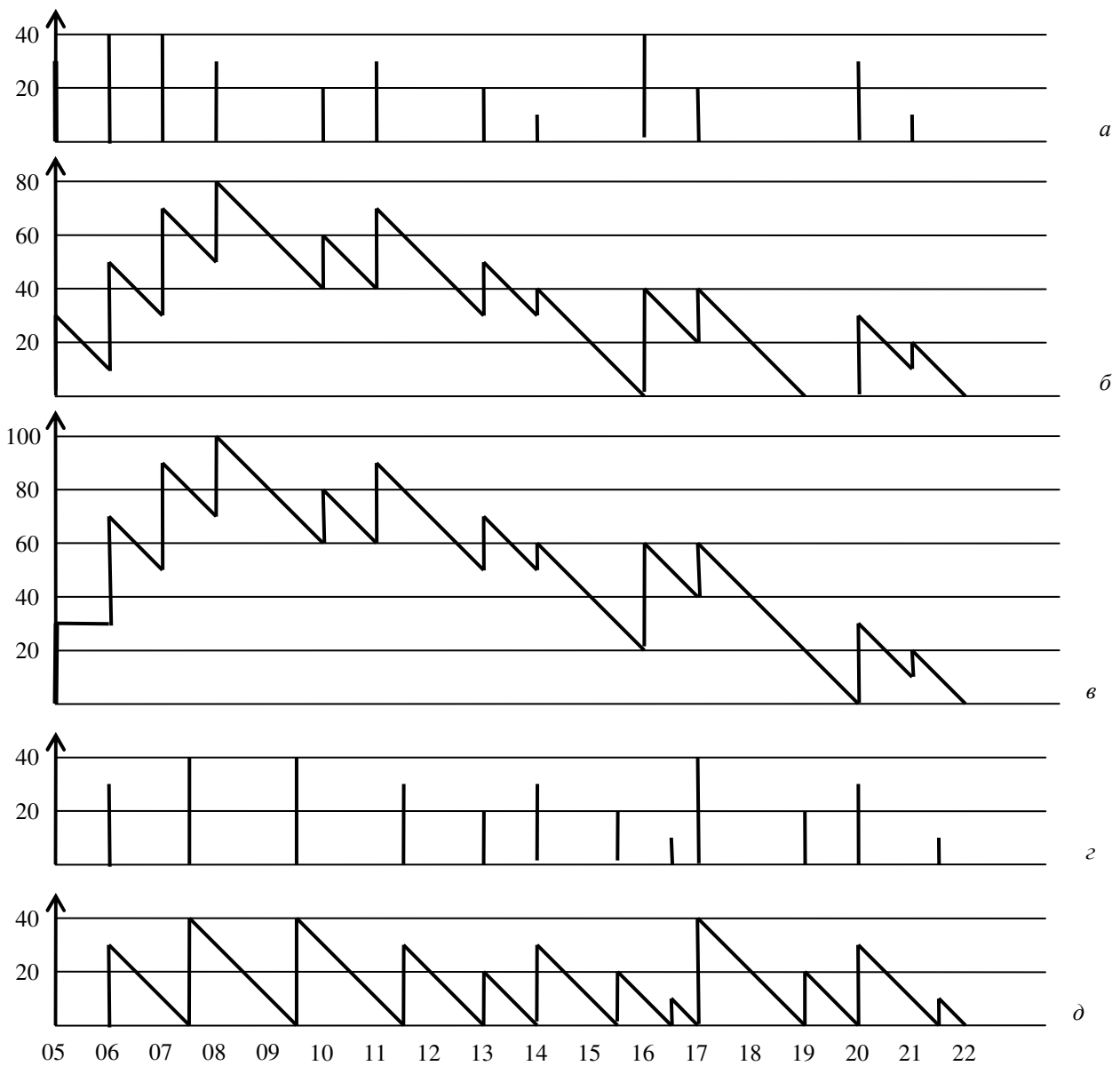
Як впливає з табл. 31, за оптимізованими розкладами руху транспорту на маршрутах ТВ – РСЦ при значеннях часу надходження транспорту до РСЦ, упорядкованих відповідно до значень часу перевезення письмової кореспонденції на цих маршрутах, додаткова затримка часу відправлення транспорту з ТВ на більш протяжних маршрутах може бути більшою, ніж на менш протяжних маршрутах, наприклад, додаткова затримка часу відправлення транспорту на маршруті ТВ-10 – РСЦ складає дві години при часі перевезення пошти 15 годин, а на маршруті ТВ-1 – РСЦ – одну годину при часі перевезення пошти 3 години.

Зазначене спостереження може бути використане для збільшення затримок часу відправлення транспорту на одних маршрутах ТВ – РСЦ за рахунок їхнього зменшення на інших маршрутах, тобто, за рахунок зміни порядку надходження транспорту до РСЦ.

З приводу графіків рис. 35, з, д слід зауважити, що вони відповідають заданим значенням об'ємів письмової кореспонденції.

При зростанні або скороченні згаданих об'ємів розклади руху транспорту на маршрутах ТВ – РСЦ повинні відповідно коригуватися. Якщо таке коригування не проводити, то при зростанні об'ємів письмової кореспонденції чергове надходження письмової кореспонденції буде відбуватися в момент часу, коли оброблення письмової кореспонденції попереднього надходження ще не завершено, а, отже, будуть відповідно зростати потрібні ємності накопичувачів попереднього накопичування і час оброблення письмової кореспонденції, а при скороченні об'ємів письмової кореспонденції в роботі ЛСМ з'являться відповідні перерви.

98



a – надходження неоптимізоване;
б – сортування неоптимізоване;
в – сортування неоптимізоване безупинне;
г – надходження оптимізоване;
д – сортування оптимізоване безупинне

Рисунок 35 – Графіки надходження й сортування письмової кореспонденції в РСЦ

2.5. Визначення оптимальної продуктивності ЛСМ у РСЦ

На практиці часові інтервали, виділені для сортування письмової кореспонденції в РСЦ, не завжди повною мірою відповідають змінам величин потоків письмової кореспонденції, внаслідок чого можливі випадки затримок оброблення цієї кореспонденції в РСЦ та її відправлення до відповідних ТВ.

З економічної точки зору відсутність затримок оброблення письмової кореспонденції в РСЦ за умов нерівномірності потоків письмової кореспонденції свідчить про те, що продуктивність ЛСМ перевищує максимальне добове навантаження РСЦ, тобто про низьку ефективність використання ЛСМ. І, навпаки, наявність затримок оброблення письмової кореспонденції в РСЦ за умов, що вона не призводить до порушення нормативних строків пересилання письмової кореспонденції свідчить про високу ефективність використання ЛСМ.

Враховуючи, що вартість ЛСМ знаходиться у прямій залежності від її продуктивності, доцільно забезпечити автоматизоване оброблення існуючих об'ємів письмової кореспонденції за допомогою ЛСМ мінімальної продуктивності.

Для визначення затримок оброблення письмової кореспонденції в РСЦ можна застосувати простий графічний метод. Розглянемо конкретний приклад.

Нехай вхідне поштове навантаження РСЦ протягом тижня відповідає типовим змінам і складає 1, 3, 5, 7, 6, 4, 2 відносних одиниць (в.о.). Загальне вхідне навантаження РСЦ за тиждень складе 28 в.о., а середньодобове – 4 в.о.

Отже, для оброблення письмової кореспонденції без затримки потрібна ЛСМ продуктивністю 7 в.о. за добу, а з затримкою – лише 4 в.о. за добу.

Визначимо величини затримок оброблення письмової кореспонденції в РСЦ. Для цього пронумеруємо всі відносні одиниці в порядку їхнього надходження і в порядку їхнього оброблення та зіставимо дні надходження з днями оброблення.

На рис. 36 наведено визначення затримок оброблення письмової кореспонденції для чотирьох варіантів продуктивності ЛСМ: $Q_1 = 4$, $Q_2 = 5$, $Q_3 = 6$, $Q_4 = 7$ в.о. за добу.

У табл. 32 наведено значення затримок оброблення кожної з відносних одиниць письмової кореспонденції для усіх варіантів оброблення вхідного навантаження за днями тижня.

Добове надходження (усі варіанти)

			16			
			15	22		
		9	14	21		
		8	13	20	26	
	4	7	12	19	25	
	3	6	11	18	24	28
1	2	5	10	17	23	27
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове оброблення (варіант 1)

28	4	8	12	16	20	24
27	3	7	11	15	19	23
26	2	6	10	14	18	22
25	1	5	9	13	17	21
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове оброблення (варіант 2)

		9	14	19	24	
		8	13	18	23	28
	4	7	12	17	22	27
	3	6	11	16	21	26
1	2	5	10	15	20	25
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове оброблення (варіант 3)

			15	21		
		9	14	20	26	
		8	13	19	25	
	4	7	12	18	24	
	3	6	11	17	23	28
1	2	5	10	16	22	27
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове оброблення (варіант 4)

			16			
			15	22		
		9	14	21		
		8	13	20	26	
	4	7	12	19	25	
	3	6	11	18	24	28
1	2	5	10	17	23	27
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Рисунок 36 – Визначення затримок оброблення письмової кореспонденції

Таблиця 32 – Значення затримок оброблення письмової кореспонденції

Відносні одиниці		Затримка оброблення, діб		Коефіцієнт використання ЛСМ, %
Номери	Усього	Окремих в.о.	Середня однієї в.о.	
Варіант 1				
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12	10	0	0,786	100
1, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 28	14	1		
21, 22, 25, 26	4	2		
Варіант 2				
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 23, 24, 27, 28	21	0	0,250	80
15, 16, 20, 21, 22, 25, 26	7	1		
Варіант 3				
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28	26	0	0,071	66,7
16, 22	2	1		
Варіант 4				
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28	28	0	0,000	57,1

Як впливає з табл. 32, у варіанті 1 без затримки обробляються 10 з 28 в.о., з затримкою на одну добу – 14 з 28 в.о., з затримкою на дві доби – 4 з 28 в.о., середня затримка складає $(10 \times 0 + 14 \times 1 + 4 \times 2) / 28 = 0,786$ доби; у варіанті 2 без затримки обробляються 21 з 28 в.о., з затримкою на одну добу – 7 з 28 в.о., середня затримка складає $(21 \times 0 + 7 \times 1) / 28 = 0,250$ доби; у варіанті 3 без затримки обробляються 26 з 28 в.о., з затримкою на одну добу – 2 з 28 в.о., середня затримка складає $(26 \times 0 + 2 \times 1) / 28 = 0,071$ доби; у варіанті 4 без затримки обробляються усі 28 в.о.

Таким чином, зменшення затримки оброблення письмової кореспонденції в РСЦ призводить до суттєвого зниження коефіцієнта використання ЛСМ.

2.6. Оптимізація розміщення робочих місць з оброблення поштових одиниць у РСЦ

Серед основних переваг створення РСЦ у мережі поштового зв'язку звичайно відзначається концентрація в них поштових потоків, яка є основною передумовою впровадження автоматизованих систем сортування поштових одиниць.

Проте, існують й інші, не менш важливі переваги, серед яких особливе місце належить можливості суттєвого скорочення операцій багаторазового сортування поштових одиниць, головним чином укрупнених, на робочих місцях зазначених РСЦ.

Багаторазове сортування укрупнених поштових одиниць у діючих технологіях пересилання пошти обумовлене їхнім обробленням на рознесених робочих місцях, з'єднаних між собою технологічними поштовими маршрутами.

Оброблення укрупнених поштових одиниць на рознесених робочих місцях викликає необхідність їхнього сортування перед завантаженням у транспортні засоби технологічних маршрутів та після розвантаження цих засобів.

У РСЦ існує можливість замінити локальні робочі місця з оброблення укрупнених поштових одиниць розподіленими зонами обслуговування, в яких накопичувачі попереднього ступеня оброблення поштових одиниць межують з накопичувачами наступного ступеня.

Завдяки цьому сортування укрупнених поштових одиниць та їхнє завантаження у технологічний транспорт на робочих місцях попереднього ступеня оброблення поштових одиниць; перевезення укрупнених поштових одиниць технологічним транспортом між робочими місцями попереднього та наступного ступенів оброблення поштових одиниць; розвантаження укрупнених поштових одиниць та їхнє сортування на робочих місцях наступного ступеня оброблення поштових одиниць замінюється безпосереднім переміщенням укрупнених поштових одиниць між відповідними накопичувачами зони обслуговування.

Принцип переходу від оброблення поштових одиниць на локальних робочих місцях до оброблення в розподіленій зоні обслуговування ілюструється на рис. 37.

