

Міністерство інфраструктури України
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

Кафедра мереж та систем поштового зв'язку

Л.О. Ящук

ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Навчальний посібник
для вищих навчальних закладів зв'язку

Одеса – 2011

Рецензент:

Завідувач кафедри телекомунікаційних систем Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, професор *Г.Ф. Конахович*.

Ящук Л.О. Логістика поштового зв'язку: навч. пос. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2011. – 228 с. Табл. 70, іл. 98, бібл. 11.

У пропонованому навчальному посібнику наведено сучасні уявлення про логістику поштового зв'язку.

Відповідно до навчальних планів навчальний посібник складається з чотирьох частин, що відповідають чотирьом модулям підготовки бакалаврів: Концептуальні засади логістики, Структурна логістика поштового зв'язку, Виробнича логістика поштового зв'язку, Транспортна логістика поштового зв'язку. Кожна частина складається з восьми розділів і містить контрольні питання, що охоплюють весь викладений в них матеріал.

Навчальний посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів зв'язку за напрямом підготовки «Мережі та системи поштового зв'язку».

ЗАТВЕРДЖЕНО

методичною радою Одеської
національної академії зв'язку ім. О.С. Попова.
Протокол № 8 від 11.02.2011 р.

Зміст

ВСТУП.....	4
1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ЛОГІСТИКИ	6
1.1. Терміни та визначення основних понять логістики	6
1.2. Логістичні потоки, процеси та системи.....	10
1.3. Конфлікти цілей при формуванні логістичних витрат.....	12
1.4. Логістичні принципи організації виробничих процесів	15
1.5. Логістичні принципи управління запасами.....	19
1.6. Логістичні принципи складування продукції	23
1.7. Підштовхувані й підтягувані логістичні системи.....	32
1.8. Принципи побудови розпізнавальних логістичних систем.....	38
Контрольні питання	55
2. СТРУКТУРНА ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	58
2.1. Аналіз структур мереж поштового зв'язку	58
2.2. Оптимізація кількості рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку	64
2.3. Оптимізація кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку.....	69
2.4. Оптимізація розподілу операцій оброблення письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку	78
2.5. Синхронізація оброблення й перевезення поштових одиниць	83
2.6. Адаптація оброблення й перевезення поштових одиниць до змін об'ємів поштових потоків.....	91
2.7. Оптимізація номіналів та тиражів поштових марок.....	96
2.8. Принципи побудови національної індексації поштового зв'язку України.....	101
Контрольні питання	106
3. ВИРОБНИЧА ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	109
3.1. Аналіз методів сортування поштових одиниць	109
3.2. Формування планів сортування поштових одиниць	116
3.3. Організація багатоетапного сортування поштових одиниць.....	121
3.4. Організація автоматизованого сортування поштових одиниць	133
3.5. Підвищення продуктивності сортування поштових одиниць	142
3.6. Моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць.....	153
3.7. Оптимізація кількості та ємності накопичувачів ЛСМ.....	162
3.8. Оптимізація кількості та розташування робочих місць з оброблення поштових одиниць.....	167
Контрольні питання	180
4. ТРАНСПОРТНА ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	184
4.1. Принципи побудови поштових маршрутів	184
4.2. Визначення кількості транспортних засобів для перевезень поштових вантажів	189
4.3. Визначення об'ємів перевезення поштових вантажів у мережі поштового зв'язку за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків.....	194
4.4. Визначення вантажопідйомності транспортних засобів.....	199
4.5. Визначення допустимої затримки відправлень поштових вантажів з вузлів мережі поштового зв'язку.....	203
4.6. Визначення парку поштових контейнерів.....	209
4.7. Забезпечення повернення порожніх контейнерів.....	217
4.8. Мінімізація переміщень контейнерів у кузові контейнеровоза під час обмінювання контейнерів у ПОК.....	221
Контрольні питання	224
ЛІТЕРАТУРА.....	227

ВСТУП

Логістика – наука управління матеріальними і пов’язаними з ними інформаційними та фінансовими потоками.

Коріння логістики уходять у глибину століть.

Ще у стародавньому Римі існували люди, які звалися логістами і відповідали за розподіл харчових продуктів серед жителів.

Логісти в армії відповідали за забезпечення військ усім необхідним для проведення бойових дій.

Історія знає чимало прикладів вдалої та невдалої військової логістики:

– єгипетський похід Олександра Македонського (330 р. до н.е.) через пустелю, коли він зумів організувати безперебійне постачання своєї армії у складі 65 тис. воїнів і 8900 тварин їжею, водою, фуражом, амуніцією, озброєнням і возами;

– перший хрестовий похід (1096 – 1099 рр.), під час якого тисячі хрестоносців загинули не в боях, а від голоду та злиднів: з 600 тис. чоловік, вступивших у Малу Азію, лише 50 тис. досягли Єрусалима;

– операції «Буря в пустелі» (1999 р.) та «Шок і трепет» (2003 р.), що характеризуються високою організацією логістики, коли на одного військово-вослужбовця припадало 3 – 4 спеціаліста-логістика.

Основні функції логістики полягають у забезпеченні надходження потрібної продукції, потрібної якості, в потрібній кількості, в потрібне місце, в потрібний час, потрібному споживачу, за потрібною (узгодженою) ціною.

Виходячи з цього, логістика охоплює весь виробничий процес виготовлення, накопичення, розподілу, перевезення та збування продукції, починаючи з заготовлення сировини, напівфабрикатів і матеріалів, та закінчуючи доставлянням цієї продукції споживачам.

Хоча надання послуг поштового зв’язку не пов’язане з виробництвом продукції, в ньому присутні численні виробничі операції зі збирання, приймання, оброблення, сортування, укрупнення, пакування, накопичування, збереження, обмінювання, перевезення, доставляння поштових одиниць, а також з експедирування періодичних видань. Зазначені операції можна розглядати як відповідні аналоги операцій з виробництва продукції.

Принципова відзнака застосування логістичного підходу до управління операціями з виробництва продукції або операціями з пересилання поштових одиниць полягає в тому, що при традиційному підході управління *кожною* операцією виконується незалежно від управління іншими операціями, у той час як при застосуванні логістичного підходу управління *всіма* зазначеними операціями виконується комплексно.

Враховуючи, що оптимальні рішення по кожній операції в загальному випадку не збігаються з єдиним оптимальним рішенням по всім операціям, логістичний підхід принципово забезпечує більш ефективну оптимізацію виробництва продукції або пересилання поштових одиниць ніж оптимізація окремих операцій.

При застосуванні логістичного підходу до організації виробничих процесів часто спостерігається так званий комбінаційний (мультиплікативний, синергічний) ефект, коли загальний ефект від одночасного упровадження певних заходів з підвищення ефективності виробництва суттєво перевищує суму ефектів від упровадження кожного з цих заходів окремо. Наприклад, об'єднання декількох дрібних підприємств в єдине крупне підприємство, окрім безпосереднього скорочення витрат на утримання адміністративно-управлінського апарату, виключення дублюючих ланок, скорочення перевезень тощо, дозволяє залучити інвесторів для реконструкції та модернізації виробництва, оновлення і зростання асортименту продукції, підвищення її якості, а разом з цим – зростання прибутків підприємства.

Не даремно американські дослідники вважають логістику «останнім рубежем економії витрат» і «непізнаним материком економіки».

У пропонованому навчальному посібнику наведено сучасні уявлення про логістику поштового зв'язку.

Відповідно до навчальних планів навчальний посібник складається з чотирьох частин, що відповідають чотирьом модулям підготовки бакалаврів: Концептуальні засади логістики, Структурна логістика поштового зв'язку, Виробнича логістика поштового зв'язку, Транспортна логістика поштового зв'язку. Кожна частина складається з восьми розділів і містить контрольні питання, що охоплюють весь викладений в них матеріал.

Навчальний посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів зв'язку за напрямом підготовки «Мережі та системи поштового зв'язку».

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ЛОГІСТИКИ

1.1. Терміни та визначення основних понять логістики

Логістика – наука управління матеріальними і пов’язаними з ними інформаційними та фінансовими потоками.

Логістична система – сукупність елементів (ланцюгів), функціонально з’єднаних між собою на всіх етапах виробництва продукції, починаючи від заготівлі сировини, напівфабрикатів, матеріалів і закінчуючи постачанням готової продукції.

Прикладами логістичних систем є промислові, торговельні, транспортні підприємства.

Логістична функція – укрупнена група логістичних операцій, спрямована на реалізацію цілей логістичної системи.

До логістичних функцій відносяться:

- постачання;
- виробництво;
- збут (розподіл).

Логістична операція – відокремлена і не підлягаюча подальшій декомпозиції сукупність дій, спрямована на перетворення матеріального потоку.

До логістичних операцій відносяться:

- оброблення;
- пакування;
- маркування;
- комплектування;
- внутрішнє переміщення;
- складування;
- зберігання;
- транспортування;
- завантаження;
- розвантаження.

Потік – сукупність об’єктів, сприйманих як єдине ціле, що існує як процес на певному часовому інтервалі, та вимірюється в абсолютних одиницях за визначений інтервал часу.

Потік є динамічною категорією, статичним станом якого є запас.

Запас – сукупність об’єктів у наявності в конкретний момент часу, які вимірюються в абсолютних одиницях.

Життєвий цикл продукції – сукупність процесів створення і використання (споживання) продукції від початку виробництва до її утилізації (знищення).

У табл. 1.1 наведено аналогії логістичних операцій з виробництва продукції та з пересилання поштових одиниць.

Таблиця 1.1 – Аналогії логістичних операцій з виробництва продукції та з пересилання поштових одиниць

Логістичні операції з виробництва продукції	Логістичні операції з пересилання поштових одиниць
Заготівлення сировини, напівфабрикатів і матеріалів	Заготівлення продукції технологічного забезпечення поштового зв'язку, поштових марок, поштових конвертів, поштових карток, поштових бланків, упаковки, тари
Виготовлення продукції	Виймання письмової кореспонденції з поштових скриньок, приймання, оброблення, сортування, укрупнення, пакування поштових одиниць, експедирування періодичних видань
Накопичування продукції	Вхідне, вихідне, транзитне накопичування поштових одиниць і періодичних видань
Збереження продукції	Збереження поштових одиниць і періодичних видань
Розподілення продукції	Транспортування поштових одиниць і періодичних видань
Збування продукції	Доставляння (вручення) поштових одиниць і періодичних видань споживачам
Синхронізація операцій з виробництва продукції	Синхронізація оброблення й транспортування поштових одиниць
Забезпечення нормативних строків виробництва продукції	Забезпечення нормативних строків пересилання поштових одиниць

На рис. 1.1 наведено структурні схеми традиційної (а) та логістичної (б) систем управління виробничим процесом

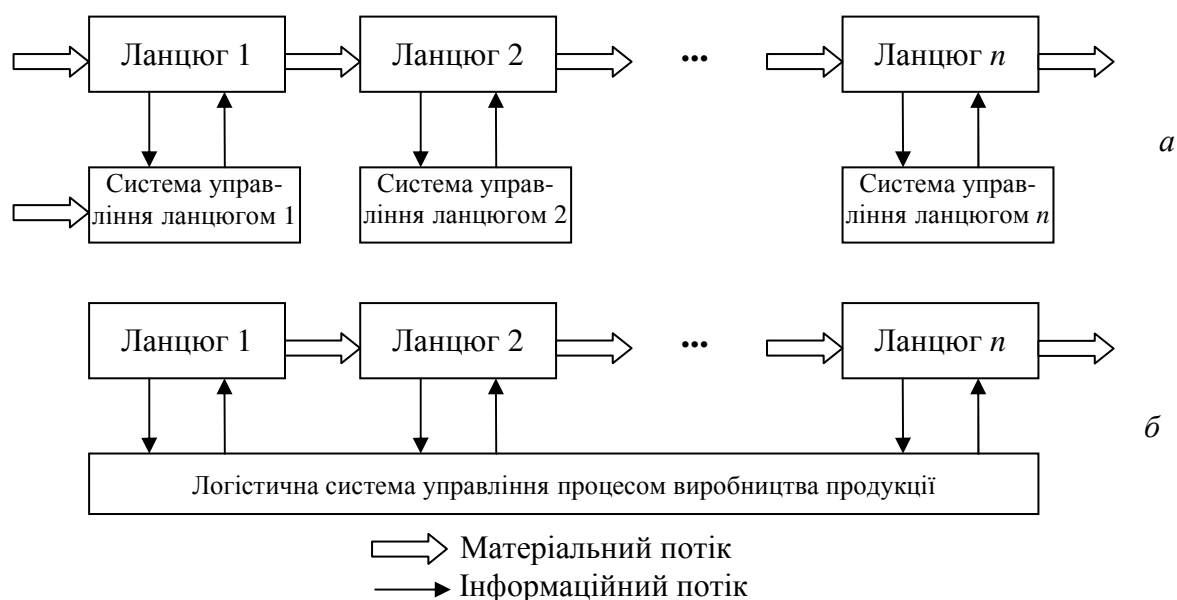


Рисунок 1.1 – Структурні схеми традиційної (а) та логістичної (б) систем управління виробничим процесом

Як випливає з рис. 1.1, принципова відмінність традиційного і логістичного управління виробничим процесом полягає в тому, що традиційна система управління передбачає автономне управління *кожним* ланцюгом вироб-

ничого процесу, в той час як логістична система передбачає єдине управління *всім* виробничим процесом.

Успішний розвиток логістики сприяв поширенню її методів на різні сфери матеріального виробництва.

На рис. 1.2 наведено рівні розвитку логістики.

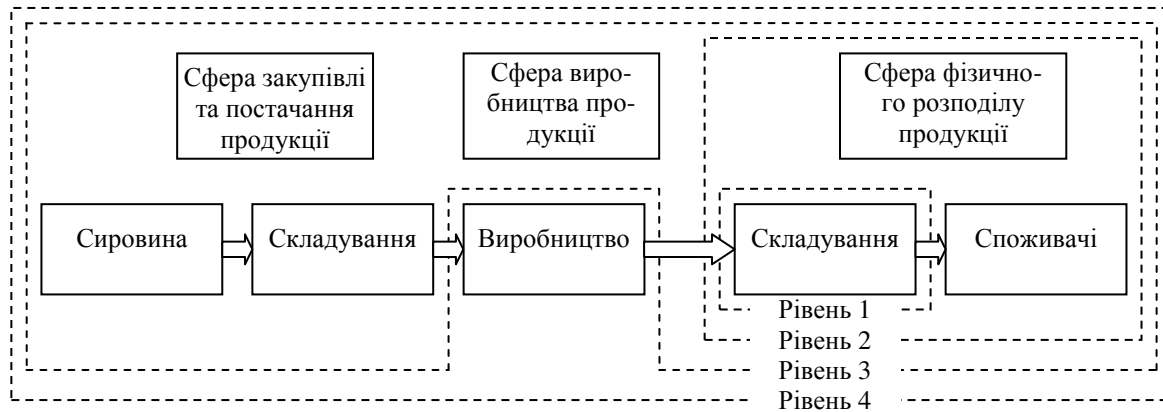


Рисунок 1.2 – Рівні розвитку логістики

Як випливає з рис. 1.2, логістика, яка починалася зі сфери фізичного розподілу продукції, поширювалася на сферу закупівлі та постачання продукції, а потім і на сферу виробництва продукції. На рис. 1.2 не зазначений рівень 5 – сервісне обслуговування, якому сьогодні надається велике значення.

Концептуальні засади логістики включають певні правила, принципи та завдання, які властиві всім логістичним системам, незалежно від їхнього функціонального призначення.

Нижче наведені основні з цих правил, принципів та завдань.

Сім правил логістики

- Right product – необхідний товар
- Right quantity – необхідна кількість
- Right time – необхідний час
- Right place – необхідне місце
- Right cost – необхідна ціна
- Right condition – необхідна якість
- Right customer – необхідний споживач

Наведені правила визначають сутність логістики.

При виконанні всіх семи «Right» виникають підстави вважати, що все «All right».