На рис. 37 позначені:

а – схема оброблення поштових одиниць з перевезенням укрупнених поштових одиниць між робочими місцями;

б – схема оброблення поштових одиниць з переміщенням укрупнених поштових одиниць у зоні обслуговування;

РМА₁ – робоче місце А₁;

РМА₂ – робоче місце А₂;

РМБ₁ – робоче місце Б₁;

РМБ₂ – робоче місце Б₂;

А₁ - А₆ – накопичувачі РМА₁ (частини А зони обслуговування А - Б);

А₇ - А₁₂ – накопичувачі РМА₂ (частини А зони обслуговування А - Б);

Б₁ - Б₄ – накопичувачі РМБ₁ (частини Б зони обслуговування А - Б);

Б₅ - Б₈ – накопичувачі РМБ₂ (частини Б зони обслуговування А - Б);

МА₁ – місце завантаження технологічних маршрутів РМА₁;

МА₂ – місце завантаження технологічних маршрутів РМА₂;

МБ₁ – місце розвантаження технологічних маршрутів РМБ₁;

МБ₂ – місце розвантаження технологічних маршрутів РМБ₂;

МА₁ - МБ₁ – технологічний маршрут між РМА₁ і РМБ₁;

МА₁ - МБ₂ – технологічний маршрут між РМА₁ і РМБ₂;

МА₂ - МБ₁ – технологічний маршрут між РМА₂ і РМБ₁;

МА₂ - МБ₂ – технологічний маршрут між РМА₂ і РМБ₂.

Цифрами 1...12 позначені визначені заздалегідь напрями пересилання укрупнених поштових одиниць між накопичувачами РМА₁, РМА₂ (частини А зони обслуговування А - Б) і накопичувачами РМБ₁, РМБ₂ (частини Б зони обслуговування А - Б).

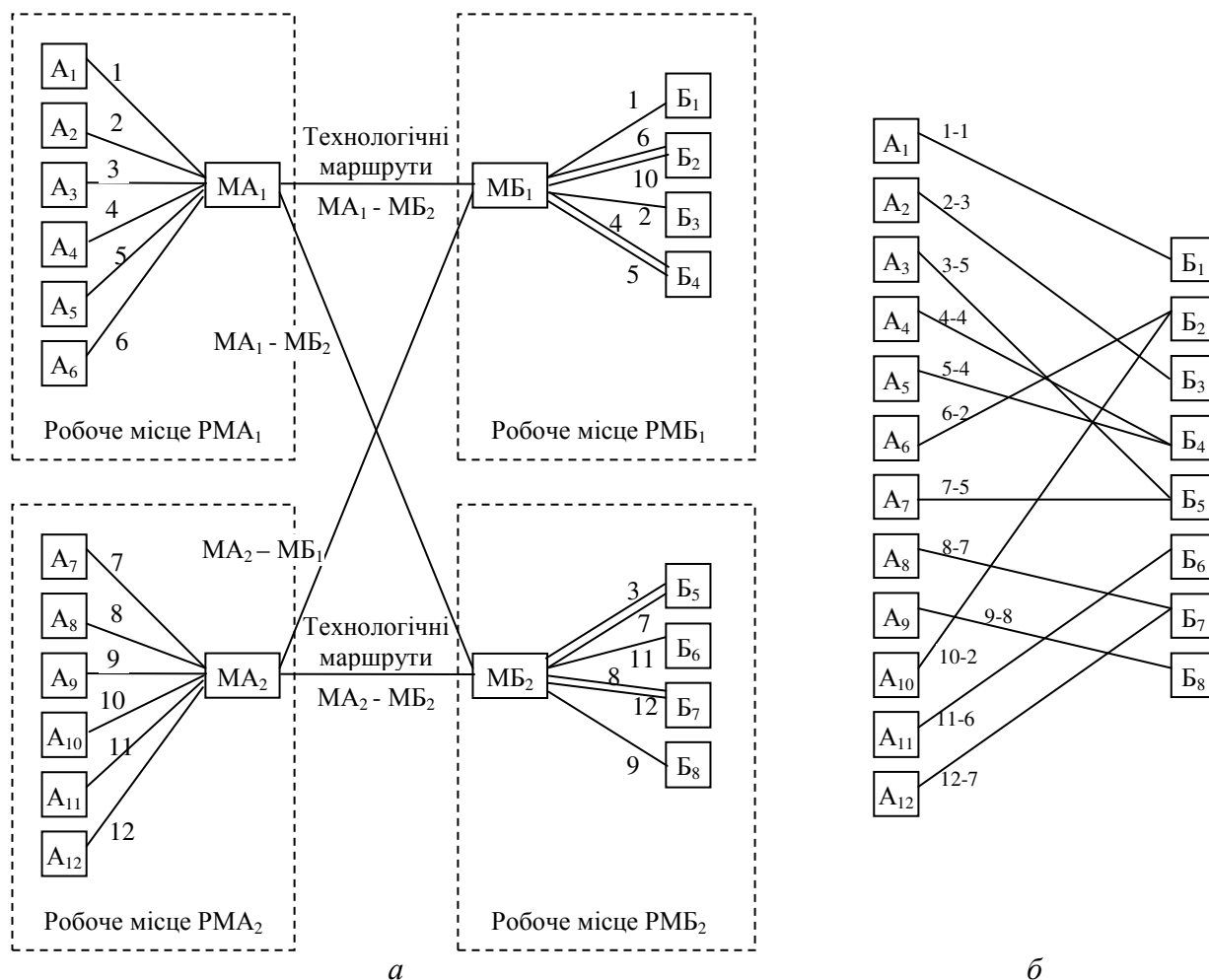


Рисунок 37 – Принцип переходу від оброблення поштових одиниць на локальних робочих місцях до оброблення в розподіленій зоні обслуговування

Для аналізу можливостей оброблення поштових одиниць у РСЦ зручно подавати технологічний процес у виді графа, вершинам якого відповідають накопичувачі укрупнених поштових одиниць, а ребрам або дугам – шляхи між ними.

На рис. 38 наведений фрагмент графа розташування накопичувачів пост-пакетів ПП, поштових мішків ПМ, поштових контейнерів ПК, поштових автомобілів, напівпричепів або причепів ПА в цеху оброблення письмової кореспонденції крупного РСЦ. Напрями сортування ПП, ПМ, ПК, ПА і передачі ПП - ПМ, ПМ - ПК, ПК - ПА показані як ребра, що з'єднують відповідні вершини графа.

Значна протяжність шляхів між накопичувачами знижує продуктивність праці операторів, а перетинання зазначених шляхів створює небезпечні умови цієї праці (особливо на ділянках переміщення контейнерів).

Основними задачами організації оброблення письмової кореспонденції в РСЦ є:

- скорочення кількості операцій технології оброблення письмової кореспонденції;

- мінімізація відстаней між накопичувачами укрупнених поштових одиниць в зонах обслуговування;
- виключення перетинів шляхів між накопичувачами укрупнених поштових одиниць у зонах обслуговування.

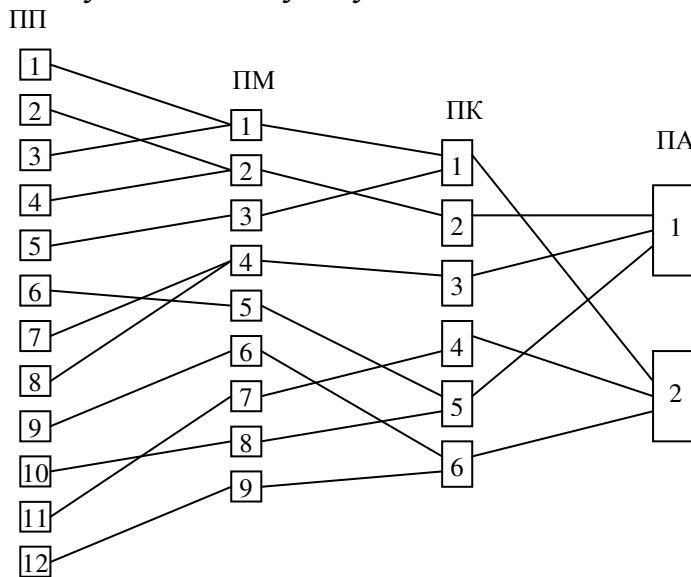


Рисунок 38 – Фрагмент графа розташування накопичувачів

Розв'язання зазначених задач потребує перетворення заданого графа розміщення накопичувачів укрупнених поштових одиниць в плоский граф (тобто в граф, ребра якого перетинаються лише у вершинах графа).

Для здійснення такого перетворення можна запропонувати метод, заснований на перестановках рядків і стовпців матриць, що подають заданий граф.

Граф, наведений на рис. 38, зручно подавати у виді трьох матриць:

- матриці A_1 зв'язків ПП - ПМ між накопичувачами постпакетів і накопичувачами мішків;
- матриці B_1 зв'язків ПМ - ПК між накопичувачами мішків і накопичувачами контейнерів;
- матриці C_1 зв'язків ПК - ПА між накопичувачами контейнерів і накопичувачами автомобілів (напівпричепів, причепів).

У зазначених матрицях, поданих на рис. 39, одиницями позначені наявні, а нулями – відсутні зв'язки між відповідними накопичувачами укрупнених поштових одиниць.

A_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1

B_1	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	1

C_1	1	2
1	0	1
2	1	0
3	1	0
4	0	1
5	1	0
6	0	1

Рисунок 39 – Подання графа розташування накопичувачів у виді матриць

Матриці A_2 зв'язків ПП – ПМ; B_2 зв'язків ПМ – ПК; C_2 зв'язків ПК – ПА, що відповідають плоскому графу, подані на рис. 40.

A_2	2	4	5	8	1	3	7	6	9
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1

B_2	2	3	5	1	4	6
2	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	1

C_2	1	2
2	1	0
3	1	0
5	1	0
1	0	1
4	0	1
6	0	1

Рисунок 40 – Побудова матриць плоского графа розташування накопичувачів

Формування матриці C_2 з матриці C_1 починається з визначення порядку розташування стовпців матриці C_2 як порядку розташування стовпців матриці C_1 , тобто 1, 2.

Оскільки зі стовпцем 1 матриці C_1 пов'язані рядки 2, 3, 5, а зі стовпцем 2 – рядки 1, 4, 6, порядок розташування рядків матриці C_2 визначається як 2, 3, 5, 1, 4, 6.

Формування матриці B_2 з матриці B_1 починається з визначення порядку розташування стовпців матриці B_2 як порядку розташування рядків матриці C_2 , тобто 2, 3, 5, 1, 4, 6.

Оскільки зі стовпцем 2 матриці B_1 пов'язаний рядок 2; зі стовпцем 3 – рядок 4; зі стовпцем 5 – рядки 5, 8; зі стовпцем 1 – рядки 1, 3; зі стовпцем 4 – ря-

док 7; зі стовпцем 6 – рядки 6, 9, порядок розташування рядків матриці B_2 визначається як 2, 4, 5, 8, 1, 3, 7, 6, 9.

Формування матриці A_2 з матриці A_1 починається з визначення порядку розташування стовпців матриці A_2 як порядку розташування рядків матриці B_2 , тобто як 2, 4, 5, 8, 1, 3, 7, 6, 9.

Оскільки зі стовпцем 2 матриці A_1 пов'язані рядки 2, 4; зі стовпцем 4 – рядки 7, 8; зі стовпцем 5 – рядок 6; зі стовпцем 8 – рядок 10; зі стовпцем 1 – рядки 1, 3; зі стовпцем 3 – рядок 5; зі стовпцем 7 – рядок 11; зі стовпцем 6 – рядок 9; зі стовпцем 9 – рядок 12, порядок розташування рядків матриці A_2 визначається як 2, 4, 7, 8, 6, 10, 1, 3, 5, 11, 9, 12.

Зазначимо, що в матрицях A_2 , B_2 , C_2 , що відповідають плоскому графу, послідовності одиниць створюють ламані лінії, які розпочинаються верхніми лівими елементами цих матриць і закінчуються їх нижніми правими елементами.

Зазначені лінії створюються елементами, координати попереднього з яких x_i , y_i і наступного x_{i+1} , y_{i+1} зв'язані співвідношеннями

$$y_{i+1} = y_i + 1,$$

$$x_{i+1} = x_i \text{ або } x_{i+1} = x_i + 1,$$

які можна розглядати як формальні умови подання матрицями A_2 , B_2 , C_2 плоского графа.

На рис. 41 наведений плоский граф розташування накопичувачів укрупнених поштових одиниць, який відповідає матрицям A_2 , B_2 , C_2 .

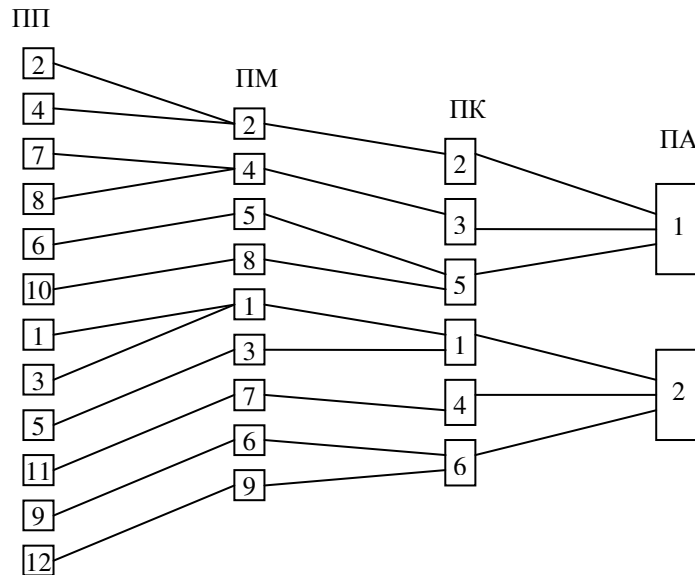


Рисунок 41 – Плоский граф розташування накопичувачів

З рис. 41 випливає, що операції транспортування й сортування укрупнених поштових одиниць при визначеному порядку зв'язків між накопичувачами зводяться до простого переставляння цих укрупнених поштових одиниць за найкоротшими шляхами. При цьому зазначені шляхи не перетинаються.

2.7. Оптимізація кількості накопичувачів ЛСМ

Як вже зазначалось, кількість n накопичувачів ЛСМ, кількість m напрямів сортування і кількість k етапів сортування пов'язані залежностями

$$m = n^k; \quad n = \sqrt[k]{m}; \quad k = \log_n m.$$

Так, при $m = 15625$; $n = 25$; $k = \log_{25} 15625 = 3$ (перший етап сортування – поділ письмової кореспонденції на 25 груп по 625 напрямів у кожній; другий етап сортування – поділ кожної групи, сформованої на першому етапі сортування, на 25 груп по 25 напрямів у кожній; третій етап сортування – поділ кожної групи, сформованої на другому етапі сортування, на 25 груп по одному напрямі в кожній).

Кількість накопичувачів чинить неоднозначний вплив на техніко-економічні показники ЛСМ: зі збільшенням (зменшенням) кількості накопичувачів збільшується (зменшується) вартість ЛСМ, а, отже, відповідно збільшується (зменшується) вартість машино-годин ЛСМ, але, разом з цим, зменшується (збільшується) потреба в кількості зазначених машино-годин внаслідок зменшення (збільшення) кількості етапів сортування.

Так, враховуючи, що $15625^1 = 125^2 = 25^3$, сортування до всіх відділень зв'язку України можна здійснити за один етап за наявності 15625 накопичувачів, за два етапи за наявності 125 накопичувачів, за три етапи за наявності 25 накопичувачів.

У зв'язку з цим постає задача оптимізації кількості накопичувачів ЛСМ за критерієм мінімуму витрат на сортування письмової кореспонденції.

Теперішнього часу ЛСМ мають здебільшого модульну структуру, яка передбачає наявність певної обов'язкової складової, і довільної кількості накопичувачів або блоків накопичувачів.

Розглянемо основні техніко-економічні показники одноетапного і k -етапного сортування письмової кореспонденції.

Введемо позначення:

A – вартість пристроїв ЛСМ, функціонування яких не залежить або слабо залежить від кількості накопичувачів n (розпізнавальна система, система управління, розбиральні, лицювальні та штемпелювальні пристрої, система захисту доходів оператора і т.ін.);

B – вартість одного накопичувача або блока накопичувачів;

T – час, що витрачається на одноетапне сортування за наявності $n = m$ накопичувачів, або на один етап k -етапного сортування за наявності $n = \sqrt[k]{m}$ накопичувачів.

Тоді вартість одноетапного сортування становитиме

$$C_1 = T(A + Bm),$$

а вартість k -етапного сортування –

$$C_k = kT(A + B\sqrt[k]{m}).$$

Для зручності порівняння замінимо C_1 і C_k на

$$D_1 = \frac{C_1}{BT} = \frac{A}{B} + m \quad \text{і} \quad D_k = \frac{C_k}{BT} = k\left(\frac{A}{B} + \sqrt[k]{m}\right).$$

У табл. 33 наведено залежності вартості сортування D_1, D_2, D_3 та кількості накопичувачів n від m при $A/B = 100$, а на рис. 42 – графіки цих залежностей.

Таблиця 33 – Залежності D_1, D_2, D_3 та n від m при $A/B = 100$

m	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
D_1	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
D_2	210	214	217	220	222	224	226	228	230	232
D_3	309	311	313	314	315	316	317	318	318	319
n	25	50	75	100	11	12	13	14	15	16

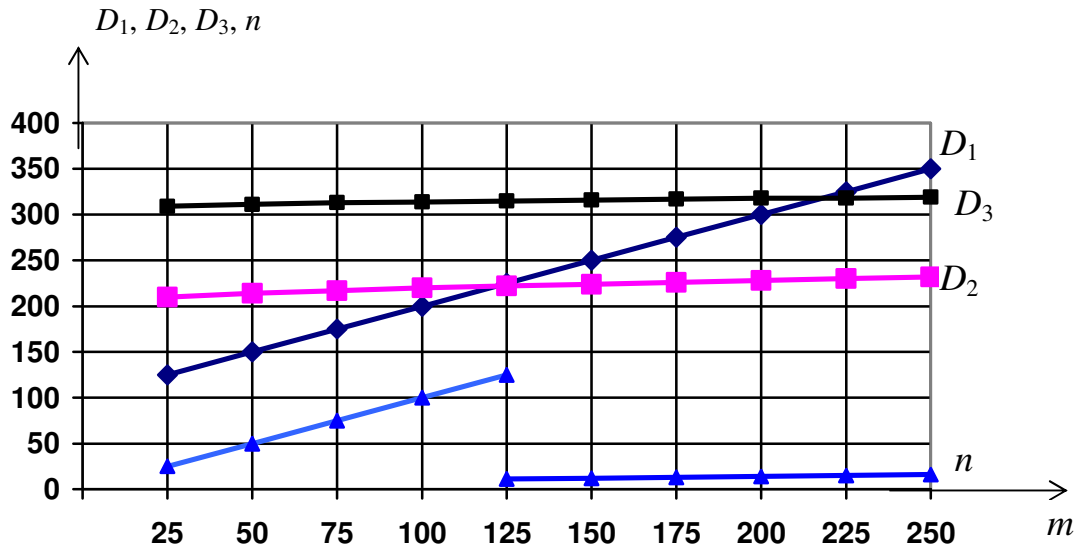


Рисунок 42 – Графіки залежностей D_1, D_2, D_3 та n від m при $A/B = 100$

Точка перетину графіків $D_1(m)$ і $D_2(m)$ знаходиться як рішення рівняння $D_1(m) = D_2(m)$, тобто $\frac{A}{B} + m = 2(\frac{A}{B} + \sqrt{m})$, яке при $A/B = 100$ складає $m = 122$.

Точка перетину графіків $D_1(m)$ і $D_3(m)$ знаходиться як рішення рівняння $D_1(m) = D_3(m)$, тобто $\frac{A}{B} + m = 3(\frac{A}{B} + \sqrt[3]{m})$, яке при $A/B = 100$ складає $m = 218$.

Точка перетину графіків $D_2(m)$ і $D_3(m)$ знаходиться як рішення рівняння $D_2(m) = D_3(m)$, тобто $2(\frac{A}{B} + \sqrt{m}) = 3(\frac{A}{B} + \sqrt[3]{m})$, яке при $A/B = 100$ складає $m = 5990$ (знаходиться поза межами рис. 42).

Оскільки критерієм оптимізації кількості накопичувачів виступає мінімум вартості сортування, значення n визначається з умови

$$D(m) = \min(D_1(m), D_2(m), \dots, D_k(m)).$$

Зокрема, якщо $A/B = 100$, оптимальні значення n складають:

- при одноетапному сортуванні $1 \leq n = m < 122$;
- при двоетапному сортуванні $122 \leq n = \sqrt{m} < 5990$;
- при триетапному сортуванні $5990 \leq n = \sqrt[3]{m} < 252436$.

Звідси випливає, що за реальних умов кількість етапів сортування не повинна перевищувати двох.

2.8. Оптимізація ємності накопичувачів ЛСМ

У сучасних ЛСМ з метою скорочення витрат часу на розвантаження накопичувачів і виключення витрат часу на формування постпакетів використовуються змінні накопичувачі, в яких відсортована письмова кореспонденція безпосередньо накопичується, зберігається та пересилається.

За таких умов на оптимізацію ємності накопичувачів ЛСМ чинять вплив як фактори, пов'язані власне з автоматизованим сортуванням письмової кореспонденції, так і фактори, пов'язані з її зберіганням та пересиланням.

Ємність накопичувачів – важлива характеристика ЛСМ. Саме вона визначає частоту розвантаження або зміни накопичувачів під час сортування; кількість змінних накопичувачів, потрібних для забезпечення безперервного сортування письмової кореспонденції; вартість змінних накопичувачів; ступінь укрупнення поштових одиниць в процесі їхнього зберігання та пересилання; трудові витрати на завантаження та розвантаження накопичувачів з відсортованою письмовою кореспонденцією в процесі її пересилання тощо.

Як критерії оптимізації ємності накопичувачів ЛСМ можуть виступати мінімізація або максимізація будь-якого з цих показників, але найбільш природним і важливим є критерій мінімізації вартості змінних накопичувачів ЛСМ.

Змінні накопичувачі ЛСМ можуть бути багатообіговими або одноразовими.

При використанні багатообігових накопичувачів витрати на їхнє виготовлення носять одноразовий характер і враховуються у складі вартості ЛСМ, але в загальних витратах на пересилання письмової кореспонденції слід враховувати постійні витрати на повернення накопичувачів.

При використанні одноразових накопичувачів витрати на їхнє виготовлення, збирання й утилізацію носять постійний характер.

Зі збільшенням ємності змінних накопичувачів зростає їхня вартість, але зменшується їхня загальна кількість, що дає підстави вважати можливою наявність оптимальної ємності цих накопичувачів.

Будемо вважати вартість накопичувача пропорційною об'єму матеріалу, з якого він виготовлений (звичайно метал, поліетилен або картон).

При постійній товщині стінок накопичувача згаданий об'єм матеріалу, з якого виготовлений накопичувач, визначається сумарною площею поверхонь цих стінок.

На рис. 43 зображені два накопичувачі ЛСМ різної ємності.

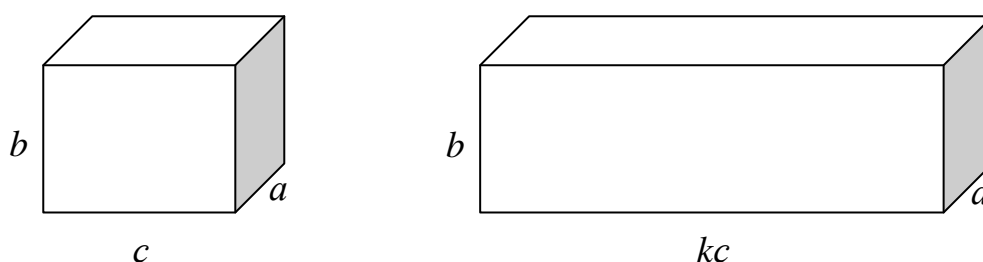


Рисунок 43 – Накопичувачі ЛСМ різної ємності

Як впливає з рис. 43, об'єм, а, отже, і ємність першого накопичувача

$$V_1 = abc,$$

а другого

$$V_k = kabc.$$

Можуть використовуватися як відкриті (без верхньої поверхні), так і закриті (з верхньою поверхнею) накопичувачі.

Бокові поверхні відповідних накопичувачів складають

$$\begin{aligned} S_{1\text{відкр}} &= 2ab + ac + 2bc; \\ S_{k\text{відкр}} &= 2ab + k(ac + 2bc); \\ S_{1\text{закр}} &= 2(ab + ac + bc); \\ S_{k\text{закр}} &= 2(ab + k(ac + bc)). \end{aligned}$$

Відношення

$$\frac{V_k}{V_1} = \frac{kabc}{abc} = k,$$

в той час як відношення

$$\frac{S_{k\text{відкр}}}{S_{1\text{відкр}}} = \frac{2ab + k(ac + 2bc)}{2ab + ac + 2bc} \langle k;$$

$$\frac{S_{k\text{закр}}}{S_{1\text{закр}}} = \frac{ab + k(ac + bc)}{ab + ac + bc} \langle k.$$

У табл. 34 наведено значення V_k / V_1 ; $S_{k\text{відкр}} / S_{1\text{відкр}}$; $S_{k\text{закр}} / S_{1\text{закр}}$ при $a = b = c = 1$; $k = 1, 2, \dots, 10$.