П'ять завдань логістики

- Забезпечити мінімум конфліктів цілей
- Забезпечити оптимум запасів
- Забезпечити максимум транспортної консолідації
- Забезпечити контроль якості ресурсів, що надходять

- Забезпечити підтримку життєвого циклу товару

Чотири принципи побудови логістичної системи

- Узгодженість дій
- Спрямованість на інтегральну ефективність
- Функціональність взаємодії
- Досягнення комбінаційного (синергічного) ефекту

Функціональні області логістики визначають групи логістичних операцій, спрямованих на досягнення певних цілей логістичної системи.

Основні функціональні області логістики наведено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Функціональні області логістики

Принцип ABC (принцип 80 – 20)

Сучасні виробництва характеризуються великим асортиментом випусканої продукції.

Ресурси логістичних систем управління розподіляються між різними групами зазначеної продукції, як правило, не рівномірно, а у залежності від їхньої вартості та кількості найменувань.

Значного розповсюдження набув логістичний принцип управління, що отримав назву аналізу ABC або принципу 80 – 20.

Згідно з аналізом ABC асортимент продукції поділяється на групи А, В, С, орієнтовне співвідношення вартості та кількості найменувань яких наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Середньостатистичні співвідношення груп А, В, С асортименту продукції

Група	Вартість, %	Кількість найменувань, %
А	80	20
В	15	30
С	5	50

На рис. 1.4 наведено графік розподілу ресурсів управління між групами продукції А, В, С.

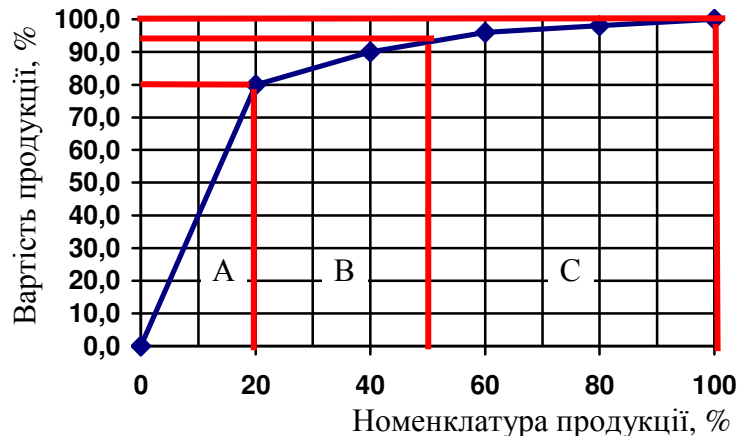


Рисунок 1.4 – Графік розподілу ресурсів управління між групами продукції А, В, С.

Як впливає з табл. 1.2 і рис. 1.4, група А складає основну вартість продукції (80%) при незначній частині її асортименту (20%), звідси і назва – принцип 80 – 20; група В має значно меншу вартість (15%) при більшому асортименті (30%); група С має найнижчу вартість (5%) при значному асортименті (50%).

Відповідно 80% ресурсів управління відводиться групі А, 15% – групі В, 5% – групі С. Розуміється, в конкретних випадках як кількість груп, так і їхні співвідношення можуть бути дещо іншими, але принцип утворення цих груп залишається.

Таким чином, виходячи з принципу АВС, можна вважати доцільним малі замовлення і перевезення продукції групи А, середні замовлення і перевезення продукції групи В, великі замовлення і перевезення продукції групи С.

Як приклад, не пов'язаний з виробництвом продукції, можна сказати, що дирекції інститутів, деканати факультетів, кафедри 80% свого часу приділяють роботі з 20% студентів з низькою успішністю, 15% часу – роботі з 30% студентів з середньою успішністю і лише 5% часу – роботі з 50% студентів з високою успішністю. Зауважимо, що з точки зору інтересів держави, зазначені співвідношення повинні бути зворотними: більше уваги приділяти студентам з високою успішністю і менше – студентам з низькою успішністю.

1.2. Логістичні потоки, процеси та системи

У табл. 1.3 наведено основні параметри логістичних потоків.

Таблиця 1.3 – Основні параметри логістичних потоків

Найменування параметра	Характеристика параметра
Витік	Місце виникнення (початковий пункт) потоку
Стік	Місце припинення (кінцевий пункт) потоку
Початковий час	Час виникнення потоку
Кінцевий час	Час припинення потоку
Траєкторія (шлях)	Конфігурація проходження потоку між витоком і стоком
Протяжність шляху	Міра траєкторії в одиницях довжини або часу
Швидкість	Відношення пройденого шляху до відповідного проміжку часу
Час (часовий інтервал)	Різниця між двома моментами часу проходження потоку
Проміжні пункти	Точки на шляху проходження потоку
Інтенсивність (потужність)	Кількість об'єктів, що переміщуються за одиницю часу

На рис. 1.5 наведено класифікацію логістичних потоків.

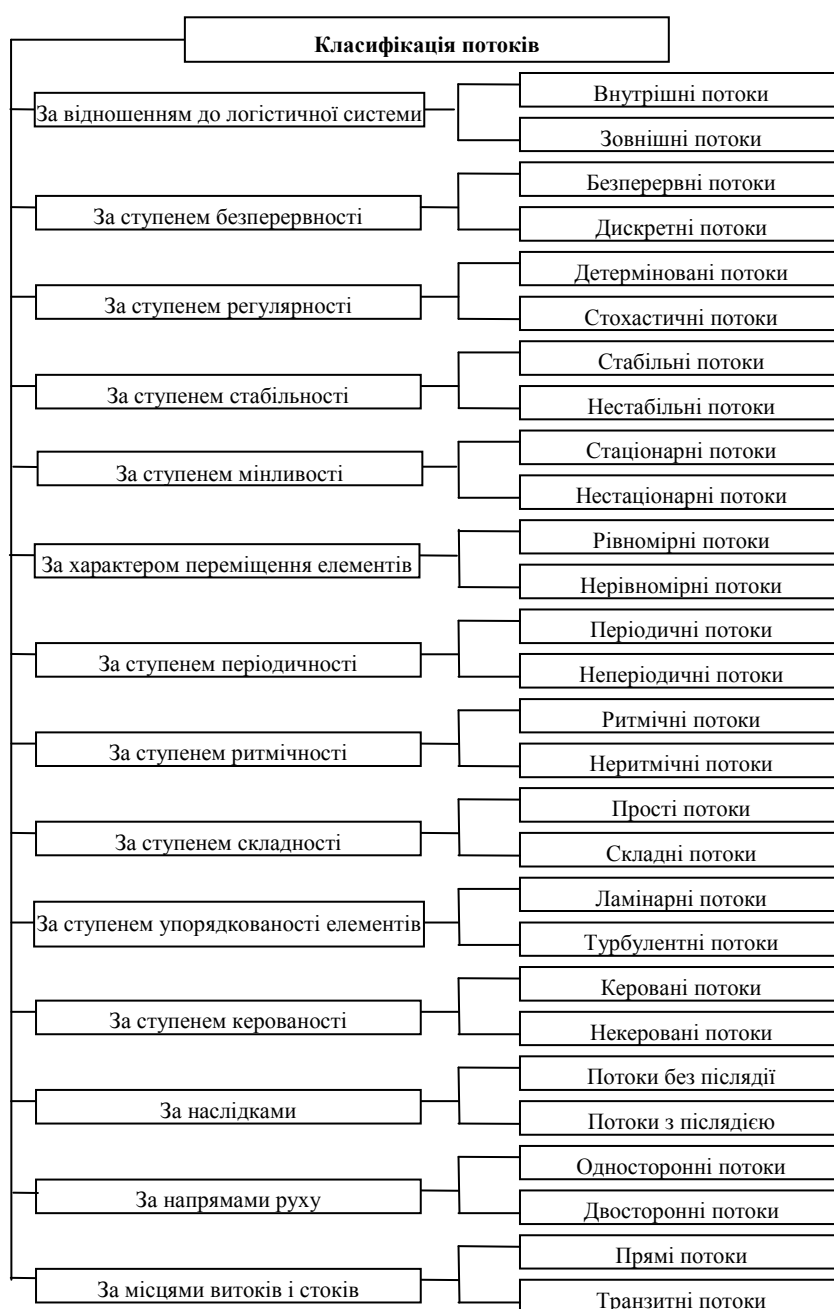


Рисунок 1.5 – Класифікація логістичних потоків

Важливою вимогою до логістичних потоків є їхня прямоточність, яка передбачає рух матеріальних об'єктів у процесі виробництва продукції лише у визначеному напрямі. Відповідним чином мають розташовуватися і робочі місця з виконання окремих операцій.

У той самий час, як свідчить аналіз, у багатьох виробничих об'єктах розташування робочих місць протягом тривалого часу складалося безсистемно, що не відповідає умові прямоточності логістичних потоків. Внаслідок цього логістичні методи становляться неефективними, суттєво ускладнюється управління матеріальними потоками, знижується продуктивність праці, виникають значні ускладнення оптимізації виробничих процесів.

На рис. 1.6 наведено приклади правильного (а) і неправильного (б) розташування робочих місць (РМ), за якого, відповідно, забезпечується і не забезпечується прямоточність логістичних потоків.

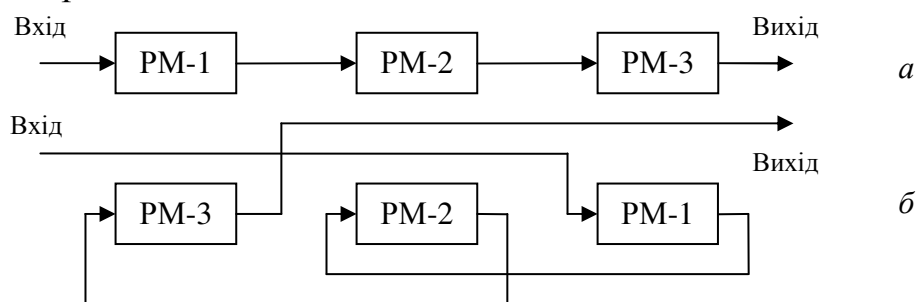


Рисунок 1.6 – Приклади правильного (а) і неправильного (б) розташування робочих місць

1.3. Конфлікти цілей при формуванні логістичних витрат

Функціонування логістичних систем супроводжується різноманітними конфліктами цілей.

На рис. 1.7 наведено приклади конфліктів цілей при формуванні логістичних витрат.

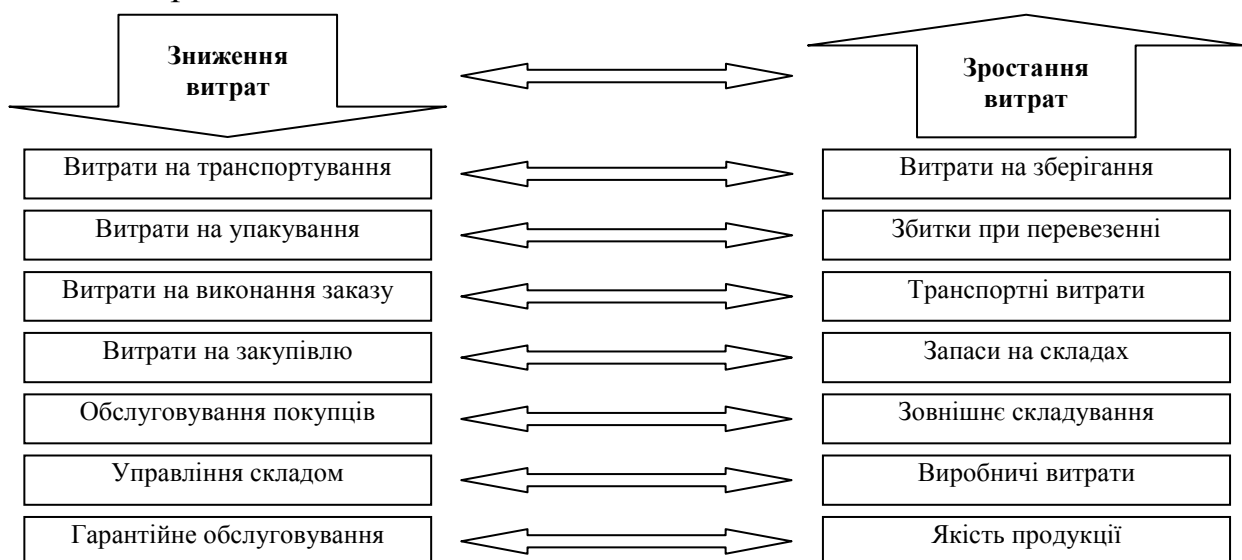


Рисунок 1.7 – Приклади конфліктів цілей при формуванні логістичних витрат

Слід підкреслити, що разом з конфліктами цілей при формуванні логістичних витрат можуть виникати і безконфліктні цілі, приклади яких наведено на рис. 1.8.

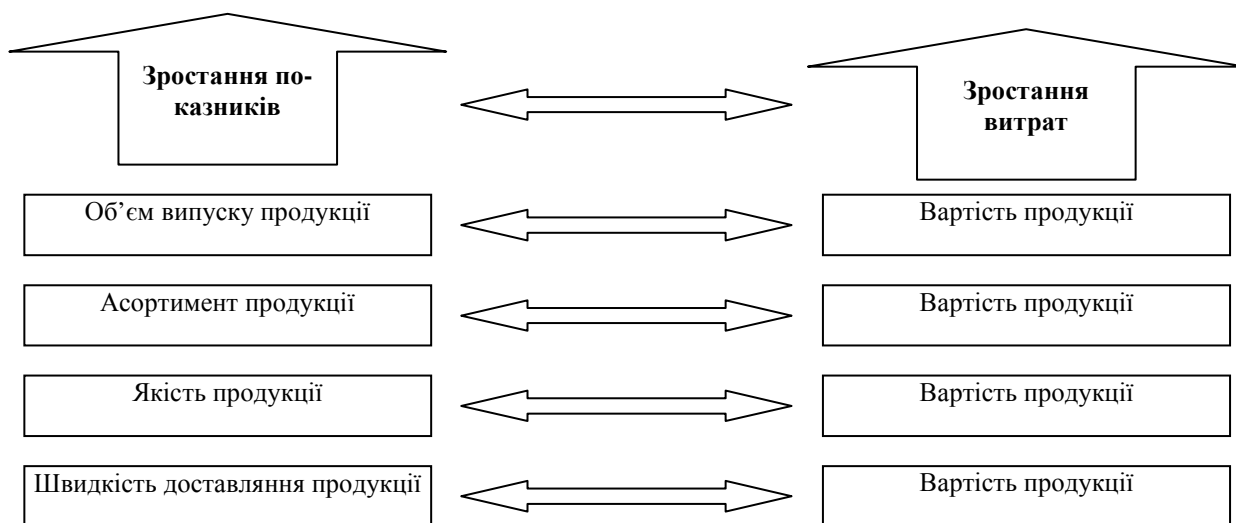


Рисунок 1.8 – Приклади безконфліктних цілей при формуванні логістичних витрат

Зазначимо, що хоча меж зростання показників продукції, наведених на рис. 1.8, практично не існує, однак існують межі реальних витрат, які готовий понести виробник за таке зростання показників продукції та очікуване зростання прибутків виробника, пов'язане зі зростанням зазначених показників продукції.

Нижче конфлікти цілей проілюстровано на прикладах одного з головних конфліктів логістики – конфлікту витрат на транспортування продукції та витрат на її зберігання.

Перш за все, необхідно зазначити глобальні закономірності зменшення витрат на транспортування партій продукції $S_{\text{тр}}(M)$ і збільшення витрат на зберігання партій продукції $S_{\text{зб}}(M)$ зі зростанням мас цих партій M .

Зменшення витрат $S_{\text{тр}}(M)$ обумовлено такими факторами, як:

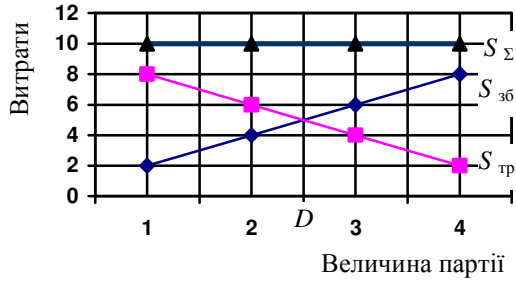
- зменшення кількості ходок (рейсів) автомобілів;
- зменшення витрат на експлуатацію автомобілів;
- зменшення вартості перевезень вантажу за рахунок заміни декількох автомобілів меншої вантажопідйомності меншою кількістю автомобілів більш великої вантажопідйомності;
- консолідація (об'єднання) перевезень різних видів продукції;
- зменшення витрат на виконання завантажувально-розвантажувальних робіт за рахунок застосування засобів механізації.

Збільшення витрат $S_{\text{зб}}(M)$ обумовлено такими чинниками, як:

- зростання витрат на складські приміщення;
- зростання витрат на складське обладнання;
- зростання витрат на електроенергію, опалення, вентиляцію тощо;
- зростання витрат на обслуговуючий персонал;

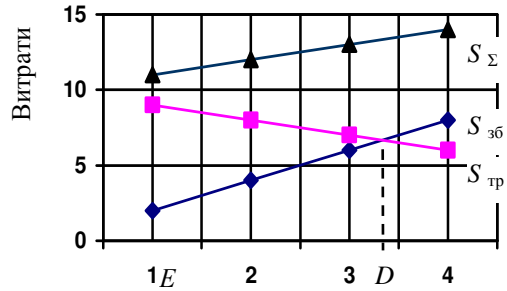
– зростання витрат на охорону і т. ін.

За таких умов відповідно до виду залежностей $S_{\text{тр}}(M)$ і $S_{\text{зб}}(M)$, сумарні витрати на транспортування і зберігання партії продукції $S_{\Sigma}(M)$ можуть виявитися постійними (рис. 1.9, а), лінійно зростаючими (рис. 1.9, б), лінійно спадаючими (рис. 1.9, в), мати мінімальне значення над точкою $S_{\text{тр}}(M) = S_{\text{зб}}(M)$ (рис. 1.9, з), справа від цієї точки (рис. 1.9, д) або зліва від неї (рис. 1.9, е).



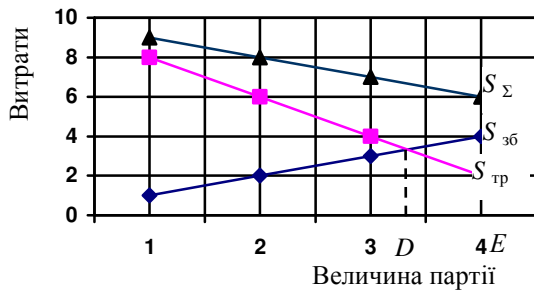
$S_{\text{зб}} = 2N; S_{\text{тр}} = 10 - 2N; S_{\Sigma} = 10;$
 $D = 2,5; E - \text{відсутня}; S_{\Sigma\text{мін}} = 10$

а



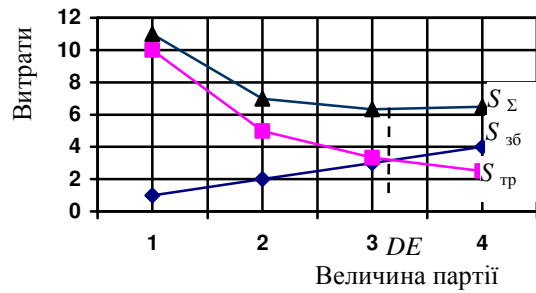
$S_{\text{зб}} = 2N; S_{\text{тр}} = 10 - N; S_{\Sigma} = 10 + N;$
 $D = 3,33; E = 1; S_{\Sigma\text{мін}} = 11$

б



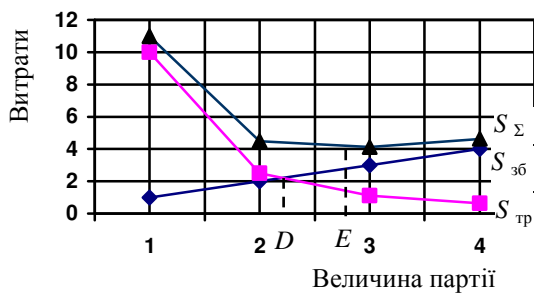
$S_{\text{зб}} = N; S_{\text{тр}} = 10 - 2N; S_{\Sigma} = 10 - N;$
 $D = 3,33; E = 4; S_{\Sigma\text{мін}} = 6$

в



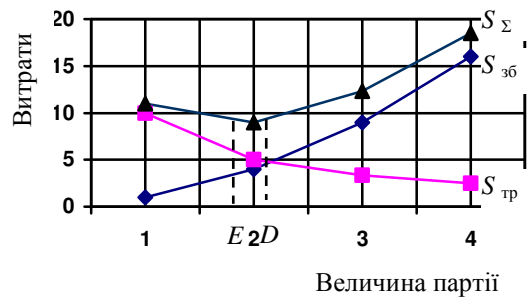
$S_{\text{зб}} = N; S_{\text{тр}} = 10 / N; S_{\Sigma} = N + 10 / N;$
 $D = E = \sqrt{10} = 3,16; S_{\Sigma\text{мін}} = 6,32$

з



$S_{\text{зб}} = N; S_{\text{тр}} = 10 / N^2; S_{\Sigma} = N + 10 / N^2;$
 $D = \sqrt[3]{10} = 2,16; E = \sqrt[3]{20} = 2,71; S_{\Sigma\text{мін}} = 4,07$

д



$S_{\text{зб}} = N^2; S_{\text{тр}} = 10 / N; S_{\Sigma} = N^2 + 10 / N;$
 $D = \sqrt[3]{10} = 2,16; E = \sqrt[3]{5} = 1,72; S_{\Sigma\text{мін}} = 8,77$

е

Рисунок 1.9 – Взаємозв'язок витрат на транспортування і зберігання партії продукції

Зауважимо, що надто поширена думка, згідно з якою точка E мінімуму сумарних витрат на транспортування і зберігання партії продукції $S_{\Sigma}(M)_{\min}$ завжди розташована над точкою D перетинання графіків $S_{\text{тр}}(M)$ і $S_{\text{зб}}(M)$, є помилковою.

Як впливає з рис. 1.9, у випадках a , b , $в$ розташування точки E взагалі не залежить від місця розташування точки D , у випадку $г$ дійсно розташована над цією точкою, у випадку $д$ розташована справа, а у випадку e – зліва від неї.

1.4. Логістичні принципи організації виробничих процесів

Процес виробництва продукції звичайно складається з послідовності виробничих операцій, що виконуються на послідовно розташованих робочих місцях.

Існує два підходи до організації виробничих процесів.

Згідно з першим підходом виробничий процес організується як послідовний. При цьому на кожному робочому місці виконується оброблення всієї оброблюваної партії продукції, а робота наступного робочого місця розпочинається після закінчення роботи попереднього робочого місця.

Перевагою такого підходу є мінімальні витрати часу на передавання оброблюваної партії продукції між робочими місцями, а недоліком – значний час, що витрачається на оброблення оброблюваної партії продукції, обумовлений тим, що в кожний момент часу оброблення зазначеної оброблюваної партії виконується лише на одному робочому місці.

Згідно з другим підходом виробничий процес організується як послідовно-паралельний. При цьому оброблювана партія продукції поділяється на декілька передавальних партій, після оброблення кожної з яких на попередньому робочому місці вона передається на оброблення до наступного робочого місця.

Перевагою такого підходу є більш ранішнє підключення до роботи чергових робочих місць і, як наслідок, скорочення загального часу оброблення оброблюваної партії продукції, а недоліком – зростання часу і витрат на передавання передавальних партій між робочими місцями.

Очевидно, що перший підхід є окремим випадком другого підходу за наявності однієї передавальної партії.

Можливі чотири способи передавання передавальних партій між робочими місцями (рис. 1.10):

– за рахунок часу, що витрачається на попередньому робочому місці (рис. 1.10, a);

– за рахунок часу, що витрачається на наступному робочому місці (рис. 1.10, b);

– за рахунок часу, що витрачається на обох робочих місцях (рис. 1.10, $в$);

– за рахунок часу, що витрачається на додатковому робочому місці, призначеному лише для передавання передавальних партій між основними робочими місцями (рис. 1.10, з).

Правою штриховкою позначений час оброблення передавальної партії на робочих місцях, лівою штриховкою – час передавання передавальної партії між робочими місцями, відсутністю штриховки – час простоювання робочих місць (PM).

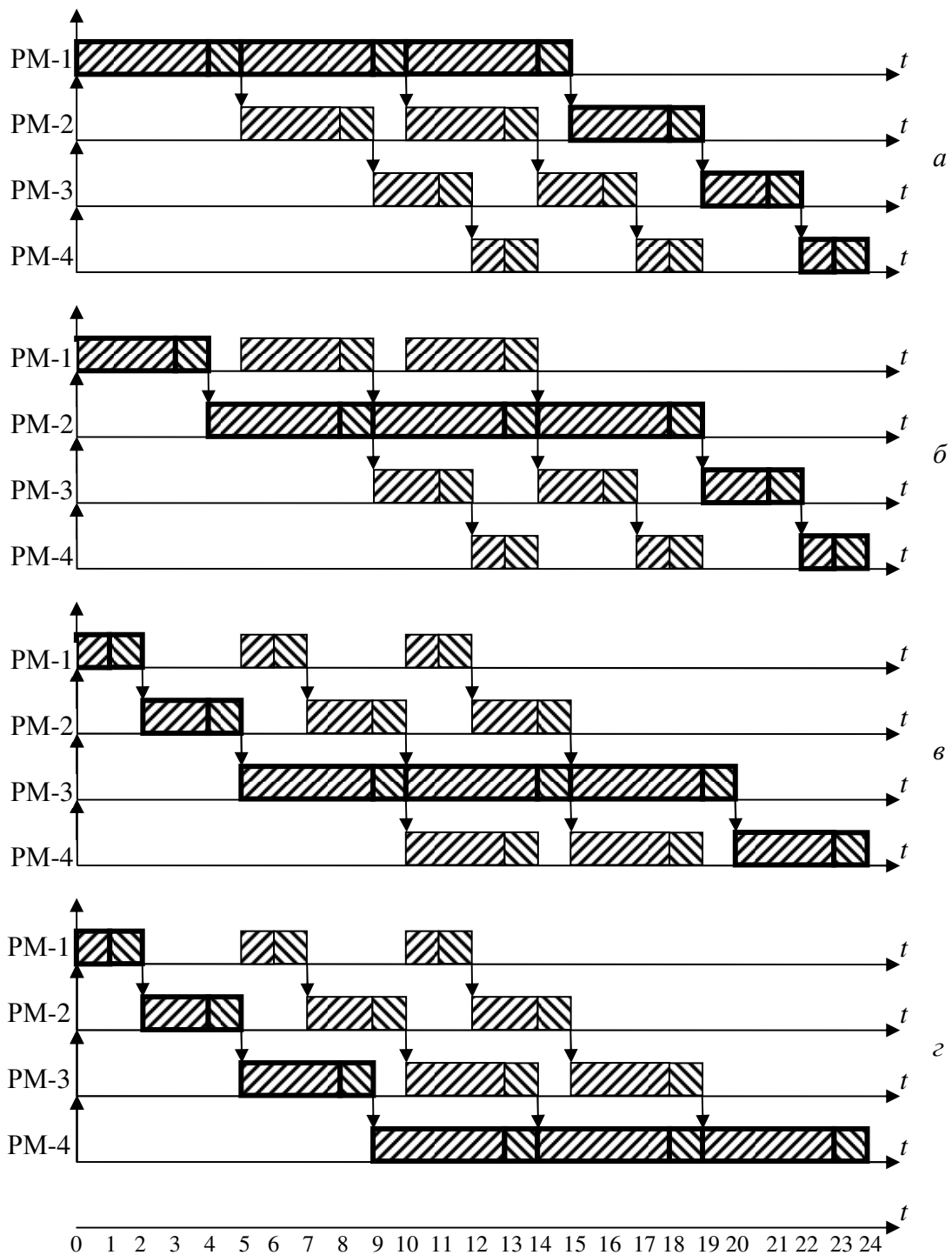


Рисунок 1.10 – Способи передавання передавальних партій між робочими місцями

Визначення сумарного часу оброблення продукції

$V_{\text{ОП}}$ – об'єм оброблюваної партії поштових одиниць;

$V_{\text{ПП}}$ – об'єм передавальної партії поштових одиниць;

$k = V_{\text{ОП}} / V_{\text{ПП}}$ – кількість передавальних партій в оброблюваній партії поштових одиниць;

n – кількість робочих місць поетапного оброблення поштових одиниць;

Q_1, Q_2, \dots, Q_n – продуктивність оброблення поштових одиниць на робочих місцях $\text{PM}_1, \text{PM}_2, \dots, \text{PM}_n$ (поштових одиниць за одиницю часу);

$T_{\text{ОП1}} = V_{\text{ОП}} / Q_1, T_{\text{ОП2}} = V_{\text{ОП}} / Q_2, \dots, T_{\text{ОПn}} = V_{\text{ОП}} / Q_n$ – час оброблення $V_{\text{ОП}}$ на $\text{PM}_1, \text{PM}_2, \dots, \text{PM}_n$;

$T_{\text{ПП1}} = V_{\text{ПП}} / Q_1, T_{\text{ПП2}} = V_{\text{ПП}} / Q_2, \dots, T_{\text{ППn}} = V_{\text{ПП}} / Q_n$ – час оброблення $V_{\text{ПП}}$ на $\text{PM}_1, \text{PM}_2, \dots, \text{PM}_n$;

$t_{\text{ПП1}}, t_{\text{ПП2}}, \dots, t_{\text{ППn}}$ – час передавання $V_{\text{ПП}}$ від PM_i до PM_{i+1} (на останньому етапі – від PM_n до накопичувача оброблених поштових одиниць);

T_{Σ} – сумарний час оброблення оброблюваної партії поштових одиниць на всіх робочих місцях і пересилання всіх $V_{\text{ПП}}$ уздовж ланцюга робочих місць

$$\begin{aligned} T_{\Sigma} &= \frac{V_{\text{П1}}}{Q_1} + t_{\text{П1}} + \frac{V_{\text{П2}}}{Q_2} + t_{\text{П2}} + \dots + \frac{V_{\text{Пn}}}{Q_n} + t_{\text{Пn}} + \max\left(\frac{V_{\text{П1}}}{Q_1} + t_{\text{П1}}, \frac{V_{\text{П2}}}{Q_2} + t_{\text{П2}}, \dots, \frac{V_{\text{Пn}}}{Q_n} + t_{\text{Пn}}\right)(k-1) = \\ &= \frac{V_{\text{П1}}}{kQ_1} + t_{\text{П1}} + \frac{V_{\text{П2}}}{kQ_2} + t_{\text{П2}} + \dots + \frac{V_{\text{Пn}}}{kQ_n} + t_{\text{Пn}} + \max\left(\frac{V_{\text{П1}}}{kQ_1} + t_{\text{П1}}, \frac{V_{\text{П2}}}{kQ_2} + t_{\text{П2}}, \dots, \frac{V_{\text{Пn}}}{kQ_n} + t_{\text{Пn}}\right)(k-1) = \\ &= \frac{T_{\text{П1}}}{k} + t_{\text{П1}} + \frac{T_{\text{П2}}}{k} + t_{\text{П2}} + \dots + \frac{T_{\text{Пn}}}{k} + t_{\text{Пn}} + \max\left(\frac{T_{\text{П1}}}{k} + t_{\text{П1}}, \frac{T_{\text{П2}}}{k} + t_{\text{П2}}, \dots, \frac{T_{\text{Пn}}}{k} + t_{\text{Пn}}\right)(k-1). \end{aligned}$$

Позначимо

$$T_{\text{ОП1}} + T_{\text{ОП2}} + \dots + T_{\text{ОПn}} = T_{\text{ОП}\Sigma}; \quad t_{\text{ПП1}} + t_{\text{ПП2}} + \dots + t_{\text{ППn}} = t_{\text{ПП}\Sigma};$$

$$\max\left(\frac{T_{\text{ОП1}}}{k} + t_{\text{ПП1}}, \frac{T_{\text{ОП2}}}{k} + t_{\text{ПП2}}, \dots, \frac{T_{\text{ОПn}}}{k} + t_{\text{ППn}}\right) = \frac{T^*_{\text{ОП}}}{k} + t^*_{\text{ПП}}$$

З урахуванням прийнятих позначень

$$T_{\Sigma} = \frac{T_{\text{ОП}\Sigma}}{k} + t_{\text{ПП}\Sigma} + \left(\frac{T^*_{\text{ОП}}}{k} + t^*_{\text{ПП}}\right)(k-1) = \frac{T_{\text{ОП}\Sigma} - T^*_{\text{ОП}}}{k} + t_{\text{ПП}\Sigma} - t^*_{\text{ПП}} + T^*_{\text{ОП}} + t^*_{\text{ПП}}k.$$

Диференціюючи отриманий вираз по k і прирівнюючи похідну нулю, знайдемо оптимальне значення $k_{\text{опт}}$, за якого T_{Σ} сягає мінімального значення

$$T'_{\Sigma} = -\frac{T_{\text{ОП}\Sigma} - T^*_{\text{ОП}}}{k^2} + t^*_{\text{ПП}} = 0;$$

$$k_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ОП}\Sigma} - T^*_{\text{ОП}}}{t^*_{\text{ПП}}}};$$

$$T_{\Sigma\text{мин}} = 2\sqrt{(T_{\text{ОП}\Sigma} - T^*_{\text{ОП}})t^*_{\text{ПП}}} + t_{\text{ПП}\Sigma} - t^*_{\text{ПП}} + T^*_{\text{ОП}}.$$

Для наведених даних

$$k_{\text{опт}} = 4,24; \quad T_{\Sigma\text{мин}} = 23,49.$$

У табл. 1.4 наведено значення T_{Σ} для різних значень k .