Таблиця 34 – Значення V_k / V_1 ; $S_{k\text{відкр}} / S_{1\text{відкр}}$; $S_{k\text{закр}} / S_{1\text{закр}}$ при $a = b = c = 1$; $k = 1, 2, \dots, 10$.

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_k / V_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{k\text{відкр}} / S_{1\text{відкр}}$	1,00	1,60	2,20	2,80	3,40	4,00	4,60	5,20	5,80	6,40
$S_{k\text{закр}} / S_{1\text{закр}}$	1,00	1,67	2,33	3,00	3,67	4,33	5,00	5,67	6,33	7,00

Як впливає з табл. 34, при зростанні ємності відкритого або закритого накопичувача в k разів, його бокова поверхня, а, отже, і вартість зростає менше ніж у k разів, причому відношення $V_k / k = 1$, у той час, як відношення $S_{k\text{відкр}} / k$ і $S_{k\text{закр}} / k$ зі зростанням k зменшуються.

При сортуванні вхідного потоку об'ємом P на m напрямів

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_m.$$

Якщо для зазначеного сортування використовуються змінні накопичувачі ємністю V_k , то їхня загальна кількість

$$M_k = M_1 + M_2 + \dots + M_m = \left\lceil \frac{P_1}{V_k} \right\rceil + \left\lceil \frac{P_2}{V_k} \right\rceil + \dots + \left\lceil \frac{P_m}{V_k} \right\rceil,$$

де $\left[\frac{P_i}{V_k} \right]$ – значення $\frac{P_i}{V_k}$, округлене до найближчого більшого цілого числа.

Враховуючи, що

$$\left[\frac{P_i}{V_k} \right] \approx \left[\frac{P_i}{V_k} \right] + 1,$$

де $\left[\frac{P_i}{V_k} \right]$ – ціла частина $\frac{P_i}{V_k}$, а $m \gg 1$,

$$M_k \approx \left[\frac{P_1}{V_k} + \frac{P_2}{V_k} + \dots + \frac{P_n}{V_k} \right] + m \approx \left[\frac{P}{V} \right] + m \approx \frac{P}{V_k}.$$

Сумарна вартість D_Σ усіх M_k змінних накопичувачів ЛСМ складає:

– при використанні відкритих накопичувачів

$$D_{\Sigma\text{відкр}} = M_k S_{k\text{відкр}} = \left(\frac{P}{kabc} + m \right) (2ab + k(ac + 2bc));$$

– при використанні закритих накопичувачів

$$D_{\Sigma\text{закр}} = M_k S_{k\text{закр}} = 2 \left(\frac{P}{kabc} + m \right) (ab + k(ac + bc)).$$

Приведемо вирази $D_{\Sigma\text{відкр}}$ і $D_{\Sigma\text{закр}}$ до виду, зручного для диференціювання:

$$D_{\Sigma\text{відкр}} = \frac{2P}{kc} + \frac{P(ac + 2bc)}{abc} + 2mab + km(ac + 2bc);$$

$$D_{\Sigma\text{закр}} = \frac{2P}{kc} + \frac{P(ac + bc)}{abc} + 2mab + 2km(ac + bc).$$

Диференціюючи $D_{\Sigma\text{відкр}}$ і $D_{\Sigma\text{закр}}$ по k і прирівнюючи похідну нулю, знайдемо значення k , за якого вони отримують мінімальні значення:

$$D'_{\Sigma\text{відкр}} = -\frac{2P}{k^2c} + m(ac + 2bc) = 0; \quad k = \sqrt{\frac{2P}{mc(ac + 2bc)}};$$

$$D'_{\Sigma\text{закр}} = -\frac{2P}{k^2c} + 2m(ac + bc) = 0; \quad k = \sqrt{\frac{P}{mc(ac + bc)}}.$$

При $a = b = c = 1$, значення k , за яких $D_{\Sigma\text{відкр}}$ і $D_{\Sigma\text{закр}}$ набувають мінімальних значень, відповідно складуть:

$$k = \sqrt{\frac{2P}{3m}} \quad \text{і} \quad k = \sqrt{\frac{P}{2m}}.$$

Зокрема, при $P = 10000$, $m = 100$ ці значення складуть $k = 8,16$ і $k = 7,07$.

У табл. 35 наведено залежність значень $D_{\Sigma\text{відкр}}$ і $D_{\Sigma\text{закр}}$ від k при $a = b = c = 1$; $P = 10000$; $m = 100$.

Таблиця 35 – Залежність значень $D_{\Sigma\text{відкр}}$ і $D_{\Sigma\text{закр}}$ від k при $a = b = c = 1$;
 $P = 10000$; $m = 100$

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_{\Sigma\text{відкр}}$	50500	40800	37767	36400	35700	35333	35157	35100	35122	35200
$D_{\Sigma\text{закр}}$	60600	51000	48067	46800	46200	45933	45857	45900	46022	46200

Дані табл. 35 підтверджують наявність мінімальних значень $D_{\Sigma\text{відкр}} = 35100$ при $k = 8$ і $D_{\Sigma\text{закр}} = 45857$ при $k = 7$.

2.9. Мінімізація парку змінних накопичувачів ЛСМ

Ефективність функціонування ЛСМ зі змінними накопичувачами багато в чому визначається їхнім парком.

Висока вартість змінних накопичувачів, витрати на їхнє складування, зберігання та повернення, необхідність систематичного технічного обслуговування і ремонту, ряд інших факторів роблять задачу мінімізації парку змінних накопичувачів ЛСМ досить актуальною.

Основну частину парку змінних накопичувачів ЛСМ складають накопичувачі, що знаходяться в обігу; крім них до парку змінних накопичувачів входять резервні накопичувачі, призначені для заміни несправних або несвоєчасно повернутих накопичувачів, а також для забезпечення перевезення зростаючих об'ємів письмової кореспонденції.

Задача мінімізації парку змінних накопичувачів ЛСМ задається наступним чином.

З об'єкта поштового зв'язку більш високого рівня ієрархії (вищого об'єкта) до підпорядкованих йому об'єктів поштового зв'язку більш низьких рівнів ієрархії (нижчі об'єкти) щоденно відправляються змінні накопичувачі, які через деякий час повертаються із зазначених нижчих об'єктів у зазначений вищий об'єкт.

Задані напрями B_1, B_2, \dots, B_m , за якими перевозяться змінні накопичувачі, строки обертання (повернення) накопичувачів D_1, D_2, \dots, D_m (діб) за кожним напрямом перевезення, а також кількість змінних накопичувачів $M_{\text{відпр } ij}$, що відправляються за напрямом B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) у дні тижня d_j ($j = 1(\text{пн}), 2(\text{вт}), \dots, 7(\text{нд})$).

Значення $M_{\text{відпр } ij}$ подаються у виді матриці розміром $m \times 7$, приклад якої наведений у табл. 36.

Таблиця 36 – Приклад матриці значень кількості $M_{\text{відпр } ij}$ відправляних змінних накопичувачів

Напрямок	Строк повернення, діб	Дні тижня							Усього за тиждень
		Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	
B_1	6	3	5	2	1	4	6	2	23
B_2	4	2	3	3	4	3	3	2	20
B_3	8	1	2	3	4	1	2	3	16
B_4	2	4	7	2	6	3	5	1	18
Разом		10	17	10	15	11	16	8	87

Необхідно знайти мінімальну сумарну кількість змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, достатню для забезпечення перевезення об'ємів письмової кореспонденції, поданих матрицею $M_{\text{відпр } ij}$.

Для розв'язання задачі необхідно, перш за все, побудувати матрицю значень кількості змінних накопичувачів $M_{\text{надх } ij}$, що надходять (повертаються) з напрямів B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) у дні тижня d_j ($j = 1, 2, \dots, 7$).

При цьому слід враховувати, що в день D з напрямів B_1, B_2, \dots, B_m із нижчих об'єктів до вищого об'єкта надходять змінні накопичувачі, що були відправлені раніше із вищого об'єкта до нижчих у дні $D - D_1; D - D_2; \dots; D - D_m$.

Для наведених у табл. 36 значень $M_{\text{відпр } ij}$ і строків обертання змінних накопичувачів D_1, D_2, \dots, D_m матриця значень $M_{\text{надх } ij}$ набуде виду, що наведений у табл. 37.

Таблиця 37 – Приклад матриці значень кількості $M_{\text{надх } ij}$ повернених змінних накопичувачів

Напря́м	Строк повернення, діб	Дні тижня							Усього за тиждень
		Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	
B_1	6	5	2	1	4	6	2	3	23
B_2	4	4	3	3	2	2	3	3	20
B_3	8	3	1	2	3	4	1	2	16
B_4	2	5	1	4	7	2	6	3	28
Разом		17	7	10	16	14	12	11	87

Як впливає із порівняння табл. 36 і табл. 37, за нульового балансу кількості змінних накопичувачів за тиждень (87 відправлених і 87 повернених змінних накопичувачів), добові баланси змінних накопичувачів можуть бути як додатними, так і від'ємними.

Зазначимо, що довільному календарному дню D відповідає день тижня $d = R(D/7)$, де $R(D/7)$ – залишок від ділення D на 7; враховуючи, що $R(7/7) = 0$, залишок, що дорівнює 0, відповідає неділі.

Наприклад, дню відправлення $D = 100$ відповідає день тижня $d = R(100/7) = 2$ (вівторок). У цей день згідно з табл. 33 із вищого об'єкта до нижчих відправляється 17 накопичувачів – відповідно 5, 3, 2, 7 за напрямками B_1, B_2, B_3, B_4 . Цього ж дня згідно з табл. 34 з нижчих об'єктів з напрямів B_1, B_2, B_3, B_4 до вищого об'єкта надходить 7 накопичувачів, відправлених з вищого об'єкта до нижчих за напрямками B_1, B_2, B_3, B_4 відповідно у дні тижня $d_1 = R((100-6)/7) = 3$ (середа) – 2 накопичувачі, $d_2 = R((100-4)/7) = 5$ (п'ятниця) – 3 накопичувачі, $d_3 = R((100-8)/7) = 1$ (понеділок) – 1 накопичувач, $d_4 = R((100-2)/7) = 0$ (неділя) – 1 накопичувач.

Для знаходження сумарної кількості змінних накопичувачів $M_{\text{мін}}$, що знаходяться в обігу, доцільно застосувати пряме моделювання процесу переходу від звичайних перевезень письмової кореспонденції до її перевезень у змінних накопичувачах, яке включає:

- знаходження щоденних балансів $\Delta M_D = M_{\text{відпр } \Sigma D} - M_{\text{надх } \Sigma D}$ сумарної кількості накопичувачів, відправлених із вищого об'єкта до нижчих об'єктів по всіх календарних днях $D = 1, 2, \dots, D_{\text{макс}} + 7$, де $D_{\text{макс}} = \max(D_1, D_2, \dots, D_m)$ – максимальний строк повернення накопичувачів, і сумарної кількості накопичу-

вачів, повернених із нижчих об'єктів до вищого об'єкта через відповідні строки повернення D_1, D_2, \dots, D_m ;

– знаходження суми балансів змінних накопичувачів зростаючим підсумком за періоди $1, 2, \dots, D_{\max} + 7$ діб

$$\Delta M_{\Sigma 1} = \sum_{D=1}^1 \Delta M_D; \Delta M_{\Sigma 2} = \sum_{D=1}^2 \Delta M_D; \dots; \Delta M_{\Sigma(D_{\max} + 7)} = \sum_{D=1}^{D_{\max} + 7} \Delta M_D;$$

– знаходження максимального значення серед знайдених значень сум балансів змінних накопичувачів

$$M_{\min} = \max\left(\sum_{D=1}^1 \Delta M_D, \sum_{D=1}^2 \Delta M_D, \dots, \sum_{D=1}^{D_{\max} + 7} \Delta M_D\right),$$

що дорівнює мінімальному сумарному значенню кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу.

У табл. 38 наведено приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, за даними табл. 36 і 37.

Як впливає з табл. 38, мінімальна сумарна кількість змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, для розглядуваного прикладу складає $M_{\min} = 60$.

У табл. 39 наведено приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, при зміненому відліку днів тижня.

Як впливає з табл. 39, відлік днів тижня, починаючи з четверга, не змінює ні мінімальної сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, ні їхнього балансу за днями тижня $D_{\max} + 1; D_{\max} + 2; \dots; D_{\max} + 7$, тобто за календарними днями 9 (пт), 10 (сб), ..., 15 (чт).

У табл. 40 наведено приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, при перестановці кількості відправлених накопичувачів за днями тижня за схемою: пн – чт; вт – сб; ср – пн; чт – ср; пт – нд; сб – вт; нд – пт.