Таблиця 1.4 – Залежність значень T_{Σ} від значень k

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_{Σ}	34	26	24	23,5	23,6	24	24,6	25,3	26

Як випливає з табл. 1.4, мінімальне значення часу оброблення оброблюваної партії поштових одиниць $T_{\Sigma \min} = 23,5$ досягається при $k_{\text{опт}} = 4$.

Для скорочення простоїв робочих місць на крупних виробництвах застосовується поточне оброблення продукції, за якого за рахунок упровадження паралельних робочих місць час оброблення передавальної партії на всіх робочих місцях збігається.

На рис. 1.11 наведено ілюстрацію організації поточного оброблення продукції для вихідних даних, використаних на рис. 1.10.

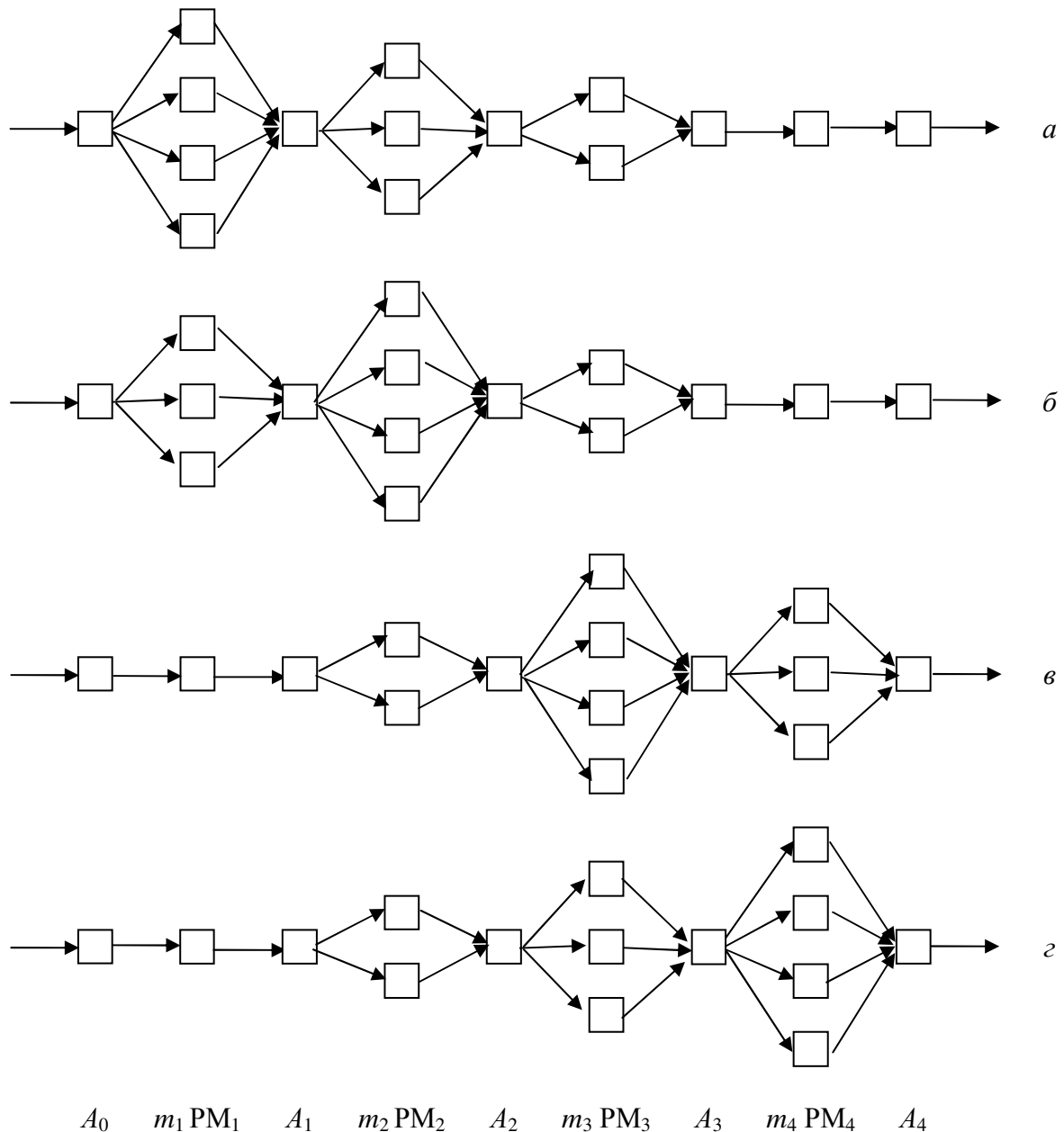


Рисунок 1.11 – Ілюстрація організації поточного оброблення продукції

Для збирання обробленої продукції з виходів попередніх робочих місць та її передавання на оброблення до входів наступних робочих місць між усіма робочими місцями, а також на вході і на виході застосовано накопичувачі продукції $A_0 - A_4$.

1.5. Логістичні принципи управління запасами

Запаси забезпечують стійкість виробничих процесів, дозволяють знизити ризики, пов'язані з несвоєчасним постачанням компонентів випусканої продукції.

Японці порівнюють запаси з рівнем води (рис. 1.12).

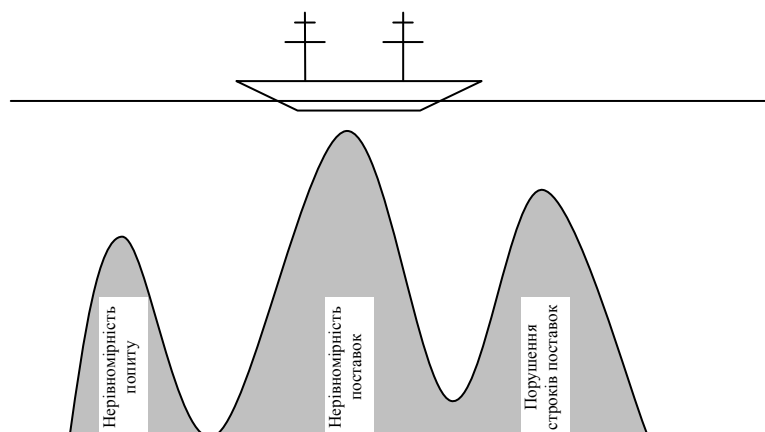


Рисунок 1.12 – Порівняння запасів з рівнем води

При підйомі рівня води плавання стає спокійним, знижується ризик, не потрібний досвідчений лоцман. Збільшений запас подібно рівню води знімає багато проблем з управління підприємством (кораблем).

Запаси виникають на різних етапах виробництва і мають різне призначення.

Класифікацію запасів наведено на рис. 1.13.

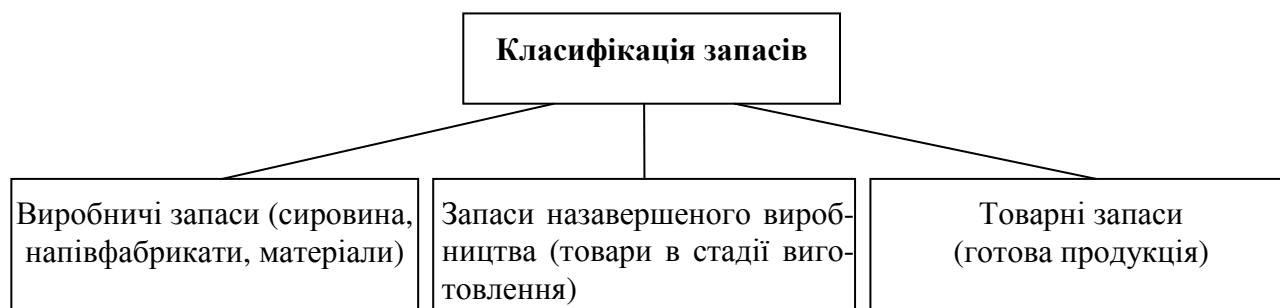


Рисунок 1.13 – Класифікація запасів

Фактори, що визначають величини запасів, наведено на рис. 1.14.



Рисунок 1.14 – Фактори, що визначають величини запасів

У залежності від значень інтервалів часу й об'ємів поставок можливі чотири моделі управління запасами (рис. 1.15).

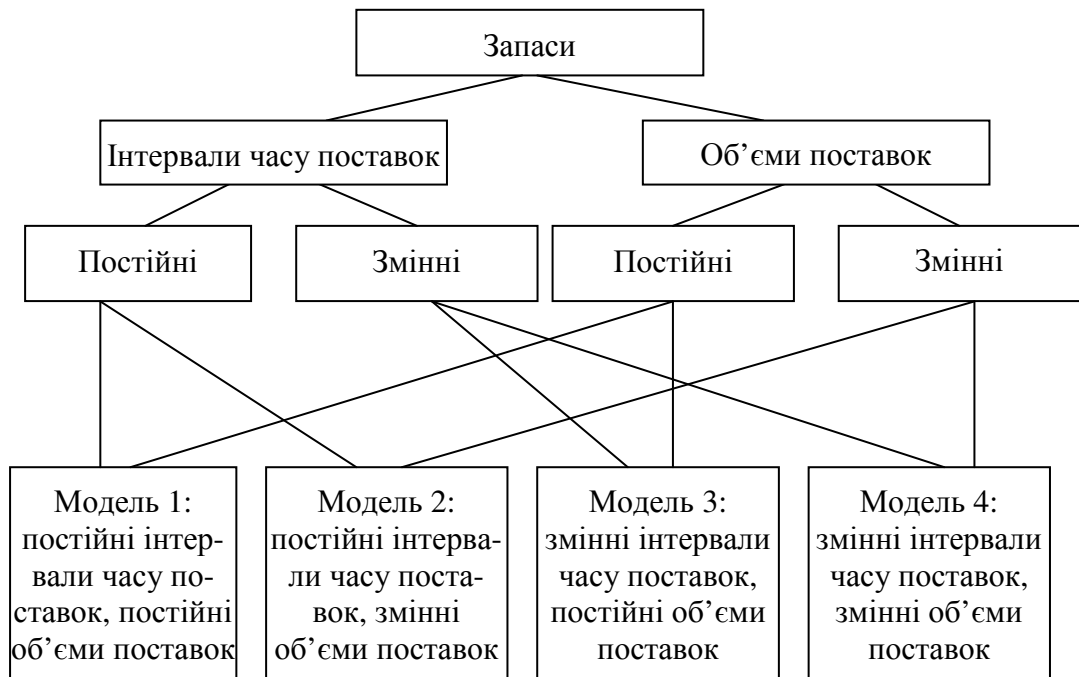


Рисунок 1.15 – Моделі управління запасами

На рис. 1.16 наведено графічні ілюстрації моделей управління запасами.

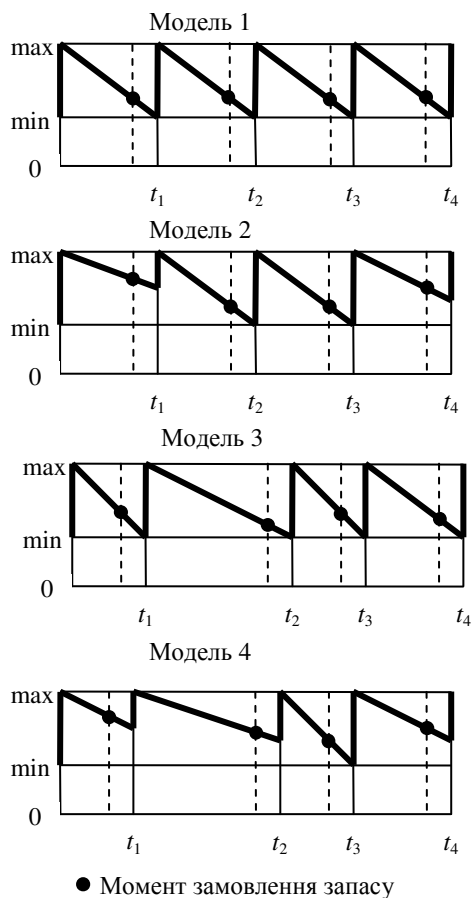


Рисунок 1.16 – Графічні ілюстрації моделей управління запасами

В усіх моделях проміжок часу між моментом замовлення запасу і моментом його надходження визначається часом транспортування запасу від постачальника до замовника.

Важливе значення в усіх моделях має визначення моменту замовлення запасу (компонентів випусканої продукції).

Загальний підхід до визначення моменту замовлення запасу ілюструється на рис. 1.17.

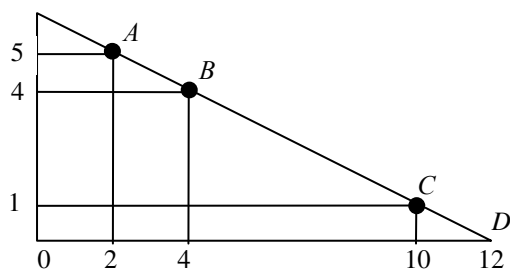


Рисунок 1.17 – Визначення моменту замовлення запасу

Визначення моменту замовлення запасу включає наступні дії:

1. Запис рівняння прямої, що проходить через довільні точки А і В

$$\frac{y - y_B}{y_A - y_B} = \frac{x - x_B}{x_A - x_B}; \frac{y - 4}{5 - 4} = \frac{x - 4}{2 - 4}; 2y + x - 12 = 0.$$

2. Знаходження значення моменту поставки запасу x_D

$$2 \cdot 0 + x_D - 12 = 0; x_D = 12.$$

3. Знаходження значення моменту замовлення запасу x_C при заданому значенні часу Δt транспортування запасу ($\Delta t = 2$)

$$x_C = x_D - 2; x_C = 10.$$

4. Знаходження значення запасу y_C в момент замовлення

$$2 y_C + x_C - 12 = 0; y_C = 1.$$

Значення максимального і мінімального запасів на рис. 1.16 визначаються виходячи з того, що різниця між максимальним і мінімальним запасами повинна забезпечувати потреби виробничого процесу між двома сусідніми моментами надходження запасів від постачальника до замовника за умов відсутності додаткових затримок такого надходження, а мінімальний запас повинен забезпечувати потреби виробничого процесу за умов наявності зазначених додаткових затримок.

На рис. 1.18 наведено ілюстрацію чотирьох можливих варіантів додаткових затримок Δt_3 надходження запасів від постачальників до замовників.

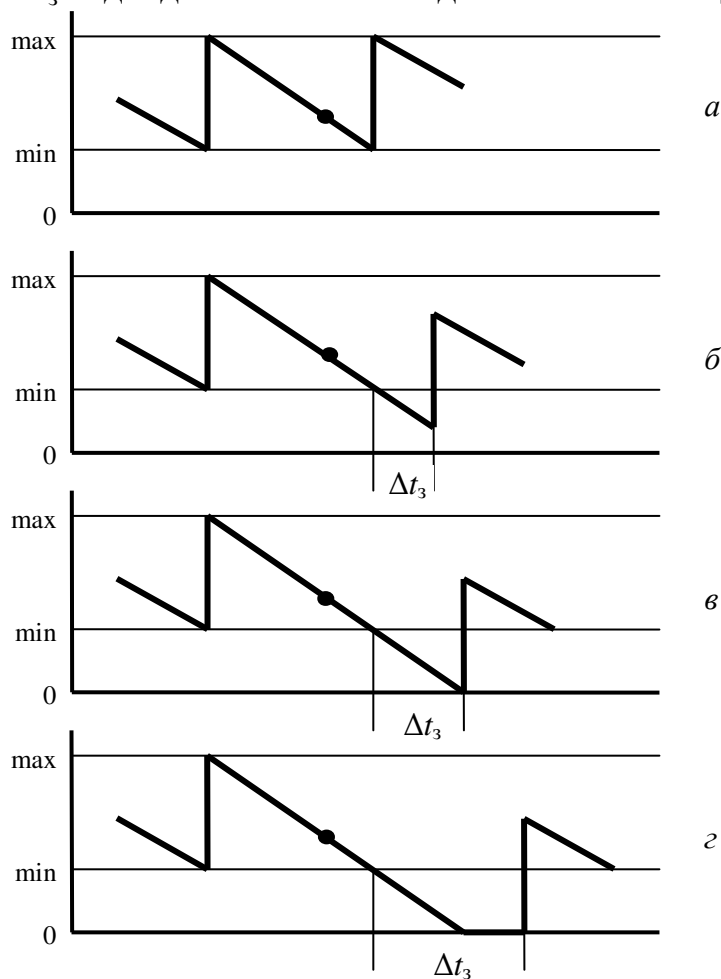


Рисунок 1.18 – Ілюстрація чотирьох можливих варіантів додаткових затримок надходження запасів від постачальників до замовників

У варіанті *a* додаткова затримка відсутня. Виробничий процес забезпечується без використання мінімального запасу.

У варіанті *b* додаткова затримка менше критичної. Виробничий процес забезпечується за рахунок часткового використання мінімального запасу.

У варіанті *v* додаткова затримка має критичне значення. Виробничий процес забезпечується за рахунок повного використання мінімального запасу.

У варіанті *z* додаткова затримка перевищує критичне значення. Виробничий процес після повного використання мінімального запасу зупиняється.

Оскільки замовник не зацікавлений у створенні надмірних запасів, реально мінімальний запас визначається виходячи з урахування можливих затримок надходження запасу від постачальника до замовника в звичайних умовах, але без урахування зазначених затримок у надзвичайних ситуаціях.

1.6. Логістичні принципи складування продукції

Логістичні склади знаходять усе більш широке розповсюдження в різних областях виробництва, торгівлі і сфери послуг, у тому числі в поштовому зв'язку. Виконуючи роль посередників між постачальниками і споживачами продукції, логістичні склади беруть на себе функції укладання договорів з постачальниками продукції відповідно до заяв споживачів або на основі вивчення споживчого попиту, виконання завантажувально-розвантажувальних робіт, перевезення продукції від постачальників до складу, зберігання, сортування, обліку, формування відправок і перевезення продукції від складу до споживачів, звільняючи тим самим споживачів від необхідності устанавлювати індивідуальні зв'язки з постачальниками продукції та суттєво скорочуючи транспортні витрати, пов'язані з її перевезенням.

Сучасні склади виконують різноманітні функції, основні з яких наведено на рис. 1.19.



Рисунок 1.19 – Функції складів

Численні функції складів, великі номенклатура й об'єми продукції, що в них зберігаються, зв'язки з багатьма постачальниками і замовниками продукції перетворюють сучасні склади на самостійні логістичні підприємства.

На рис. 1.20 наведено схеми зв'язків між постачальниками і замовниками продукції за умов відсутності складів (*a*), наявності одного складу (*б*) або наявності декількох складів (*в*).

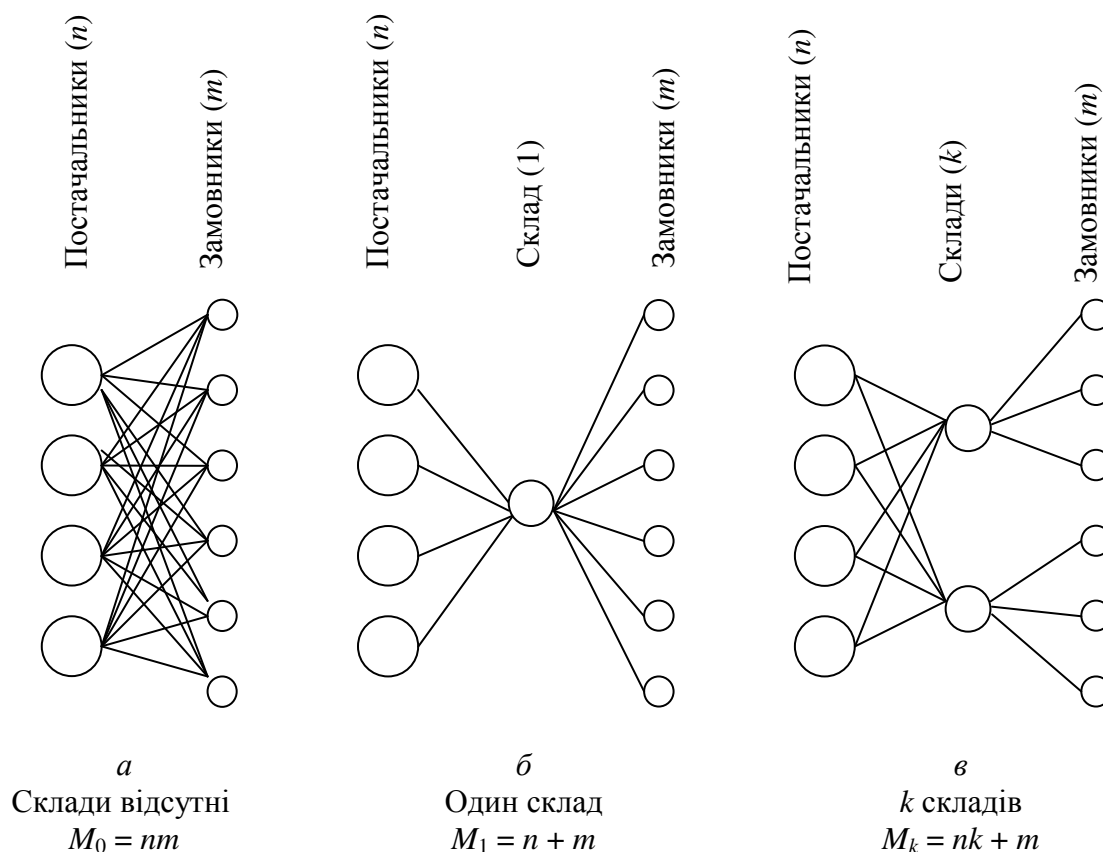


Рисунок 1.20 – Схеми зв'язків між постачальниками і замовниками продукції

За умов відсутності складів (рис. 1.20, а) кількість зв'язків (транспортних маршрутів) між n постачальниками і m замовниками продукції складає $M_0 = nm$; за наявності одного складу (рис. 1.20, б) – $M_1 = n + m$; за наявності k складів (рис. 1.20, в) $M_k = nk + m$.

Зазначимо, що хоча за наявності декількох складів кількість зв'язків між постачальниками і замовниками продукції порівняно з наявністю одного складу зростає, існує така кількість складів, за наявності якої при їхньому оптимальному розташуванні досягається мінімум вантажоперевезень або мінімум сумарної протяжності транспортних маршрутів.

Таким чином, виникає задача знаходження місця розташування складу, оптимального за тим чи іншим критерієм.

Постановка задачі

Існує k видів продукції, що поставляються n постачальниками відповідно до матриці постачання $\|u_{ij}\|$ ($i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n$), елемент $\|u_{ij}\|$ якої представляє об'єм продукції i , що надходить від постачальника j (рис. 1.21, а) і призначений m замовникам відповідно до матриці замовлення ($i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m$), елемент v_{ij} якої представляє об'єм продукції i , що направляється замовнику j (рис. 1.21, б).

Види продукції	Постачальники			
	1	2	...	n
1	u_{11}	u_{12}	...	u_{1n}
2	u_{21}	u_{22}	...	u_{2n}
...
k	u_{k1}	u_{k2}	...	u_{kn}
Усього	U_1	U_2	...	U_n

a

Види продукції	Замовники			
	1	2	...	m
1	v_{11}	v_{12}	...	v_{1m}
2	v_{21}	v_{22}	...	v_{2m}
...
k	v_{k1}	v_{k2}	...	v_{km}
Усього	V_1	V_2	...	V_m

*б*Рисунок 1.21 – Матриці постачання (*a*) і замовлення (*б*) продукції

Відповідно до дотримання балансу постачання і замовлення продукції сума елементів рядка i матриці постачання дорівнює сумі елементів рядка i матриці замовлення

$$\sum_{j=1}^n u_{ij} = \sum_{j=1}^m v_{ij}.$$

Сума елементів стовпця j матриці постачання визначає об'єм продукції всіх видів, що постачається постачальником j , а сума елементів стовпця j матриці замовлення – об'єм продукції усіх видів, що направляється споживачу j

$$\sum_{i=1}^k u_{ij} = U_j; \quad \sum_{i=1}^k v_{ij} = V_j.$$

Сума всіх елементів матриці постачання дорівнює сумі всіх елементів матриці замовлення

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n u_{ij} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m v_{ij}.$$

Позначимо відстані між складом і постачальниками продукції через $p_{01}, p_{02}, \dots, p_{0n}$, а відстані між складом і замовниками продукції – через $q_{01}, q_{02}, \dots, q_{0m}$.

Тоді об'єм перевезень складе

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k u_{i1} p_{01} + \sum_{i=1}^k u_{i2} p_{02} + \dots + \sum_{i=1}^k u_{in} p_{0n} + \sum_{i=1}^k v_{i1} q_{01} + \sum_{i=1}^k v_{i2} q_{02} + \dots + \sum_{i=1}^k v_{im} q_{0m} = \\ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n u_{ij} p_{0j} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m v_{ij} q_{0j}. \end{aligned}$$

Необхідно знайти таке місце розташування складу, за якого досягається мінімум загального об'єму перевезень продукції від постачальників продукції до складу і від складу до замовників продукції

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n u_{ij} p_{0j} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m v_{ij} q_{0j} = \min.$$

Зважаючи, що з точки зору мінімізації об'єму перевезень продукції напрямки перевезення не мають значення, об'єднаємо обидві складові перевезень і подамо їх у виді

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^s w_{ij} r_{0j} = \sum_{j=1}^s W_j r_{0j} = \min,$$

де

$$s = n + m;$$

$$w_{ij} = \begin{cases} u_{ij} & \text{при } 1 \leq j \leq n \\ v_{ij} & \text{при } n + 1 \leq j \leq s \end{cases} ;$$

$$W_j = \begin{cases} U_j & \text{при } 1 \leq j \leq n \\ V_j & \text{при } n + 1 \leq j \leq s \end{cases} ;$$

$$r_{0j} = \begin{cases} p_{0j} & \text{при } 1 \leq j \leq n \\ q_{0j} & \text{при } n + 1 \leq j \leq s \end{cases} .$$

Тепер місця розташування постачальників і замовників продукції можна розглядати як точки з координатами $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_s, y_s)$, у яких зосереджені маси продукції, а місце розташування складу – як точку з координатами (x_0, y_0) .

Можна зазначити декілька можливих варіантів місць розташування складу, оптимальних за тими або іншими критеріями:

- розташування складу в центрі мас зважених точок $T_1(W_1), T_2(W_2), \dots, T_s(W_s)$ за відсутності обмежень на напрями перевезень;
- розташування складу в геометричному центрі точок T_1, T_2, \dots, T_s за відсутності обмежень на напрями перевезень;
- розташування складу в центрі мас зважених точок $T_1(W_1), T_2(W_2), \dots, T_s(W_s)$ за наявності обмежень на напрями перевезень;
- розташування складу в геометричному центрі точок T_1, T_2, \dots, T_s за наявності обмежень на напрями перевезень.

Зазначимо, що розташуванню складу в центрі мас зважених точок (тобто з урахуванням мас продукції) відповідає мінімізація вантажовідстаней, що характерно для перевезень великих вантажів, тоді як розташування складу в геометричному центрі точок (тобто без урахування мас продукції) відповідає мінімізації машиновідстаней або сумарної протяжності транспортних маршрутів, що характерно для перевезень малих вантажів.

Розглянемо знаходження координат місця розташування складу в усіх наведених випадках.

На рис. 1.22 наведено приклад розташування складу в центрі мас мережі перевезень.

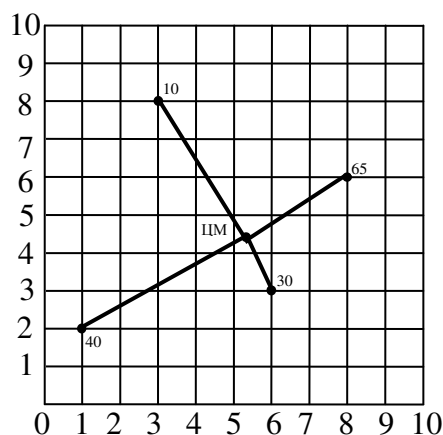


Рисунок 1.22 – Приклад розташування складу в центрі мас мережі перевезень

Координати центру мас мережі перевезень $x_{\text{ЦМ}}$ і $y_{\text{ЦМ}}$ розраховуються за формулами

$$x_{\text{ЦМ}} = \frac{x_1 W_1 + x_2 W_2 + \dots + x_s W_s}{W_1 + W_2 + \dots + W_s};$$

$$y_{\text{ЦМ}} = \frac{y_1 W_1 + y_2 W_2 + \dots + y_s W_s}{W_1 + W_2 + \dots + W_s},$$

де $x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_s, y_s$ – координати місць розташування постачальників і замовників продукції;

W_1, W_2, \dots, W_s – маси продукції, що перевозяться між складом та постачальниками і замовниками продукції.

На рис. 1.22 $x_1 = 1, y_1 = 2, W_1 = 40; x_2 = 3, y_2 = 8, W_2 = 10; x_3 = 6, y_3 = 3, W_3 = 30; x_4 = 8, y_4 = 6, W_4 = 65$.

Виходячи з цього

$$x_{\text{ЦМ}} = \frac{1 \cdot 40 + 3 \cdot 10 + 6 \cdot 30 + 8 \cdot 65}{40 + 10 + 30 + 65} = \frac{770}{145} = 5,31;$$

$$y_{\text{ЦМ}} = \frac{2 \cdot 40 + 8 \cdot 10 + 3 \cdot 30 + 6 \cdot 65}{40 + 10 + 30 + 65} = \frac{640}{145} = 4,41.$$

При цьому відстані між центром мас (5,31; 4,41) і точками розташування постачальників і споживачів продукції (1; 2); (3; 8); (6; 3); (8; 6) складають відповідно 4,938; 4,269; 1,570; 3,125, а сума вантажовідстаней

$$4,938 \cdot 40 + 4,269 \cdot 10 + 1,570 \cdot 30 + 3,125 \cdot 65 = 490,42.$$

На рис. 1.23 наведено приклад розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень (координати місць розташування постачальників і замовників продукції збігаються з зазначеними на рис. 1.22).