Як впливає з табл. 40, перестановка кількості відправлених змінних накопичувачів за днями тижня призводить до зміни мінімальної сумарної кількості накопичувачів, що знаходяться в обігу (в наведеному прикладі – до зростання з $M_{\min} = 60$ до $M_{\min} = 64$).

У табл. 41 наведено приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, при рівномірному розподілі відправлених накопичувачів за днями тижня.

Як впливає з табл. 41, при рівномірному розподілі відправлених змінних накопичувачів за днями тижня сумарна кількість накопичувачів, що знаходяться в обігу, сягає мінімального значення (в наведеному прикладі – $M_{\min} = 58$) з одночасним наближенням до нульового балансу відправлених і повернених накопичувачів за днями тижня.

Наприкінці зазначимо, що мінімізація парку змінних накопичувачів ЛСМ пов'язана зі зменшенням кількості резервних накопичувачів. Ця обставина спонукає оператора поштового зв'язку до виконання установлених нормативних строків пересилання письмової кореспонденції, що, в свою чергу, призводить до підвищення якості послуг поштового зв'язку.

Таблиця 38 – Приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу

Напря́м	Строк по- вернення, діб	Календарні дні та дні тижня														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн
Відправлення накопичувачів																
B_1	6	3	5	2	1	4	6	2	3	5	2	1	4	6	2	3
B_2	4	2	3	3	4	3	3	2	2	3	3	4	3	3	2	2
B_3	8	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1
B_4	2	4	7	2	6	3	5	1	4	7	2	6	3	5	1	4
Разом		10	17	10	15	11	16	8	10	17	10	15	11	16	8	10
Надходження накопичувачів																
B_1	6	0	0	0	0	0	0	3	5	2	1	4	6	2	3	5
B_2	4	0	0	0	0	2	3	3	4	3	3	2	2	3	3	4
B_3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	1	2	3
B_4	2	0	0	4	7	2	6	3	5	1	4	7	2	6	3	5
Разом		0	0	4	7	4	9	9	14	7	10	16	14	12	11	17
Добовий баланс накопичувачів																
		10	17	6	8	7	7	-1	-4	10	0	-1	-3	4	-3	-7
Поточна кількість накопичувачів, що знаходяться в обігу																
		10	27	33	41	48	55	54	50	60	60	59	56	60	57	50

Таблиця 39 – Приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, при зміненому відліку днів тижня

Напря́м	Строк по-вернення, діб	Календарні дні та дні тижня														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт
Відправлення накопичувачів																
B_1	6	1	4	6	2	3	5	2	1	4	6	2	3	5	2	1
B_2	4	4	3	3	2	2	3	3	4	3	3	2	2	3	3	4
B_3	8	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
B_4	2	6	3	5	1	4	7	2	6	3	5	1	4	7	2	6
Разом		15	11	16	8	10	17	10	15	11	16	8	10	17	10	15
Надходження накопичувачів																
B_1	6	0	0	0	0	0	0	1	4	6	2	3	5	2	1	4
B_2	4	0	0	0	0	4	3	3	2	2	3	3	4	3	3	2
B_3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	2	3	1	2	3
B_4	2	0	0	6	3	5	1	4	7	2	6	3	5	1	4	7
Разом		0	0	6	3	9	4	8	13	14	12	11	17	7	10	16
Добовий баланс накопичувачів																
		15	11	10	5	1	13	2	2	-3	4	-3	-7	10	0	-1
Поточна кількість накопичувачів, що знаходяться в обігу																
		15	26	36	41	42	55	57	59	56	60	57	50	60	60	59

Таблиця 40 – Приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, при перестановці кількості відправлених накопичувачів за днями тижня

Напря́м	Строк по- вернення, діб	Календарні дні та дні тижня														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Ср	Сб	Чт	Пн	Нд	Вт	Пт	Ср	Сб	Чт	Пн	Нд	Вт	Пт	Ср
Відправлення накопичувачів																
B_1	6	2	6	1	3	2	5	4	2	6	1	3	2	5	4	2
B_2	4	3	3	4	2	2	3	3	3	3	4	2	2	3	3	3
B_3	8	3	2	4	1	3	2	1	3	2	4	1	3	2	1	3
B_4	2	2	5	6	4	1	7	3	2	5	6	4	1	7	3	2
Разом		10	16	15	10	8	17	11	10	16	15	10	8	17	11	10
Надходження накопичувачів																
B_1	6	0	0	0	0	0	0	2	6	1	3	2	5	4	2	6
B_2	4	0	0	0	0	3	3	4	2	2	3	3	3	3	4	2
B_3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	4	1	3	2	1
B_4	2	0	0	2	5	6	4	1	7	3	2	5	6	4	1	7
Разом		0	0	2	5	9	7	7	15	9	10	14	15	14	9	16
Добовий баланс накопичувачів																
		10	16	13	5	-1	10	4	-5	7	5	-4	-7	3	2	-6
Поточна кількість накопичувачів, що знаходяться в обігу																
		10	26	39	44	43	53	57	52	59	64	60	53	56	58	52

Таблиця 41 – Приклад розрахунку сумарної кількості змінних накопичувачів, що знаходяться в обігу, при рівномірному розподілі відправлених накопичувачів за днями тижня

Напря́м	Строк по- вернення, діб	Календарні дні та дні тижня														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн
Відправлення накопичувачів																
B_1	6	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3
B_2	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3
B_3	8	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2
B_4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Разом		12	12	13	12	13	12	13	12	12	13	12	13	12	13	12
Надходження накопичувачів																
B_1	6	0	0	0	0	0	0	3	3	4	3	4	3	3	3	3
B_2	4	0	0	0	0	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2
B_3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	2	2	3
B_4	2	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Разом		0	0	4	4	7	7	10	9	13	12	13	13	12	12	12
Добовий баланс накопичувачів																
		12	12	9	8	6	5	3	3	-1	1	-1	0	0	1	0
Поточна кількість накопичувачів, що знаходяться в обігу																
		12	24	33	41	47	52	55	58	57	58	57	57	57	58	58

2.10. Підвищення продуктивності автоматизованого сортування поштових одиниць

Відомо, що реалізація багатоетапного сортування письмової кореспонденції потребує додаткових витрат часу, пов'язаних з необхідністю завершення проходження листів по трасі ЛСМ та з необхідністю розвантаження її накопичувачів при кожному переході від одного етапу сортування до іншого або від однієї програми сортування до іншої.

В результаті цього реальна продуктивність Q_p багатоетапного сортування письмової кореспонденції виявляється в багато разів менше її номінальної продуктивності Q_n , а реальний час такого сортування T_p – в багато разів більше номінального часу T_n .

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

На першому етапі сортування вхідний потік письмової кореспонденції P поділяється на n груп

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

На другому етапі сортування кожна з груп, одержаних після першого етапу сортування, знов поділяється на n груп

$$P_1 = P_{11} + P_{12} + \dots + P_{1n};$$

$$P_2 = P_{21} + P_{22} + \dots + P_{2n};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{nn}.$$

На третьому етапі сортування кожна з груп, одержаних після другого етапу сортування, знов поділяється на n груп

$$P_{11} = P_{111} + P_{112} + \dots + P_{11n};$$

$$P_{12} = P_{121} + P_{122} + \dots + P_{12n};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_{1n} = P_{1n1} + P_{1n2} + \dots + P_{1nn};$$

$$P_{21} = P_{211} + P_{212} + \dots + P_{21n};$$

$$P_{22} = P_{221} + P_{222} + \dots + P_{22n};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_{2n} = P_{2n1} + P_{2n2} + \dots + P_{2nn};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_{n1} = P_{n11} + P_{n12} + \dots + P_{n1n};$$

$$P_{n2} = P_{n21} + P_{n22} + \dots + P_{n2n};$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P_{nn} = P_{nn1} + P_{nn2} + \dots + P_{nnn}.$$

Вважається очевидним, хоча, як показано нижче, це далеко не так, що для здійснення багатоетапного сортування необхідно, щоб перед початком кожного чергового етапу сортування усі накопичувачі ЛСМ були розвантажені від листів, спрямованих в них на попередньому етапі сортування.

Оскільки за такого підходу накопичувачі ЛСМ повинні розвантажуватися лише після закінчення надходження усіх адресованих до них листів, час, що ви-

трачається на сортування листів на кожному етапі, у загальному випадку включає три складові:

- час власне сортування листів, що визначається об'ємом письмової кореспонденції та номінальною продуктивністю ЛСМ;
- час проходження листами траси ЛСМ з укиданням листів у відповідні накопичувачі після закінчення кожного етапу сортування, що визначається довижиною цієї траси, пропорційною кількості установлених уздовж неї накопичувачів;
- час розвантаження усіх накопичувачів ЛСМ.

Виходячи з цього, реальний час багатоетапного сортування

$$T_p = T_{p1} + T_{p2} + T_{p3} + \dots = T_{p1} + \sum_{i=1}^n T_{p2i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{p3ij} + \dots =$$

$$= t_{c1} + t_{t1} + t_{h1} + \sum_{i=1}^n (t_{c2i} + t_{t2i} + t_{h2i}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (t_{c3ij} + t_{t3ij} + t_{h3ij}) + \dots,$$

де, t_{c1} , t_{c2} , t_{c3} – час власне сортування письмової кореспонденції на відповідному етапі сортування;

t_{t1} , t_{t2} , t_{t3} – час проходження листами траси ЛСМ на відповідному етапі сортування;

t_{h1} , t_{h2} , t_{h3} – час розвантаження накопичувачів ЛСМ на відповідному етапі сортування.

Приймаючи до уваги, що сумарний об'єм сортування письмової кореспонденції на кожному етапі сортування залишається постійним, а час проходження траси і час розвантаження накопичувачів прямо пропорційний загальній кількості етапів сортування, реальний час k -етапного сортування

$$T_p = \frac{Pk}{Q_i} + (1 + n + \dots + n^{k-1})(t_{\delta} + t_i) = \frac{Pk}{Q_i} + \frac{n^k - 1}{n - 1}(t_{\delta} + t_i).$$

У табл. 42 наведено значення основних показників багатоетапного сортування T_p , Q_p і Q_n / Q_p при $P = 360000$ лист.; $Q_n = 36000$ лист./год; $n = 100$; $k = 1, 2, 3$; $t_t + t_h = 10, 20, \dots, 100$ с. Значення показників багатоетапного сортування T_p^* , Q_p^* і Q_n / Q_p^* відносяться до розглянутого нижче сортування письмової кореспонденції з суміщенням у часі власне сортування, проходження траси і розвантаження накопичувачів ЛСМ.

Таблиця 42 – Показники багатоетапного сортування письмової кореспонденції

Показники	k	$t_T + t_H, c$									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T_p , год	1	10,0028	10,0056	10,0083	10,0111	10,0139	10,0167	10,0194	10,0222	10,0250	10,0278
Q_p , лист./год		35989,92	35979,85	35970,14	35960,08	35950,03	35939,98	35930,30	35920,26	35910,22	35900,20
Q_H / Q_p		1,00028	1,00056	1,00083	1,00111	1,00139	1,00167	1,00194	1,00222	1,00250	1,00278
T_p^* , год		10,0028	10,0056	10,0083	10,0111	10,0139	10,0167	10,0194	10,0222	10,0250	10,0278
Q_p^* , лист./год		35989,92	35979,85	35970,14	35960,08	35950,03	35939,98	35930,30	35920,26	35910,22	35900,20
Q_H / Q_p^*		1,00028	1,00056	1,00083	1,00111	1,00139	1,00167	1,00194	1,00222	1,00250	1,00278
T_p , год	2	20,2806	20,5611	20,8417	21,1222	21,4028	21,6833	21,9639	22,2444	22,5250	22,8056
Q_p , лист./год		17750,95	17508,79	17273,06	17043,68	16820,23	16602,64	16390,53	16183,85	15982,24	15785,60
Q_H / Q_p		2,02806	2,05611	2,08417	2,11222	2,14028	2,16833	2,19639	2,22444	2,25250	2,28056
T_p^* , год		20,0056	20,0084	20,0111	20,0139	20,0167	20,0195	20,0222	20,0250	20,0278	20,0306
Q_p^* , лист./год		17994,96	17992,44	17990,02	17987,50	17984,98	17982,47	17980,04	17977,53	17975,01	17972,50
Q_H / Q_p^*		2,00056	2,00084	2,00111	2,00139	2,00167	2,00195	2,00222	2,00250	2,00278	2,00306
T_p , год	3	58,0583	86,1167	114,1750	142,2333	170,2917	198,3500	226,4083	254,4667	282,5250	310,5833
Q_p , лист./год		6200,66	4180,37	3153,05	2531,05	2114,02	1814,97	1590,05	1414,72	1274,22	1159,11
Q_H / Q_p		5,80583	8,61167	11,41750	14,22333	17,02917	19,83500	22,64083	25,44667	28,25250	31,05833
T_p^* , год		30,2834	30,2861	30,2889	30,2917	30,2945	30,2972	30,3000	30,3028	30,3056	30,3084
Q_p^* , лист./год		11887,70	11886,64	11885,54	11884,44	11883,35	11882,29	11881,19	11880,09	11878,99	11877,90
Q_H / Q_p^*		3,02834	3,02861	3,02889	3,02917	3,02945	3,02972	3,03000	3,03028	3,03056	3,03084

Як впливає з табл. 42, реальна продуктивність ЛСМ при одноетапному сортуванні практично не відрізняється від номінальної; при двоетапному сортуванні – зменшується більш ніж у 2 рази; при триетапному сортуванні – зменшується від 6 до 31 разів у залежності від часу проходження траси і розвантаження накопичувачів та стає менше продуктивності ручного сортування.