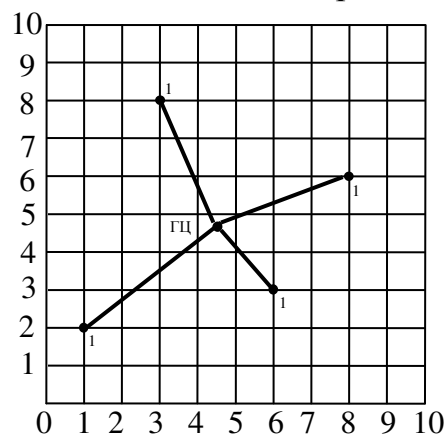


Рисунок 1.23 – Приклад розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень

Координати геометричного центру мережі перевезень $x_{\text{ГЦ}}$ і $y_{\text{ГЦ}}$ розраховуються за формулами

$$x_{\text{ГЦ}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_s}{s};$$

$$y_{\text{ГЦ}} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_s}{s}.$$

Для даних рис. 1.23

$$x_{ГЦ} = \frac{1+3+6+8}{4} = \frac{18}{4} = 4,50;$$

$$y_{ГЦ} = \frac{2+8+3+6}{4} = \frac{19}{4} = 4,75.$$

Зазначимо, що формули для визначення координат $x_{ГЦ}$ і $y_{ГЦ}$ впливають з формул для визначення $x_{ЦМ}$ і $y_{ЦМ}$ шляхом надання масам продукції, що перевозяться між складом та постачальниками і замовниками, одиничних значень.

При цьому відстані між геометричним центром (4,50; 4,75) і точками розташування постачальників і замовників продукції (1; 2); (3; 8); (6; 3); (8; 6) складають відповідно 4,45; 4,98; 2,30; 3,72, а сума машиновідстаней $4,45 + 3,58 + 2,30 + 3,72 = 14,05$.

На рис. 1.24 наведено приклад розташування складу в центрі мас мережі перевезень за наявності обмежень на напрями перевезень (міські квартали) з дозволеними напрями перевезень лише по горизонталях і вертикалях.

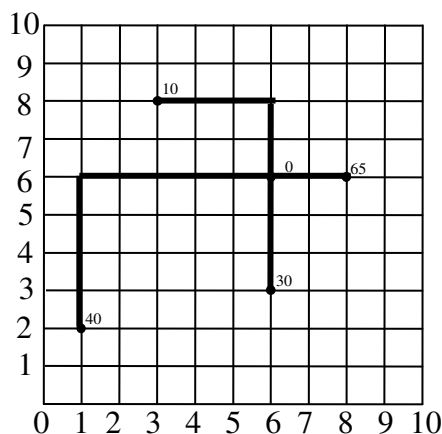


Рисунок 1.24 – Приклад розташування складу в центрі мас мережі перевезень за наявності обмежень на напрями перевезень

Центр мас зважених точок (розташування і маси зважених точок збігаються з рис. 1.22), як впливає з подальшого, знаходиться в точці з координатами (6; 6).

Відстані між центром мас (6; 6) і точками розташування постачальників і замовників продукції (1; 2); (3; 8); (6; 3); (8; 6) складають відповідно 9; 5; 3; 2, а сума вантажовідстаней $9 \cdot 40 + 5 \cdot 10 + 3 \cdot 30 + 2 \cdot 65 = 630$, що на 139,58 вантажовідстаней перевищує абсолютний мінімум 490,42.

Для знаходження центру мас зважених точок за наявності обмежень на напрями перевезень (міські квартали) доцільно скористатися методом спрямованого пошуку, сутність якого полягає в тому, що в такій мережі від довільної початкової точки $T(x; y)$ існує лише чотири можливі напрями змін її координат, наведених на рис. 1.25.

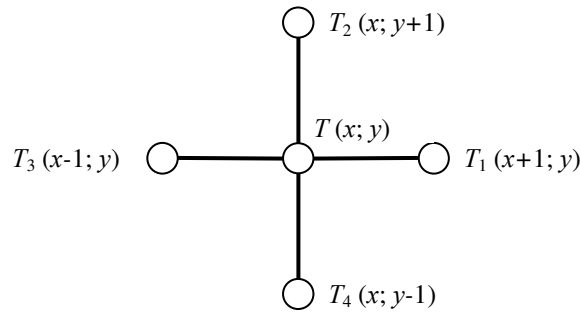


Рисунок 1.25 – Можливі напрями змін координат точки (міські квартали)

При пошуку координат центру мас зважених точок (міські квартали) зміну поточних координат центру мас слід робити в тому з напрямів T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , де сума вантажовідстаней зменшується (таких напрямів може бути 0, 1 або 2). Збільшення суми вантажовідстаней на всіх напрямках змін координат свідчить про знаходження точки T в центрі мас зважених точок.

У табл. 1.5 наведено послідовність кроків знаходження центру мас зважених точок рис. 1.24. Як початкову прийнято точку $T(5;4)$, координати якої є округленими значеннями координат центру мас (див. рис. 1.22).

Таблиця 1.5 – Послідовність кроків знаходження центру мас зважених точок (міські квартали)

Крок	Напрямок	Поточні координати	Вантажовідстані	Примітки
0	-	5; 4	$6 \cdot 40 + 6 \cdot 10 + 2 \cdot 30 + 5 \cdot 65 = 685$	Початкове значення
1	T_1	6; 4	$7 \cdot 40 + 7 \cdot 10 + 1 \cdot 30 + 4 \cdot 65 = 640$	Напрямок T_1 приймається
2	T_1	7; 4	$8 \cdot 40 + 8 \cdot 10 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 65 = 655$	Вертикаль центру мас ($x = 6$) визначена. Повернення в точку (6; 4)
3	T_2	6; 5	$8 \cdot 40 + 6 \cdot 10 + 2 \cdot 30 + 3 \cdot 65 = 635$	Напрямок T_2 приймається
4	T_2	6; 6	$9 \cdot 40 + 5 \cdot 10 + 3 \cdot 30 + 2 \cdot 65 = 630$	Напрямок T_2 приймається
5	T_2	6; 7	$10 \cdot 40 + 4 \cdot 10 + 4 \cdot 30 + 3 \cdot 65 = 755$	Горизонталь центру мас ($y = 6$) визначена. Повернення в точку (6; 6)

Таким чином, точка (6; 6) є центром мас зважених точок рис. 1.24, а отримане значення вантажовідстаней 630 – мінімальним.

На рис. 1.26 наведено приклад розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень за наявності обмежень на напрями перевезень (міські квартали) тим самим методом, що і при знаходженні центру мас зважених точок (міські квартали).

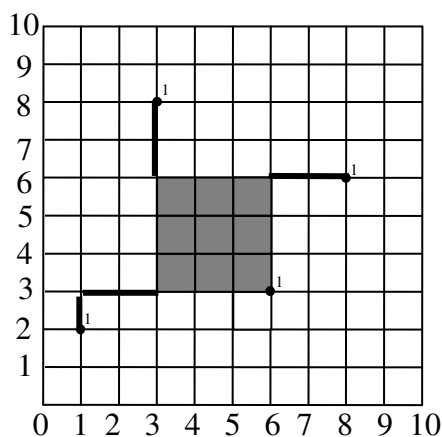


Рисунок 1.26 – Приклад розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень за наявності обмежень на напрями перевезень

При цьому може існувати деяка область значень координат геометричного центру точок (як, втім, і область значень координат центру мас зважених точок), у виді прямокутника або лінії, в якій значення машиновідстаней (вантажовідстаней) мають мінімальні значення. У ряді випадків може виявитися корисним знаходження меж зазначеної області, наприклад, для більш обгрунтованого вибору місця розташування складу.

У табл. 1.6 наведено послідовність кроків знаходження меж області значень координат геометричного центру точок. Як початкова взята та сама точка $T(5; 4)$, що і в попередньому прикладі.

Таблиця 1.6 – Послідовність кроків знаходження меж області значень координат геометричного центру точок

Крок	Напря́м	Поточні координати	Машиновідстані	Примітки
0	-	5; 4	$6 + 6 + 2 + 5 = 19$	Початкове значення
1	T_1	6; 4	$7 + 7 + 1 + 4 = 19$	Напря́м T_1 приймається
2	T_1	7; 4	$8 + 8 + 2 + 3 = 21$	Права вертикаль ($x = 6$) області визначена. Повернення в точку (5; 4)
3	T_2	5; 5	$7 + 5 + 3 + 4 = 19$	Напря́м T_2 приймається
4	T_2	5; 6	$8 + 4 + 4 + 3 = 19$	Напря́м T_2 приймається
5	T_2	5; 7	$9 + 3 + 5 + 4 = 21$	Верхня горизонталь ($y = 6$) області визначена. Повернення в точку (5; 4)
6	T_3	4; 4	$5 + 5 + 3 + 6 = 19$	Напря́м T_3 приймається
7	T_3	3; 4	$4 + 4 + 4 + 7 = 19$	Напря́м T_3 приймається
8	T_3	2; 4	$3 + 5 + 5 + 8 = 21$	Ліва вертикаль ($x = 3$) області визначена. Повернення в точку (5; 4)
9	T_4	5; 3	$5 + 7 + 1 + 6 = 19$	Напря́м T_4 приймається
10	T_4	5; 2	$4 + 8 + 2 + 7 = 21$	Нижня горизонталь ($y = 3$) області визначена. Усі межі області визначені

Як впливає з табл. 1.6, область можливих значень координат центру точок рис. 1.26 обмежена вертикалями $x = 3$; $x = 6$ і горизонталями $y = 3$; $y = 6$.

При знаходженні координат геометричного центру точок усередині зазначеної області (включаючи граничні значення) забезпечується мінімальне значення машиновідстаней 19, що на 4,95 більше абсолютного мінімуму.

На закінчення зазначимо, що на практиці задача оптимізації місця розташування логістичного складу ставиться в більш простій постановці, а саме як задача вибору найкращого з декількох можливих місць розташування логістичного складу при відомих відстанях між місцями знаходження постачальників і замовників продукції та згаданими можливими місцями розташування складу.

Розв'язання задачі зводиться до розрахунку сумарних вантажовідстаней або сумарних машиновідстаней для кожного можливого місця розташування складу і вибору серед них місця, в якому зазначені вантажовідстані або машиновідстані мінімальні.

1.7. Підштовхувані й підтягувані логістичні системи

У залежності від напрямку ініціювання матеріального потоку логістичні системи поділяються на підштовхувані й підтягувані.

У підштовхуваних системах (push sistem) матеріальний потік з виходу поточного робочого місця ініціює потік на вході наступного робочого місця, тобто, продукція, що вироблена на поточному робочому місці, підштовхує вироблення продукції на наступному робочому місці.

У підтягуваних системах (pull sistem) матеріальний потік із входу поточного робочого місця ініціює потік на виході попереднього робочого місця, тобто, продукція, що вироблена на поточному робочому місці, підтягує вироблення продукції на попередньому робочому місці.

На рис. 1.27 наведено ілюстрацію роботи підштовхуваної логістичної системи.

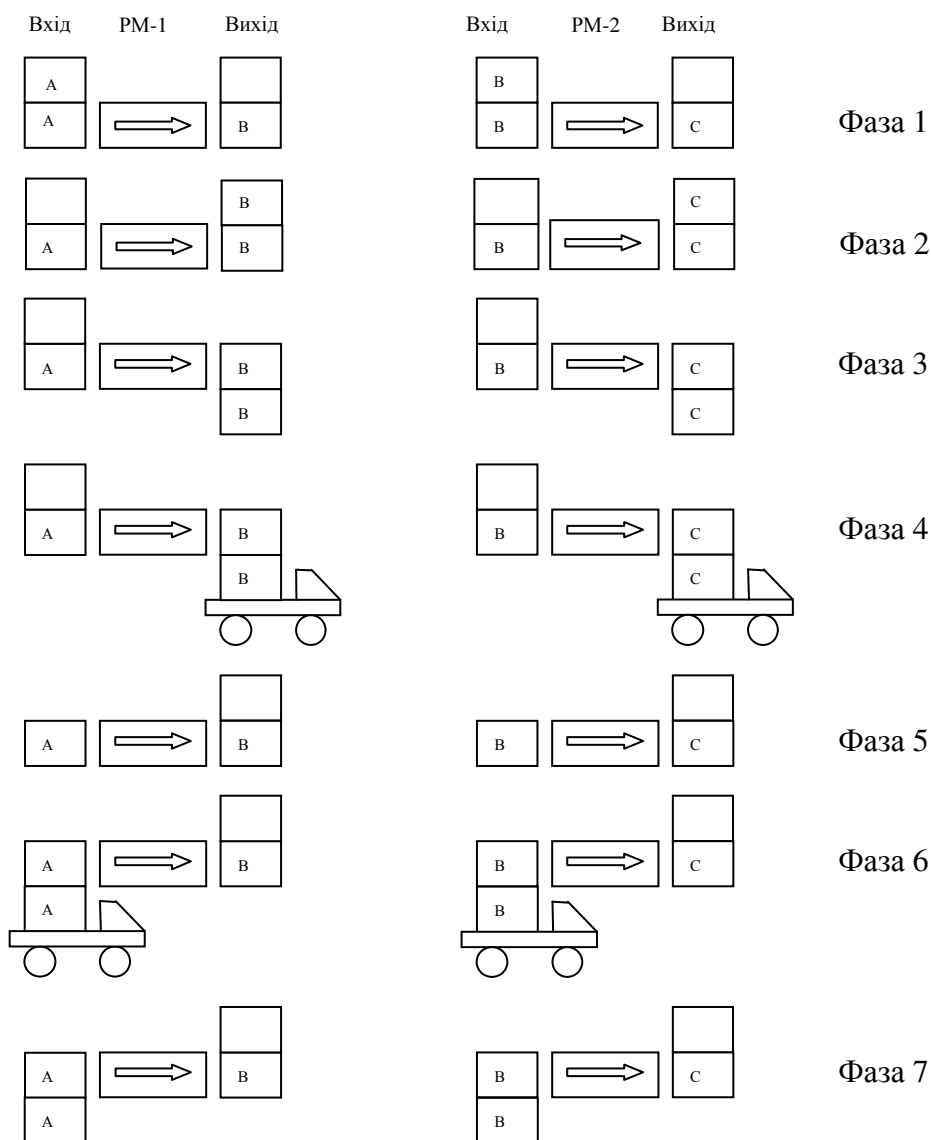


Рисунок 1.27 – Ілюстрація роботи підштовхуваної логістичної системи

На рис. 1.27 зазначені два робочі місця РМ-1, РМ-2, кожне з яких містить два контейнери на вході і два контейнери на виході. З двох вхідних і двох вихідних контейнерів на кожному робочому місці один – оперативний, а інший – резервний (страховий).

Для забезпечення безпеки робочих завантаження і розвантаження контейнерів здійснюється в зонах транспортування, що примикають до входів і до виходів згаданих робочих місць.

На РМ-1 виробляється продукція *B* з продукції *A*, на РМ-2 – продукція *C* з продукції *B*.

Робота підштовхуваної системи включає сім фаз.

Початкове становище.

На вході РМ-1 – два заповнені контейнери з продукцією *A*; на виході РМ-1 – один заповнений контейнер з продукцією *B*, один порожній контейнер для продукції *B*.

На вході РМ-2 – два заповнені контейнери з продукцією *B*; на виході РМ-2 – один заповнений контейнер з продукцією *C*, один порожній контейнер для продукції *C*.

Фаза 1.

Робочий РМ-1 виконує свою основну роботу по виробленню продукції *B* з продукції *A*.

Робочий РМ-2 виконує свою основну роботу по виробленню продукції *C* з продукції *B*.

Фаза 2.

Робочий РМ-1 закінчує свою основну роботу: контейнер *A* на вході – порожній, контейнер *B* на виході – заповнений.

Робочий РМ-2 закінчує свою основну роботу: контейнер *B* на вході – порожній, контейнер *C* на виході – заповнений.

Фаза 3.

Робочий РМ-1 переміщує заповнений контейнер *B* до зони транспортування біля виходу РМ-1.

Робочий РМ-2 переміщує заповнений контейнер *C* до зони транспортування біля виходу РМ-2.

Фаза 4.

Транспортувальник-1 перевозить заповнений контейнер *B* від зони транспортування біля виходу РМ-1 до зони транспортування біля входу РМ-2.

Транспортувальник-2 перевозить заповнений контейнер *C* від зони транспортування біля виходу РМ-2 за призначенням, наприклад, до зони транспортування біля входу наступного робочого місця або до складу.

Фаза 5.

Робочий РМ-1 переміщує порожній контейнер із входу РМ-1 до його виходу.

Робочий РМ-2 переміщує порожній контейнер із входу РМ-2 до його виходу.

Фаза 6.

Транспортувальник-1 підвозить заповнений контейнер *A* до зони транспортування біля входу РМ-1 від попереднього робочого місця або зі складу.

Транспортувальник-2 підвозить заповнений контейнер *B* до зони транспортування біля входу РМ-2.

Фаза 7.

Робочий РМ-1 переміщує заповнений контейнер *A* від зони транспортування біля входу РМ-1 на робоче місце.

Робочий РМ-2 переміщує заповнений контейнер *B* від зони транспортування біля входу РМ-2 на робоче місце.

Після фази 7 повторюється початкове становище.

Підкреслимо, що для переміщення контейнерів між робочими місцями може використовуватися конвеєр, що працює у стартстопному режимі.

На рис. 1.28 наведено ілюстрацію роботи підтягнутої логістичної системи *Kanban*, уперше застосованої на автомобільних заводах японської фірми *Toyota motors* (*Kanban* японською – картка).

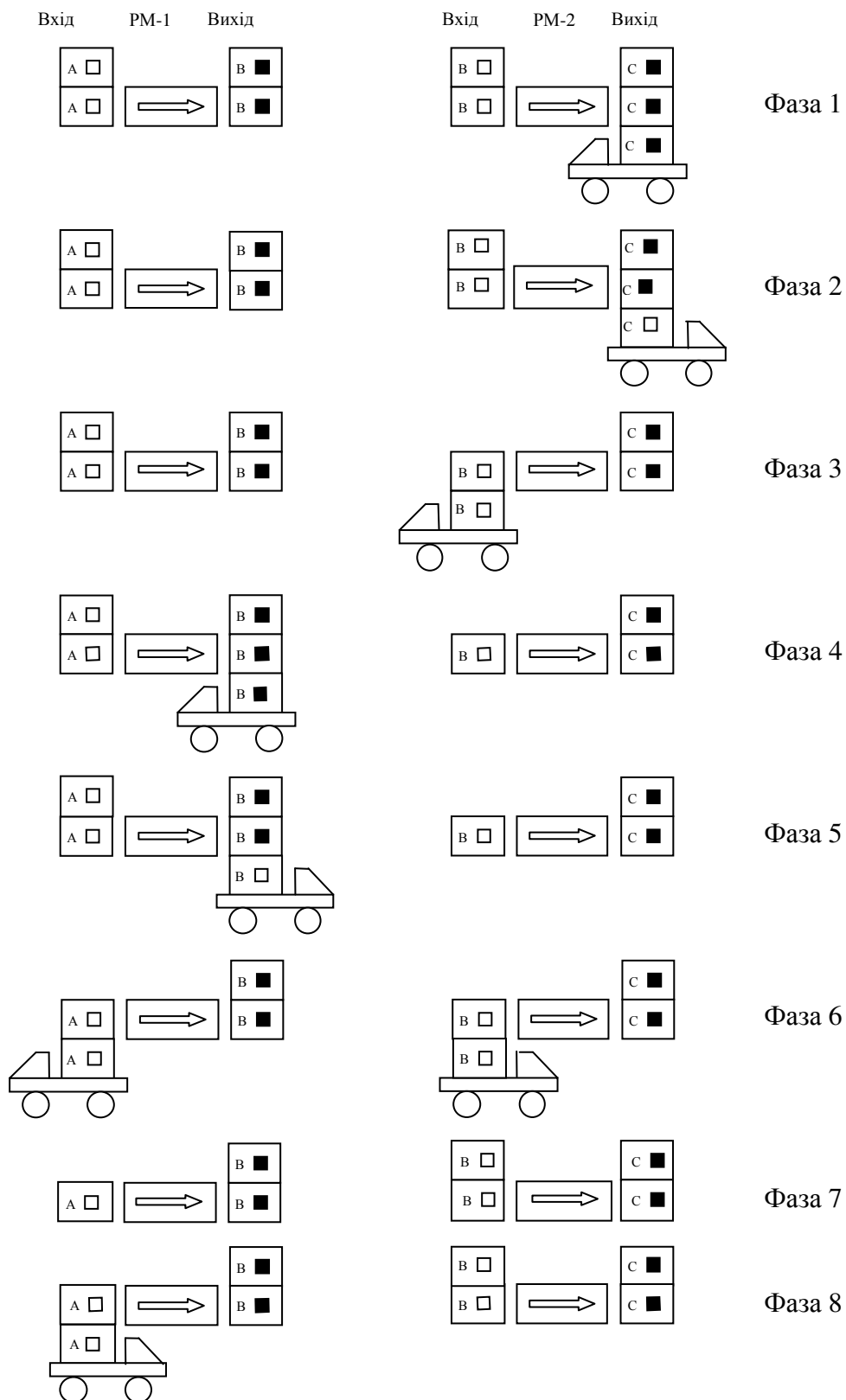


Рисунок 1.28 – Ілюстрація роботи підтягнутої логістичної системи *Kanban*

В роботі системи використовуються білі й чорні картки *Kanban*, які закріплюються на контейнерах, причому біла картка на контейнері, розташованому в зоні транспортування контейнерів, призначена транспортувальнику, а чорна – робочому.

На рис. 1.28 зазначені два робочі місця, кожне з яких містить два контейнери на вході і два контейнери на виході. Як і на рис. 1.27, з двох вхідних і двох вихідних контейнерів на кожному робочому місці один – оперативний, а інший – резервний (страховий).

Для забезпечення безпеки робочих завантаження і розвантаження контейнерів здійснюється в зонах транспортування, що примикають до входів і до виходів згаданих робочих місць.

На РМ-1 виробляється продукція *B* з продукції *A*, на РМ-2 – продукція *C* з продукції *B*.

Робота підтягнутої системи включає вісім фаз.

Початкове становище.

На вході РМ-1 – два заповнені контейнери з продукцією *A*; на виході РМ-1 – два заповнені контейнери з продукцією *B*.

На вході РМ-2 – два заповнені контейнери з продукцією *B*; на виході РМ-2 – два заповнені контейнери з продукцією *C*.

Фаза 1.

Транспортувальник підвозить до зони транспортування біля виходу РМ-2 порожній контейнер, наприклад, із входу наступного робочого місця або зі складу, і прикріплює до нього чорну картку *Kanban* як замовлення на контейнер з продукцією *C*.

Фаза 2.

Робочий РМ-2 обмінює прибулий порожній контейнер *C* з чорною карткою *Kanban* на заповнений контейнер *C* і замінює на ньому чорну картку *Kanban* на білу як замовлення на вивезення заповненого контейнера *C*. Транспортувальник вивозить зазначений контейнер *C* за призначенням, наприклад, до входу наступного робочого місця або до складу, а робочий РМ-2 виконує свою основну роботу по виробленню продукції *C* з продукції *B*.

Фаза 3.

Робочий РМ-2 закінчує вироблення продукції *C* з продукції *B* і переміщує порожній контейнер *B* з білою карткою *Kanban* до зони транспортування біля входу РМ-2 як замовлення на заміну порожнього контейнера *B* на заповнений.

Фаза 4.

Транспортувальник забирає порожній контейнер *B* з білою карткою *Kanban*, розташований в зоні транспортування біля входу РМ-2, підвозить його до зони транспортування біля виходу РМ-1 і замінює на цьому контейнері білу картку *Kanban* на чорну як замовлення на контейнер з продукцією *B*.

Фаза 5.

Робочий РМ-1 обмінює прибулий порожній контейнер *B* з чорною карткою *Kanban* на заповнений контейнер *B* і замінює на ньому чорну картку

Kanban на білу як замовлення на вивезення заповненого контейнера *B*. Транспортувальник вивозить зазначений контейнер *B* до зони транспортування біля входу РМ-2, а робочий РМ-1 виконує свою основну роботу по виробленню продукції *B* з продукції *A*.

Фаза 6.

Транспортувальник доставляє контейнер з продукцією *B* з білою карткою *Kanban* до зони транспортування біля входу РМ-2, робочий РМ-2 переміщує цей контейнер на робоче місце, а робочий РМ-1 закінчує роботу по виготовленню продукції *B* з продукції *A*, і переміщує порожній контейнер *A* з білою карткою *Kanban* до зони транспортування біля входу РМ-1 як замовлення на заміну порожнього контейнера *A* на заповнений.

Фаза 7.

Транспортувальник забирає порожній контейнер *A* з білою карткою *Kanban*, розташований в зоні транспортування біля входу РМ-1, і вивозить його за призначенням, наприклад до виходу попереднього робочого місця або до складу, а робочий РМ-2 переміщує прибулий заповнений контейнер *B* з білою карткою *Kanban* на робоче місце.

Фаза 8.

Транспортувальник доставляє контейнер з продукцією *A* з білою карткою *Kanban* до зони транспортування біля входу РМ-1, а робочий РМ-1 переміщує цей контейнер на робоче місце.

Після фази 8 повторюється початкове становище.

Як впливає з порівняння рис. 1.27 і 1.28, у підштовхуваній системі спостерігається односторонній рух заповнених контейнерів від попередніх робочих місць до наступних (хоча можливий рух порожніх контейнерів у зворотному напрямі від останнього робочого місця до першого), в той час як у підтягуваній системі заповнені і порожні контейнери рухаються у протилежних напрямках між сусідніми робочими місцями.

У табл. 1.7 наведено основні показники підштовхуваних і підтягуваних логістичних систем.

Таблиця 1.7 – Основні показники підштовхуваних і підтягуваних логістичних систем

Характеристики	Підштовхувана система	Підтягувана система
Виробнича стратегія	Максимальне завантаження виробничих потужностей	Завантаження виробничих потужностей у залежності від попиту
Закупівельна стратегія	Орієнтація на значну кількість постачальників з нерегулярними поставками крупними партіями	Орієнтація на незначну кількість постачальників з поставками точно за графіками малими партіями
Планування виробництва	Під виробничі потужності	Під стадію збирання
Оперативне управління	Централізоване зі складанням графіків для всіх цехів	Децентралізоване зі складанням графіків лише для стадії збирання
Стратегія запасів	Запаси у виді залишків матеріальних ресурсів	Запаси у виді незадіяних потужностей
Обладнання робочих місць	Спеціалізоване	Універсальне

Кваліфікація виробничого персоналу	Вузька спеціалізація	Широка спеціалізація
Контроль якості продукції	На всіх стадіях виробництва, контроль здійснює замовник продукції	Поставка якісних матеріалів, контроль здійснює постачальник продукції
Розподільна стратегія	Орієнтація на усередненого споживача	Орієнтація на конкретного споживача

Як підштовхувані, так і підтягувані системи призначені для реалізації найбільш поширеної в світі логістичної концепції JIT («just in time», «точно в строк»).

Основна ідея концепції «точно в строк» полягає в наступному: якщо виробничий графік відомий, то можна так організувати рух матеріальних потоків, що всі матеріали, компоненти, деталі тощо будуть надходити в необхідній кількості, в потрібне місце, точно у визначений строк, завдяки чому страхові запаси виявляться непотрібними.

З логістичних позицій концепція «точно в строк» передбачає, що потоки матеріальних ресурсів старанно синхронізовані з потребою в них. Подібна синхронізація являє собою координацію двох базисних функцій логістики – постачання і виробництва.

В ідеальному випадку концепція «точно в строк» теоретично дозволяє взагалі виключити необхідність будь-яких запасів, проте слід враховувати, що практична реалізація такої концепції призведе до необхідності замовлення одиничних товарів, суттєво збільшить витрати на їхнє транспортування, виключить можливість консолідації перевезень різних товарів, а також можливість отримати знижки при оптовій закупівлі товарів. Іншими словами, виробничий менеджер навряд чи допустить поодинокі замовлення і перевезення, скажімо, болтів і гайок.

1.8. Принципи побудови розпізнавальних логістичних систем

Загальні відомості про системи розпізнавання образів

Побудова сучасних автоматизованих виробництв, автоматизованих складів, автоматизованих систем обліку і контролю, автоматизованих сортувальних центрів потребує автоматичної ідентифікації тих чи інших образів (товарів, деталей, поштових одиниць тощо).

Серед систем розпізнавання образів важливе місце посідають системи розпізнавання графічних зображень. На базі саме таких систем побудовано переважну більшість розпізнавальних систем автоматизованих промислових виробництв.

Сьогодні одними з найбільш поширених систем розпізнавання графічних зображень є розпізнавальні системи поштового зв'язку, призначені для автоматизації складних операцій оброблення поштових одиниць, зокрема, їх сортування.

Відповідно до сучасних поглядів розпізнавання образів подається у виді перетворень, наведених на рис. 1.29.

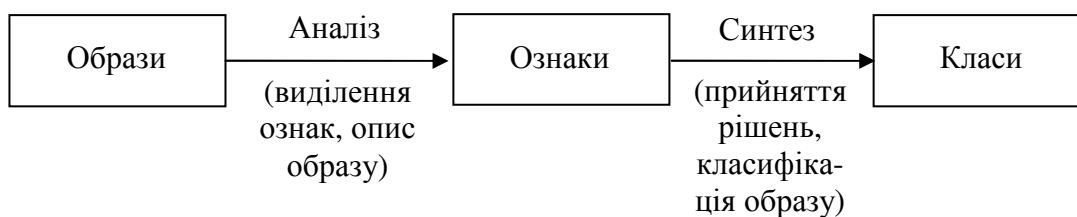


Рисунок 1.29 – Подання розпізнавання образів у виді перетворень

Множина образів X_k ($k = 1 \dots l$) складає деяку сукупність об'єктів, що відносяться до тієї чи іншої області дослідження, наприклад, графічні зображення, звукові сигнали, діагнози хвороб й т.ін.

Зазначені образи піддаються аналізу, в процесі якого виконується їх опис мовою заделегідь обраної системи ознак. Як ознаки можуть бути фізичні параметри образів (маса, габарити, форма, температура); їх відносні характеристики (великий – малий, високий – низький, товстий – тонкий); характерні ознаки (друкований, рукописний) й т.ін.

Вибір системи ознак – складна і відповідальна задача, в загальному випадку неформалізована. У будь-якому випадку система ознак повинна забезпечувати різні описи множини розпізнаваних образів.

Отримана множина Y_i ($i = 1 \dots m$) наборів ознак (описів образів) синтезується (класифікується), тобто відноситься до того чи іншого задалегідь визначеного основного класу Z_j ($j = 1 \dots n$) відповідно до деяких вирішальних правил або визначається, що вона не відноситься до жодного з цих класів, тобто класифікується як додатковий задалегідь невизначений клас Z_0 .

Вирішальні правила звичайно забезпечують оптимальність прийняття рішень відповідно до заданих критеріїв оптимальності, наприклад, мінімального ризику, мінімальної помилки тощо.

У реальних системах розпізнавання $l \gg m \gg n$, тобто, як в результаті аналізу, так і в результаті синтезу відбувається стискання інформації про розпізнаваний образ. Це означає, що практично нічим необмежена множина реальних образів X_k ($k = 1 \dots l$) розбивається множиною їх описів Y_i ($i = 1 \dots m$) на m підмножин, що не перетинаються, кожне з яких може розглядатися як деякий узагальнений образ, який подає реальні образи з ознаками, що збігаються. В свою чергу, кожний конкретний клас Z_j ($j = 1 \dots n$) включає деяку множину описів образів, які є представниками цього класу, а клас Z_0 – множину описів образів, що не є представниками жодного з цих класів.

Розпізнавальні системи поштового зв'язку призначені, головним чином, для розв'язання задач автоматичного сортування поштових одиниць, які включають задачі пошуку лицьової сторони поштових одиниць, визначення місцеположення адресної інформації на лицьовій стороні поштових одиниць, зчитування і розпізнавання зазначеної інформації. Як адресна інформація звичайно виступає цифровий поштовий індекс, який наноситься відправником або оператором поштового зв'язку у спеціально виділеному місці на ли-

цьовій стороні поштових одиниць. Внаслідок цього, як образи (об'єкти розпізнавання) виступають графічні зображення (конфігурації) арабських цифр і деякі спеціальні мітки (репери), що наносяться друкарським способом на конверти, картки або адресні ярлики, які наклеюються на посилки, бандеролі чи пачки преси, і дозволяють знаходити лицьову сторону поштових одиниць та визначати місцеположення індексу.