Якщо зниження реальної продуктивності ЛСМ при здійсненні дво- чи триетапного сортування відповідно в 2 чи 3 рази слід приймати як неминуче, то зниження цієї продуктивності відповідно більш ніж у 2 чи 3 рази потребує прийняття ефективних заходів що до підвищення реальної продуктивності ЛСМ.

Одним із найбільш ефективних шляхів підвищення реальної продуктивності ЛСМ при здійсненні багатоетапного сортування є суміщення у часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантажуванням накопичувачів.

Зазначене суміщення операцій засноване на послідовному проходженні кареток з листами уздовж накопичувачів ЛСМ, внаслідок чого в проміжку часу між проходженням каретки з останнім листом попередньої групи і каретки з першим листом наступної групи достатньо розвантажити лише один накопичувач, розташований між цими каретками.

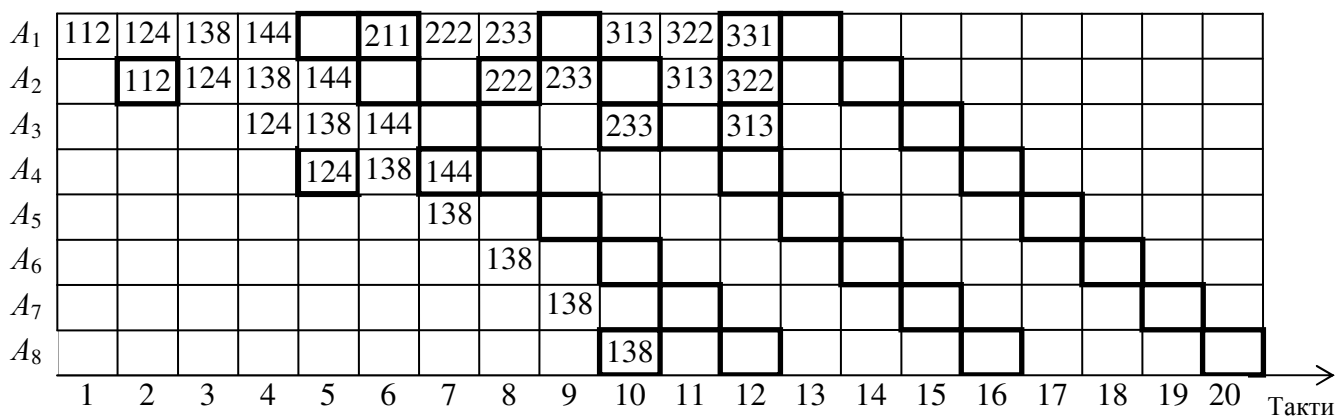
Оскільки час, що витрачається на розвантаження накопичувача, практично збігається з часом, що витрачається на просування каретки уздовж одного накопичувача, між останньою кареткою попередньої групи і першою кареткою наступної групи повинна знаходитися вільна каретка, при просуванні якої уздовж накопичувачів ЛСМ вони повинні послідовно розвантажуватися.

Проілюструємо суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ при $n = 8$ для трьох груп письмової кореспонденції, дані про які наведено у табл. 43.

Таблиця 43 – Дані про письмову кореспонденцію

Номери груп	Номери листів у групах	Номери накопичувачів, до яких прямують листи	Позначення листів
1	1	2	112
	2	4	124
	3	8	138
	4	4	144
2	1	1	211
	2	2	222
	3	3	233
3	1	3	313
	2	2	322
	3	1	331

На рис. 44 наведено часову діаграму суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ для письмової кореспонденції, дані про яку наведено у табл. 40.



138 Просування листа відповідного позначення уздовж траси накопичувачів

138 Укидання листа відповідного позначення у накопичувач

Розвантаження накопичувача

Рисунок 44 – Часова діаграма суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ

Як впливає з рис. 44, сортування, проходження траси і розвантаження накопичувачів письмової кореспонденції групи 1 провадиться в тактах 1... 12, групи 2 – в тактах 6... 16, групи 3 – в тактах 10... 20, тобто зазначені операції більшою чи меншою мірою суміщуються в часі.

Про ефективність суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів можна судити по тому, що після сортування кожної групи виконується лише один додатковий такт для просування вільної каретки, розташованої між кареткою з останнім листом попередньої групи і кареткою з першим листом наступної групи, а n додаткових тактів для проходження всієї траси ЛСМ – тільки після закінчення сортування останньої групи, в той час як за відсутності зазначеного суміщення операцій n додаткових тактів для проходження всієї траси ЛСМ виконуються після закінчення сортування кожної групи письмової кореспонденції.

Виходячи з цього, загальний час, що витрачається на сортування письмової кореспонденції за наявності суміщення операцій складає

$$T_p^* = \frac{kP + \frac{n^k - 1}{n - 1} + t_r + t_n}{Q_n},$$

а реальна продуктивність сортування

$$Q_p^* = \frac{P}{T_p^*}.$$

Значення T_p^* , Q_p^* и Q_n / Q_p^* наведені у відповідних рядках табл. 42.

Як впливає з табл. 42, суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ забезпечує реальну продуктивність Q_p^* , близьку до максимально можливої –

$Q_n / 2 = 18000$ лист./год при двоетапному і $Q_n / 3 = 12000$ лист./год при триетапному сортуванні письмової кореспонденції.

2.11. Підвищення продуктивності ручного сортування поштових одиниць

У системах автоматизованого сортування письмової кореспонденції час $T_{\text{авт}}$ сортування визначається лише об'ємом P сортованої кореспонденції та продуктивністю $Q_{\text{авт}}$ ЛСМ незалежно від розподілу поштових потоків за напрямками сортування

$$T_{\text{авт}} = \frac{P}{Q_{\text{авт}}} .$$

У системах ручного сортування при розкладці листів по накопичувачах СШ задіяні різні групи суглобів та м'язів сортувальника, а саме розкладання пов'язане з переміщенням листів на різні відстані в різних напрямках, внаслідок чого продуктивність і час ручного сортування суттєво залежать від розподілу сортованого потоку по накопичувачах СШ.

За наявності n накопичувачів СШ сортований потік P в процесі сортування поділяється на n груп

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n .$$

Якщо продуктивності сортування до накопичувачів СШ складають Q_1, Q_2, \dots, Q_n , то час ручного сортування $T_{\text{руч}}$

$$T_{\text{руч}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{Q_i} ,$$

а середня продуктивність ручного сортування $Q_{\text{руч}}$

$$Q_{\text{руч}} = \frac{P}{T_{\text{руч}}} .$$

За наявності n накопичувачів СШ існує $n!$ способів розподілу потоків P_1, P_2, \dots, P_n по цих накопичувачах, кожному з яких відповідає своя продуктивність і свій час сортування.

Враховуючи астрономічну величину $n!$ при відносно невеликих значеннях n (кілька десятків), знайти оптимальний розподіл потоків по накопичувачах СШ, за яким досягається максимум продуктивності і мінімум часу сортування, практично неможливо.

Найбільший інтерес являє аналіз ефективності двох варіантів сортування.

При сортуванні за варіантом a розподіл поштових потоків по накопичувачах СШ виконується в порядку зростання поштових індексів, за якими проводиться сортування, незалежно від обсягів поштових потоків за кожним напрямком сортування. Перевагою цього методу є можливість залучення до сортування сортувальників низької кваліфікації, оскільки при послідовній нумерації накопичувачів СШ їхнє місцерозташування визначається значеннями самих по-

штових індексів. Втім, ця перевага практично зникає, якщо сортування виконується не за поштовими індексами, а за поштовими адресами. Недоліком зазначеного варіанта є те, що він не враховує фізіологічних можливостей сортувальників, а, отже, не здатний забезпечити максимальну продуктивність їхньої праці.

При сортуванні за варіантом *б* розподіл поштових потоків по накопичувачах СШ виконується таким чином, щоб потоки з більшими об'ємами потрапляли до накопичувачів СШ з більшою продуктивністю сортування, а потоки з меншими об'ємами – до накопичувачів з меншою продуктивністю сортування, завдяки чому загальна продуктивність праці сортувальника буде максимальною, а час сортування – мінімальним. Недоліками сортування за цим варіантом є необхідність залучення до сортування сортувальників високої кваліфікації, які повинні пам'ятати номери накопичувачів СШ, що відповідають тим чи іншим поштовим індексам або поштовим адресам. Крім того, на продуктивність сортування за зазначеним варіантом чинять суттєвий вплив зміни розподілів поштових потоків за напрямками сортування, види сортування (вихідне, вхідне, загальне, детальне), кількість і розташування накопичувачів СШ та ряд інших факторів.

Розглянемо питання ефективності сортування за обома варіантами більш докладно. При цьому будемо враховувати, що фактична продуктивність і час сортування за обома варіантами залежать від розподілу поштових потоків по накопичувачах СШ. Різниця полягає лише в тому, що за варіантом *а* цей розподіл визначається автоматично, а за варіантом *б* – оптимізується.

На рис. 45 наведений алгоритм закріплення накопичувачів СШ за поштовими потоками та розрахунку часу і продуктивності сортування.

Прийняті наступні позначення:

n – кількість накопичувачів СШ;

N_i – номер накопичувача СШ;

Q_i – значення продуктивності сортування до накопичувача N_i СШ за одиницю часу (листів/годину);

M_i – напрям (номер) потоку;

P_i – значення поштового потоку (листів);

T_a – час сортування за варіантом *а*;

Q_a – продуктивність сортування за варіантом *а*;

T_b – час сортування за варіантом *б*;

Q_b – продуктивність сортування за варіантом *б*.

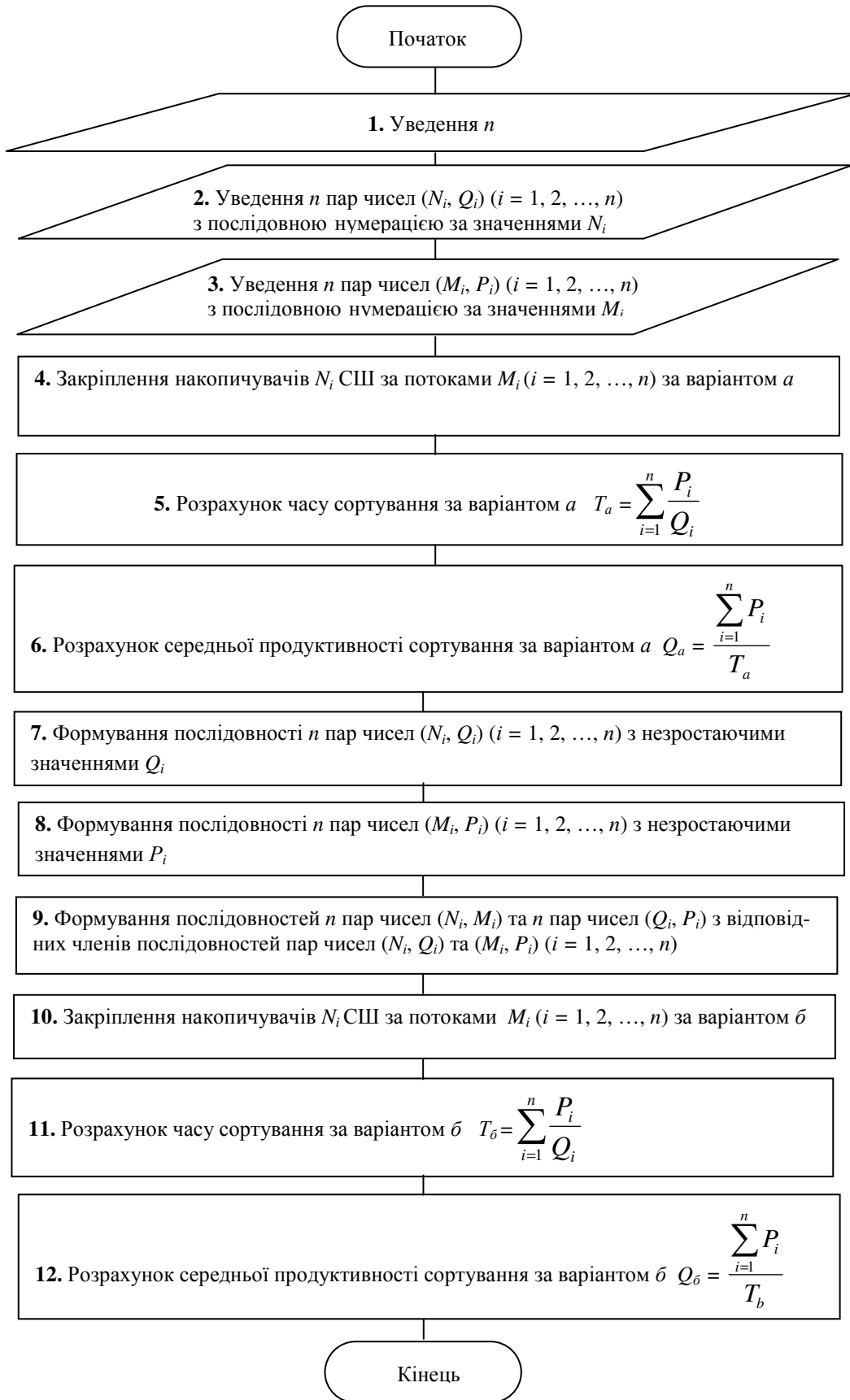


Рисунок 45 – Алгоритм закріплення накопичувачів СШ за поштовими потоками та розрахунку часу і продуктивності сортування

Алгоритм містить 12 блоків.

У блоці 1 провадиться уведення значення кількості n накопичувачів СШ.

У блоці 2 провадиться уведення n пар чисел (N_i, Q_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) з послідовною нумерацією за значеннями N_i .

У блоці 3 провадиться уведення n пар чисел (M_i, P_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) з послідовною нумерацією за значеннями M_i .

У блоці 4 накопичувачі N_i СШ закріплюються за потоками M_i ($i = 1, 2, \dots, n$) за варіантом a .

У блоці 5 розраховується час $T_a = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{Q_i}$ сортування за варіантом a .

У блоці 6 розраховується середня продуктивність $Q_a = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{T_a}$ сортування за варіантом a .

У блоці 7 формується послідовність n пар чисел (N_i, Q_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) з незростаючими значеннями Q_i .

У блоці 8 формується послідовність n пар чисел (M_i, P_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) з незростаючими значеннями P_i .

У блоці 9 формуються послідовності n пар чисел (N_i, M_i) та n пар чисел (Q_i, P_i) з відповідних членів послідовностей пар чисел (N_i, Q_i) та (M_i, P_i) ($i = 1, 2, \dots, n$).

У блоці 10 накопичувачі N_i СШ закріплюються за потоками M_i ($i = 1, 2, \dots, n$) за варіантом b .

У блоці 11 розраховується час $T_b = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{Q_i}$ сортування за варіантом b .

У блоці 12 розраховується середня продуктивність $Q_b = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{T_b}$ сортування за варіантом b .

Нижче наведено приклад виконання блоків алгоритму.

Вихідні дані:

$n = 9$; $N_i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$; $Q_i = \{7, 8, 7, 9, 10, 9, 6, 8, 6\}$;
 $M_i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$; $P_i = \{9, 7, 10, 6, 6, 5, 10, 8, 12\}$.

Блок 1. $n = 9$.

Блок 2. (1, 7), (2, 8), (3, 7), (4, 9), (5, 10), (6, 9), (7, 6), (8, 8), (9, 6).

Блок 3. (1, 9), (2, 7), (3, 10), (4, 6), (5, 6), (6, 5), (7, 10), (8, 8), (9, 12).

Блок 4. (1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5), (6, 6), (7, 7), (8, 8), (9, 9).

Блок 5. $T_a = 9/7 + 7/8 + 10/7 + 6/9 + 6/10 + 5/9 + 10/6 + 8/8 + 12/6 = 10,08$.

Блок 6. $Q_a = \frac{9+7+10+6+6+5+10+8+12}{10,08} = 7,24$.

Блок 7. (5, 10), (4, 9), (6, 9), (2, 8), (8, 8), (1, 7), (3, 7), (7, 6), (9, 6).

Блок 8. (9, 12), (3, 10), (7, 10), (1, 9), (8, 8), (2, 7), (4, 6), (5, 6), (6, 5).

Блок 9. (5, 9), (4, 3), (6, 7), (2, 1), (8, 8), (1, 2), (3, 4), (7, 5), (9, 6);
(10, 12), (9, 10), (9, 10), (8, 9), (8, 8), (7, 6), (7, 7), (6, 6), (6, 5).

Блок 10. (5, 9), (4, 3), (6, 7), (2, 1), (8, 8), (1, 2), (3, 4), (7, 5), (9, 6).

Блок 11. $T_{\bar{o}} = 12/10 + 10/9 + 10/9 + 9/8 + 8/8 + 7/7 + 6/7 + 6/6 + 5/6 = 9,24$.

Блок 12. $Q_{\bar{o}} = \frac{12+10+10+9+8+7+6+6+5}{9,24} = 7,90$.

На рис. 46 наведено ілюстрації результатів виконання блоків алгоритму з розподілу продуктивностей сортування і поштових потоків по накопичувачах СШ, що містить $3 \times 3 = 9$ накопичувачів.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

7	8	7
9	10	9
6	8	6

9	7	10
6	6	5
10	8	12

7	9	6
10	12	10
6	8	5

2	1	4
3	9	7
5	8	6

Блок 2
Розподіл N_i (будь –
який варіант)
Блок 4
Закріплення
 N_i за M_i (варіант a)

Блок 2
Розподіл Q_i
(будь – який
варіант)

Блок 3
Розподіл P_i
(варіант a)

Блок 9
Розподіл P_i
(варіант \bar{b})

Блок 10
Закріплення
 N_i за M_i (ва-
ріант \bar{b})

Рисунок 46 – Ілюстрації результатів виконання блоків алгоритму з розподілу продуктивностей сортування і поштових потоків по накопичувачах СШ

Продуктивність сортування письмової кореспонденції до тих чи інших накопичувачів СШ, як вже зазначалося, залежить від відстаней між позицією зчитування індексу чи адреси сортувальником та відповідними накопичувачами СШ і від фізіологічних властивостей організму сортувальника.

На рис. 47 наведено ілюстрацію визначення залежності продуктивності сортування письмової кореспонденції від місцезрештування накопичувачів СШ.

Зображена на рис. 47 СШ містить $5 \times 5 = 25$ накопичувачів розмірами $l \times h$ (з урахуванням товщини перегородок). Точка O – центр центрального накопичувача СШ; точка B – позиція зчитування поштового індексу чи поштової адреси сортувальником; точка A – центр накопичувача, в який спрямовується лист. Координатами точки A відносно точки O є (x, y) . Відстань R від позиції зчитування індексу або адреси до накопичувача СШ являє собою гіпотенузу прямокутного трикутника AOB з катетами OA і OB . Оскільки OA в свою чергу є гіпотенузою прямокутного трикутника OCA або ODA , катетами якого є значення координат x і y накопичувача, в який спрямовується лист, а z – відстань від позиції зчитування індексу чи адреси до центру центрального накопичувача СШ, значення R визначається як $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

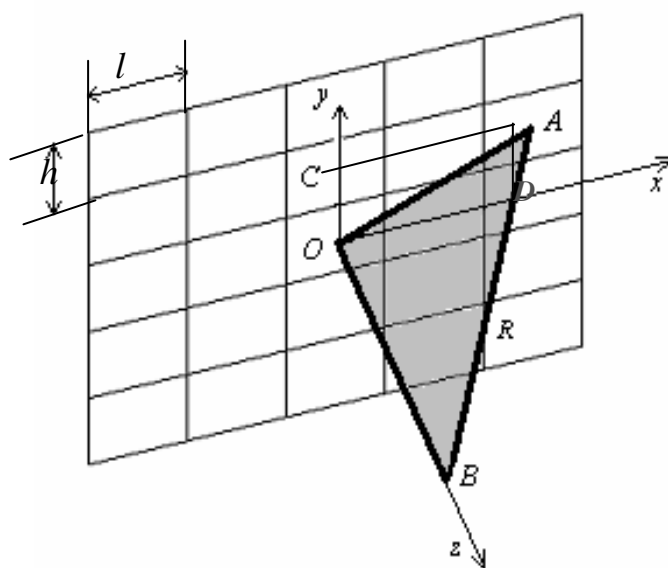


Рисунок 47 – Ілюстрація визначення залежності продуктивності сортування письмової кореспонденції від місцезоташування накопичувачів СШ

Якщо вважати, що сортувальник переміщує лист по прямій BA з постійною середньою швидкістю, то значення R визначає час T , що витрачається на переміщення листа від позиції зчитування індексу або адреси до визначеного накопичувача СШ, а продуктивність сортування до зазначеного накопичувача $Q = \frac{1}{T}$.

Нижче наведені результати розрахунку значень Q для усіх накопичувачів СШ (прийнято $l = 1$, $h = 1$, $z = 3$; значення T чисельно дорівнює R).

Накопичувач $(0, 0)$; $R = \sqrt{9} = 3,00$; $T = 3,00$; $Q = 0,33$;

накопичувачі $(1, 0)$, $(0, 1)$, $(-1, 0)$, $(0, -1)$; $R = \sqrt{10} = 3,16$; $T = 3,16$;
 $Q = 0,32$;

накопичувачі $(1, 1)$, $(-1, 1)$, $(-1, -1)$, $(1, -1)$; $R = \sqrt{11} = 3,32$; $T = 3,32$;
 $Q = 0,30$;

накопичувачі $(2, 0)$, $(0, 2)$, $(-2, 0)$, $(0, -2)$; $R = \sqrt{13} = 3,61$; $T = 3,61$;
 $Q = 0,28$;

накопичувачі $(2, 1)$, $(1, 2)$, $(-1, 2)$, $(-2, 1)$, $(-2, -1)$, $(-1, -2)$, $(1, -2)$, $(2, -1)$;
 $R = \sqrt{14} = 3,74$; $T = 3,74$; $Q = 0,27$;

накопичувачі $(2, 2)$, $(-2, 2)$, $(-2, -2)$, $(2, -2)$; $R = \sqrt{17} = 4,12$; $T = 4,12$;
 $Q = 0,24$.

Таким чином, продуктивність сортування змінюється від 0,33 (сортування до центрального накопичувача СШ) до 0,24 (сортування до кутових накопичувачів СШ).

2.12. Принципи побудови системи індексації поштового зв'язку України

Система індексації поштового зв'язку України побудована за ієрархічними принципами на основі п'ятизначної структури індексу, цифри якого відбивають рівні ієрархії мережі об'єктів поштового зв'язку і відповідні їм рівні сортування поштових відправлень.

Принципи побудови системи індексації поштового зв'язку України пояснюються табл. 44.

Таблиця 44 – Принципи побудови системи індексації поштового зв'язку України

Цифри індексу				
1	2	3	4	5
Обласний центр		Відділення зв'язку		
		Вузол сортування	Відділення зв'язку	
		Вузол сортування	Вузол доставляння	Відділення зв'язку
Область		Місто або районний центр	Відділення зв'язку	
			Вузол доставляння	Відділення зв'язку

Перша та друга цифри індексу зазначають обласний центр або територію області.

Передбачено три варіанти використання третьої, четвертої та п'ятої цифр індексу при індексації обласних центрів.

У першому варіанті ці цифри індексу зазначають номер одного з тисячі можливих відділень зв'язку.

У другому варіанті третя цифра індексу зазначає номер одного з десяти можливих вузлів сортування, а четверта і п'ята – номер одного зі ста можливих відділень зв'язку, що обслуговуються зазначеним вузлом.

У третьому варіанті третя цифра зазначає номер одного з десяти можливих вузлів сортування, четверта – номер одного з десяти можливих вузлів доставляння, що обслуговуються зазначеним вузлом сортування, а п'ята – номер одного з десяти можливих відділень зв'язку, що обслуговуються зазначеним вузлом доставляння.

При індексації областей третя цифра індексу зазначає номер міста обласного підпорядкування або районного центру області.

Передбачено два варіанти використання четвертої та п'ятої цифр індексу при індексації областей.

У першому варіанті ці цифри індексу зазначають номер одного зі ста можливих відділень зв'язку міста або району.

У другому варіанті четверта цифра індексу зазначає номер одного з десяти можливих вузлів доставляння міста або територіальних об'єднань відділень зв'язку, а п'ята – номер одного з десяти можливих відділень зв'язку, що обслу-

говуються зазначеним вузлом доставляння або входять у зазначене об'єднання відділень зв'язку.

Розподіл індексів між адміністративними утвореннями України

Як адміністративні утворення України виступають Автономна республіка Крим, 24 області, міста Київ і Севастополь. За формальними ознаками до адміністративних утворень України віднесене також м. Кривий Ріг Дніпропетровської області.

Кількість індексів, що виділяються адміністративним утворенням України, залежить від кількості міст республіканського АР Крим або обласного підпорядкування і районів, що до них входять.

Для індексації об'єктів поштового зв'язку Києва з урахуванням його особливого статусу як столиці України виділено шість значень двох перших цифр індексу, що дозволяє спрямовувати письмову кореспонденцію на вузли сортування Києва при здійсненні вихідного сортування в об'єктах поштового зв'язку за двома першими цифрами індексу.

Розподіл двозначних індексів між адміністративними утвореннями України наведений у табл. 45.

Таблиця 45 – Розподіл двозначних індексів між адміністративними утвореннями України

№ пп.	Адміністративні утворення України	Значення першої та другої цифр індексу
1	Київ, місто	01, 02, 03, 04, 05, 06
2	Київська область	07, 08, 09
3	Житомирська область	10, 11, 12, 13
4	Чернігівська область	14, 15, 16, 17
5	Черкаська область	18, 19, 20
6	Вінницька область	21, 22, 23, 24
7	Кіровоградська область	25, 26, 27, 28
8	Хмельницька область	29, 30, 31, 32
9	Рівненська область	33, 34, 35
10	Полтавська область	36, 37, 38, 39
11	Сумська область	40, 41, 42
12	Волинська область	43, 44, 45
13	Тернопільська область	46, 47, 48
14	Дніпропетровська область	49, 50, 51, 52, 53
15	Миколаївська область	54, 55, 56, 57
16	Чернівецька область	58, 59, 60
17	Харківська область	61, 62, 63, 64
18	Одеська область	65, 66, 67, 68
19	Запорізька область	69, 70, 71, 72
20	Херсонська область	73, 74, 75

21	Івано-Франківська область	76, 77, 78
22	Львівська область	79, 80, 81, 82
23	Донецька область	83, 84, 85, 86, 87
24	Закарпатська область	88, 89, 90
25	Луганська область	91, 92, 93, 94
26	Автономна республіка Крим	95, 96, 97, 98
27	Севастополь, місто	99

Приклади індексації об'єктів поштового зв'язку:

49000 – м. Дніпропетровськ, поштамт;

49037 – м. Дніпропетровськ, 37-ме міське відділення зв'язку;

50000 – Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, поштамт;

51400 – Дніпропетровська область, Павлоградський район, районний вузол зв'язку;

51491 – Дніпропетровська область, Павлоградський район, сільське відділення зв'язку Троїцьке;

51472 – Дніпропетровська область, Павлоградський район, населений пункт Лиманське;

53400 – Дніпропетровська область, м. Марганець, міський вузол зв'язку;

53412 – Дніпропетровська область, м. Марганець, 12-те міське відділення зв'язку.

Особливості поштової індексації України

Як видно зі структури індексу, при сортуванні за двома першими цифрами напрямками сортування виступають адміністративні утворення України.

Принциповою відзнакою сортування за двома першими цифрами індексу (п'ятизначна індексація України) від сортування за трьома першими цифрами індексу (шестизначна індексація колишнього СРСР) є те, що в першому випадку значення двох перших цифр індексу *безпосередньо збігаються з номером напрямку сортування*, а в другому – *тільки визначають його*, тобто вимагають перетворення цифр індексу в номер напрямку сортування.

Як свідчить практика, сортування за двома першими цифрами індексу виконується простіше і швидше, ніж сортування за адресами, тому і при ручному сортуванні доцільне сортування за індексами. Якщо при ручному сортуванні сортувальна шафа містить 10 x 10 накопичувачів, то дві перші цифри індексу відповідають номеру рядка і номеру колонки цієї шафи, наприклад, індексам 49000 – 49999 (м. Дніпропетровськ) відповідає накопичувач шафи, що лежить на перетині 4-го рядка і 9-ї колонки. Внаслідок цього при сортуванні за двома першими цифрами індексу взагалі не потрібне знання напрямів сортування і його може здійснювати сортувальниця середньої кваліфікації.

П'ятизначна індексація поштового зв'язку України, впроваджена з 1999 року, має багаторазовий розподілений резерв індексів, що забезпечує їй тривале існування.

Перехід від шестизначної індексації об'єктів поштового зв'язку колишнього СРСР до п'ятизначної індексації об'єктів поштового зв'язку України не викликав будь-скільки помітних ускладнень, оскільки до цього часу автоматизоване сортування письмової кореспонденції в Україні виявилось економічно недоцільним внаслідок багаторазового падіння об'ємів потоків письмової кореспонденції, а ручне сортування письмової кореспонденції за шестизначними індексами, як вже відзначалося, взагалі ніколи не провадилося.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ящук Л.Е. Оптимизация сортировки почтовых отправлений / Автоматизация и механизация технологических процессов на предприятиях связи: Сб. науч. тр. учебных институтов связи. – Л.: ЛЭИС, 1990. – С. 41-46.
2. Ящук Л.Е. Повышение эффективности многопрограммной сортировки почтовых отправлений (ПО) / Синтез и анализ алгоритмов оптимальной обработки сигналов: Сб. науч. тр. учебных заведений связи. – Л.: ЛЭИС, 1993. – С. 128-129.
3. Довідник з поштової індексації України: на 1 січня 1999 року / Ю.О. Парамонов, І.В. Шерепа, Л.О. Ящук; За ред. докт. техн. наук Л.О. Ящука. – К., 1999. – 496 с.; – Друге вид.: на 1 липня 1999 року. – К., 1999. – 272 с.
4. Ящук Л.О. Алгоритм розробки планів прямування пошти // Зв'язок. – 1999. – № 4. – С. 46-49.
5. Ящук Л.О. Метод і алгоритм визначення числа робочих місць з оброблення поштових відправлень у вузлі поштового зв'язку // Зв'язок. – 2001. – № 2. – С. 53-55.
6. Ящук Л.О. Зонально-вузловий принцип сортування і направлення пошти: to be or not to be ? // Зв'язок. – 2001. – № 4. – С. 46-49.
7. Ящук Л.Е. Почтовая индексация Украины // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2001. – № 12. – С. 21-23.
8. Оптимізація поштового зв'язку України / П.П. Воробієнко, С.О. Довгий, В.А. Коляденко, В.М. Мороз, В.Г. Мухін, О.Л. Нечипорук, Л.О. Ящук; За заг. ред. С.О. Довгого, наук. ред. Л.О. Ящук. – К.: Укрпошта, 2002. – 160 с.
9. Мухін В.Г., Ящук Л.О. Алгоритм визначення оптимальної кількості та місць розташування територіальних вузлів поштового зв'язку в областях України // Зв'язок. – 2002. – № 6. – С. 37-38.
10. Довідник з поштової індексації населених пунктів України: на 1 червня 2003 року / В.М. Бойчук, Д.Г. Ларін, Ю.О. Парамонов, Л.О. Ящук; За ред. докт. техн. наук Л.О. Ящука. – К., 2003. – Т. I. – 296 с; Т. II. – 344 с.
11. Мухін В.Г., Ящук Л.О. Синхронізація оброблення та перевезення пошти в мережі поштового зв'язку із сортувальними центрами // Зв'язок. – 2003. – № 3. – С. 35-36.
12. Мороз В.М., Ящук Л.О. Математичні моделі проходження потоків в багаторівневих ієрархічних мережах поштового зв'язку // Зв'язок. – 2004. – № 1. – С. 35-37.
13. Ящук Л.О. Оптимізація технології оброблення письмової кореспонденції в ієрархічній мережі поштового зв'язку // Зв'язок. – 2004. – № 6. – С. 42-44.
14. Ящук Л.О. Алгоритм маршрутного сортування поштових відправлень // Зв'язок. – 2004. – № 7. – С. 28-29.
15. Бойчук В.М., Кидисюк А.І., Ящук Л.О. Аналіз впливу кількості та місць розташування сортувальних вузлів на техніко-економічні показники мережі поштового зв'язку // Зв'язок. – 2005. – № 3. – С. 28-32.
16. Ящук Л.О. Проблеми оптимізації техніко-технологічної інфраструктури мережі поштового зв'язку УДППЗ „Укрпошта” // Зв'язок. – 2005. – № 6. – С. 12-17.
17. Ящук Л.Е. Сомнительный вариант // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2005. – № 12. – С. 10-14.
18. Ящук Л.Е. Почта Украины: три индексации // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2006. – № 9. – С. 19-24.

19. Ящук Л.О. Підвищення ефективності використання листосортувальних машин у регіональних центрах автоматизованого оброблення письмової кореспонденції // Зв'язок. – 2006. – № 4. – С. 22-24.
20. Ящук Л.О. Аналіз процесу сортування періодичних видань у газетно-журнальних експедиціях // Зв'язок. – 2007. – № 2. – С. 21-23.
21. Ящук Л.О. Визначення обсягів оброблення та перевезення пошти в мережі поштового зв'язку за умов циклічних змін обсягів міжвузлових поштових потоків // Зв'язок. – 2007. – № 3. – С. 21-24.
22. Ящук Л.Е. Оптимизация сортировки письменной корреспонденции в объектах иерархической сети почтовой связи // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2007. – № 6. – С. 5-11.
23. Ящук Л.О. Оптимізація багатоступінчастого сортування письмової кореспонденції // Зв'язок. – 2007. – № 5. – С. 30-33.
24. Ящук Л.О. Оптимізація сортування письмової кореспонденції в об'єктах ієрархічної мережі поштового зв'язку // Зв'язок. – 2007. – № 7. – С. 29-34.
25. Ящук Л.Е. Оптимизация многоэтапной сортировки письменной корреспонденции // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2007. – № 12. – С. 15-18.
26. Кидисюк А.І., Ящук Л.О. Оптимізація мереж і систем поштового зв'язку; За ред. докт. техн. наук Л.О. Ящука. – К.: Знання, 2008. – 270 с.
27. Перспективи розвитку поштового зв'язку України: регуляторні, економічні та технологічні принципи; За заг. ред. К.О. Танащук, О.Л. Нечипорука, Л.О. Ящука, Н.О. Котової. – К.: ДУІКТ, 2008. – 339 с.
28. Ящук Л.О. Аналіз передумов упровадження систем автоматизованого оброблення письмової кореспонденції в Україні // Зв'язок. – 2008. – №1. – С. 34-39.
29. Осадчий Є.Д., Ящук Л.О. Оптимізація ручного сортування письмової кореспонденції // Зв'язок. – 2008. – № 2. – С. 39-41.
30. Осадчий Є.Д., Швайко І.Г., Ящук Л.О. Моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць // Зв'язок. – 2008. – № 4. – С. 28-33.
31. Ящук Л.О. Оптимізація кількості рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку // Зв'язок. – 2007. – № 5-6. – С. 36-38.
32. Ящук Л.Е. Проблемы автоматизации сортировки письменной корреспонденции // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2008. – № 9. – С. 9-13.
33. Кидисюк А.І., Осадчий Є.Д., Ящук Л.О. Оптимізація кількості накопичувачів автоматичної листосортувальної машини // Зв'язок. – 2008. – №7-8. – С. 40-41.
34. Кидисюк А.І., Осадчий Є.Д., Ящук Л.О. Оптимізація ємності накопичувачів автоматичних листосортувальних машин // Зв'язок. – 2008. – № 7-8. – С. 42-43.
35. Ящук Л.Е. Методы повышения производительности сортировки письменной корреспонденции // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2009. – № 1. – С. 12-16.
36. Ящук Л.Е. Минимизация парка почтовых контейнеров // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2009. – № 3. – С. 6-9.
37. Ящук Л.Е. О соотношении нормативных и фактических сроков пересылки письменной корреспонденции // Почтовая связь. Техника и технологии. – М.: Агентство ИРИАС, 2009. – № 4. – С. 4-6.

Наукове видання

ЯЩУК Леонід Омелянович

ОПТИМІЗАЦІЯ СОРТУВАННЯ ПОШТОВИХ ОДИНИЦЬ

МЕТОДИ, МОДЕЛІ, АЛГОРИТМИ

Монографія

Редактор

Л.А. Кодрул

Комп'ютерне верстання

Є.С. Корнійчук

Видавництво ОНАЗ ім. О. С. Попова
(свідоцтво ДК № 3633 від 27. 11. 2009 р.)

Здано в набір 16.07.2009. Підписано до друку 23.04.2010.
Формат 60x90/16. Наклад 300.
Ум. друк. арк.10,9. Ум. авт. друк. арк. 8,5. Замовлення № 4128
Віддруковано з готового оригінал-макету в друкарні
Одеської національної академії зв'язку ім. О. С. Попова
м. Одеса, вул. Старопортофранківська, 61
Тел. (048) 720-78-94