Враховуючи, що параметри цифр індексу, особливо рукописних, таких як конфігурації й розміри цифр, колір, товщина і контрастність ліній, розриви ліній, завади, відхилення ліній від рекомендованих або середніх значень, деформації, зсуви і повороти цифр, виходи цифр за обмежувальні рамки, зіпсовані, закреслені, виправлені і наведені цифри, відсутність цифр індексу, сторонні записи у полі індексу й т.ін. носять ймовірний характер, будь-який опис з тією чи іншою ймовірністю може бути представником будь-якого з класів (рис. 1.30).

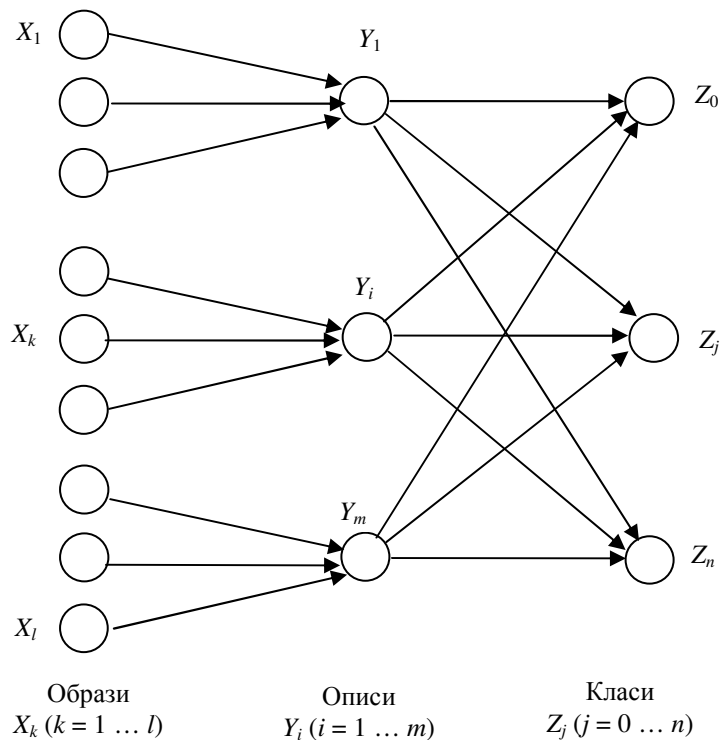


Рисунок 1.30 – Ймовірний характер перетворень у процесі розпізнавання образів

До сказаного слід додати доступність зображень цифр індексу до так званих афінних спотворень (поворот, зсув і масштабування зображень у площині, перпендикулярній оптичній осі зчитувального пристрою).

Зазначені обставини призводять до суттєвого ускладнення розпізнавальних систем поштового зв'язку й обумовлюють доцільність їх побудови на базі персональних ЕОМ.

Стосовно автоматичних листосортувальних машин розпізнавання графічних зображень є задачею віднесення кожної цифри поштового індексу до

одного з десяти класів арабських цифр або виявлення того, що зазначена цифра не належить жодному із цих класів (відмова від розпізнавання).

Кожне зображення R , що розпізнається, характеризується набором ознак r_1, r_2, \dots, r_m , які вибираються на основі статистичних досліджень, досвіду, зручності виділення та інших факторів.

Різні алгоритми розпізнавання цифр використовують як ознаки: штрихи (горизонтальні, вертикальні, нахилені); контури (замкнені, розімкнені); кількість перетинів знака вертикальними, горизонтальними чи нахиленими лініями; топологічні ознаки (початок і кінець ліній, розгалуження і з'єднання ліній, перетинання ліній); метричні ознаки (відстані між елементами знака, розміри окремих елементів).

При розпізнаванні графічної інформації, зокрема, цифр поштового індексу, використовуються поняття подібності і відмінності образів, що розпізнаються. Набір ознак r_1, r_2, \dots, r_m , кожна з яких набуває певних дискретних значень, створює деякий m -вимірний векторний простір ознак, кожна координата якого являє одну ознаку, а кожна точка – один образ. Якщо увести певну міру близькості між точками цього m -вимірного векторного простору (наприклад, евклідову чи відстань Хеммінга), то подібність або відмінність образів буде визначатися значенням цієї відстані.

Образи з малою відмінністю ознак займають малий (компактний) об'єм простору ознак, а з великою – великий об'єм цього простору, не мають чітких меж (розпливчасті). Найбільш компактними є зображення цифр поштового індексу, нанесені друкарським способом, найбільш розпливчастими – нанесені людиною від руки. На рис. 1.31 наведено приклад ланцюжка переходів образів із одних класів в інші.

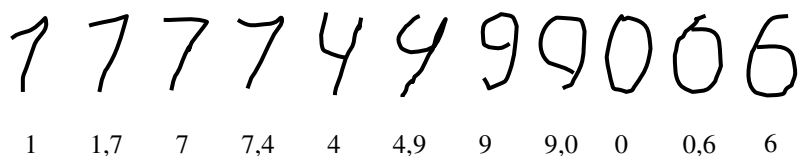


Рисунок 1.31 – Приклад переходів образів із одних класів в інші

Задача побудови дієздатної розпізнавальної системи неминує потребу різкого звуження характеристичних об'ємів рукописних цифр у просторі ознак.

Для спрощення розпізнавальних систем поштового зв'язку вводяться деякі обмеження на місцеположення, розміри і (або) форми написання цифр індексу. Значного поширення набули системи розпізнавання так званих стилізованих і нормалізованих цифр індексу. У системах розпізнавання стилізованих рукописних цифр вводяться обмеження на місцеположення, розміри і форми написання цифр, у системах розпізнавання нормалізованих рукописних цифр – тільки на місцеположення і розміри цифр.

Показники якості розпізнавання графічних зображень

Основними показниками якості розпізнавання графічних зображень є:

- ймовірність $v_{\text{пр}}$ правильного розпізнавання;
- ймовірність $v_{\text{відм}}$ відмови від розпізнавання;
- ймовірність $v_{\text{пом}}$ помилкового розпізнавання.

Сума $v_{\text{пр}} + v_{\text{відм}} + v_{\text{пом}} = 1$ як сума ймовірностей повної групи подій.

Звідси випливає, що збільшення ймовірності $v_{\text{пр}}$ можливе лише за умов зменшення однієї з ймовірностей $v_{\text{відм}}$, $v_{\text{пом}}$, або за умов зменшення обох цих ймовірностей.

Реально $v_{\text{пр}} \gg v_{\text{відм}} \gg v_{\text{пом}}$.

Якщо вважати, що на вхід розпізнавальної системи надходять графічні зображення, які подають основні класи Z_i ($i = 1 \dots n$) або додатковий клас Z_0 , а на її виході формуються результати розпізнавання, які також можуть подавати основні класи Z_j ($j = 1 \dots n$) або додатковий клас Z_0 , то складові ймовірностей $v_{\text{пр}}$, $v_{\text{відм}}$, $v_{\text{пом}}$ можуть бути визначені з діаграми переходів, наведеної на рис. 1.32.

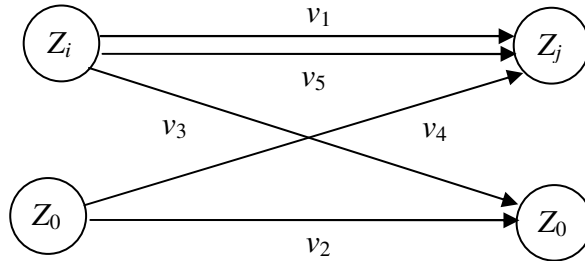


Рисунок 1.32 – Визначення складових ймовірностей $v_{\text{пр}}$, $v_{\text{відм}}$, $v_{\text{пом}}$

Як випливає з рис. 1.32, ймовірності $v_{\text{пр}}$, $v_{\text{відм}}$, $v_{\text{пом}}$ визначаються п'ятьма ймовірностями переходів:

$v_1 = v_{ij}$ ($i = j$; $i, j = 1, 2, \dots, n$) – ймовірність правильного розпізнавання основних класів;

$v_2 = v_{00}$ – ймовірність відмови від розпізнавання додаткового класу, яку також можна розглядати як ймовірність правильного розпізнавання додаткового класу;

$v_3 = v_{i0}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) – ймовірність відмови від розпізнавання основних класів;

$v_4 = v_{0j}$ ($j = 1, 2, \dots, n$) – ймовірність помилкового розпізнавання додаткового класу як основного;

$v_5 = v_{ij}$ ($i \neq j$; $i, j = 1, 2, \dots, n$) – ймовірність помилкового розпізнавання основних класів.

Ймовірності $v_{\text{пр}}$, $v_{\text{відм}}$, $v_{\text{пом}}$ визначаються через ймовірності v_1 , v_2 , v_3 , v_4 , v_5 як $v_{\text{пр}} = v_1$, $v_{\text{відм}} = v_2 + v_3$, $v_{\text{пом}} = v_4 + v_5$.

В процесі розпізнавання образів неодноразово приймаються різноманітні рішення:

- про значення чергового елемента графічного зображення;
- про наявність чи відсутність тієї чи іншої ознаки;
- про розпізнавання тієї чи іншої цифри індексу;
- про розпізнавання усіх цифр індексу.

Крім того, процесу розпізнавання передують прийняття рішень:

- про знаходження лицьової поверхні поштової одиниці;
- про попереднє оброблення графічного зображення;
- про знаходження усіх спеціальних міток;
- про ідентифікацію кодів діаметрів усіх міток;
- про наявність чи відсутність проєктивних спотворень графічного зображення;
- про визначення параметрів афінних спотворень графічного зображення;
- про визначення напрямів обходу графічного зображення і т.ін.

Слід підкреслити, що з прийняттям кожного рішення кількість інформації про графічне зображення зменшується, а ймовірність його помилкового розпізнавання зростає.

Застосування критерію мінімального ризику при розпізнаванні графічних зображень рукописних цифр

Ймовірний характер опису рукописних цифр обумовлює прагнення застосувати критерій мінімального ризику Байєса при їх класифікації.

На рис. 1.33 наведено матрицю розподілу ймовірностей v_{ij} належності опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) класу Z_j ($j = 0, 1, \dots, n$).

	Z_0	Z_1	...	Z_j	...	Z_n
Y_1	v_{10}	v_{11}		v_{1j}		v_{1n}
Y_i	v_{i0}	v_{i1}		v_{ij}		v_{in}
\vdots						
Y_m	v_{m0}	v_{m1}		v_{mj}		v_{mn}

Рисунок 1.33 – Матриця розподілу ймовірностей v_{ij} належності опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) класу Z_j ($j = 0, 1, \dots, n$)

Класи Z_j ($j = 1, 2, \dots, n$) – основні, клас Z_0 – додатковий.

Сума елементів рядка Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) матриці

$$\sum_{j=0}^n v_{ij} = Y_i$$

являє собою ймовірність опису, що відповідає цьому рядку.

Сума елементів стовпця Z_j ($j = 0, 1, \dots, n$) матриці

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = Z_j$$

являє собою ймовірність класу, що відповідає цьому стовпцю.

Сума усіх елементів матриці

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n v_{ij} = 1$$

як сума ймовірностей повної групи подій.

Збитки, обумовлені класифікацією, можуть бути надані у виді платіжних матриць c_{ij} , наведених на рис. 1.34.

	Z_0	Z_1	...	Z_i	...	Z_j	...	Z_n
Z_0	c_{00}	c_{01}		c_{0i}		c_{0j}		c_{0n}
Z_1	c_{10}	c_{11}		c_{1i}		c_{1j}		c_{1n}
:								
Z_i	c_{i0}	c_{i1}		c_{ii}		c_{ij}		c_{in}
:								
Z_j	c_{j0}	c_{j1}		c_{ji}		c_{jj}		c_{jn}
:								
Z_n	c_{n0}	c_{n1}		c_{ni}		c_{nj}		c_{nn}

a
б

Рисунок 1.34 – Платіжні матриці

Матриця рис. 1.34, *a* відповідає загальному випадку (індивідуальні значення збитків), а матриця рис. 1.34, *б* – окремому випадку (рівність значень однотипних збитків).

Із порівняння матриць $\|v_{ij}\|$ і $\|c_{ij}\|$ випливає, що збитки, обумовлені класифікацією опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) як класу Z_j ($j = 0, 1, \dots, n$), складають

$$D_{ij} = \sum_{k=0}^n c_{kj} v_{ik} ,$$

у зв'язку з чим цільова функція класифікації опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) набуває виду

$$F_i = \min_{j=0,1,\dots,n} \sum_{k=0}^n \tilde{n}_{kj} v_{ik} ,$$

звідки випливає умова доцільності класифікації опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) як основного класу Z_i ($i = 1, 2, \dots, n$)

$$\min_{j=1,2,\dots,n} \sum_{k=0}^n c_{kj} v_{ik} \leq \sum_{k=0}^n c_{k0} v_{ik} ,$$

або умова класифікації зазначеного опису як додаткового класу Z_0 (відмова від розпізнавання)

$$\min_{j=1,2,\dots,n} \sum_{k=0}^n c_{kj} v_{ik} \geq \sum_{k=0}^n c_{k0} v_{ik} .$$

При розпізнаванні рукописних цифр однотипні збитки приймаються рівними, в зв'язку з чим матриця збитків перетворюється на п'ятикомпонентну, в якій:

- c_1 – збитки, пов'язані з правильним розпізнаванням основних класів;
- c_2 – збитки, пов'язані з відмовою від розпізнавання додаткового класу або, що те саме, з правильним розпізнаванням додаткового класу;
- c_3 – збитки, пов'язані з відмовою від розпізнавання основних класів;
- c_4 – збитки, пов'язані з помилковим розпізнаванням додаткового класу як основного;
- c_5 – збитки, пов'язані з помилковим розпізнаванням основних класів.

Як основні класи виступають конфігурації десяти арабських цифр, як додатковий клас – конфігурації, що не належать до арабських цифр.

За умов сортування $c_1 \leq c_2 \leq c_3 \leq c_4 \leq c_5$.

Для п'ятикомпонентної матриці збитків умова доцільності класифікації опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) як основного класу Z_j ($j = 1, 2, \dots, n$) може бути приведена до виду

$$\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^* + av_{i0}^* \geq b,$$

а умова доцільності класифікації зазначеного опису як додаткового класу Z_0 (відмова від розпізнавання) – до виду

$$\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^* + av_{i0}^* \leq b,$$

де $v_{ij}^* = \frac{v_{ij}}{\sum_{j=0}^n v_{ij}}$, $v_{i0}^* = \frac{v_{i0}}{\sum_{j=0}^n v_{ij}}$ – нормовані ймовірності v_{ij} , v_{i0} ,

$$a = \frac{c_5 - c_4 - c_3 + c_2}{c_5 - c_1}, \quad b = \frac{c_5 - c_3}{c_5 - c_1} \text{ – коефіцієнти збитків.}$$

При виконанні першої нерівності опис Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) класифікується як основний клас Z_j ($j = 1, 2, \dots, n$), якому відповідає $\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^*$, при виконанні другої – класифікується як додатковий клас Z_0 (відмова від розпізнавання).

З наведених виразів видно, що

$$-1 \leq a \leq 1, \quad 0 \leq b \leq 1, \quad b - 1 \leq a \leq b,$$

внаслідок чого область допустимих значень a і b має вид паралелограма з координатами кутових точок $(1; 1)$, $(0; 1)$, $(-1; 0)$, $(0; 0)$, наведеного на рис. 1.35.

Якщо у рівнянні $\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^* + av_{i0}^* = b$ розглядати a і b як змінні, а

$\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^*$ і v_{i0}^* – як постійні, то в області допустимих значень a і b можна побудувати пряму, яка є графіком цього рівняння, і розділяє зазначену область на дві частини.

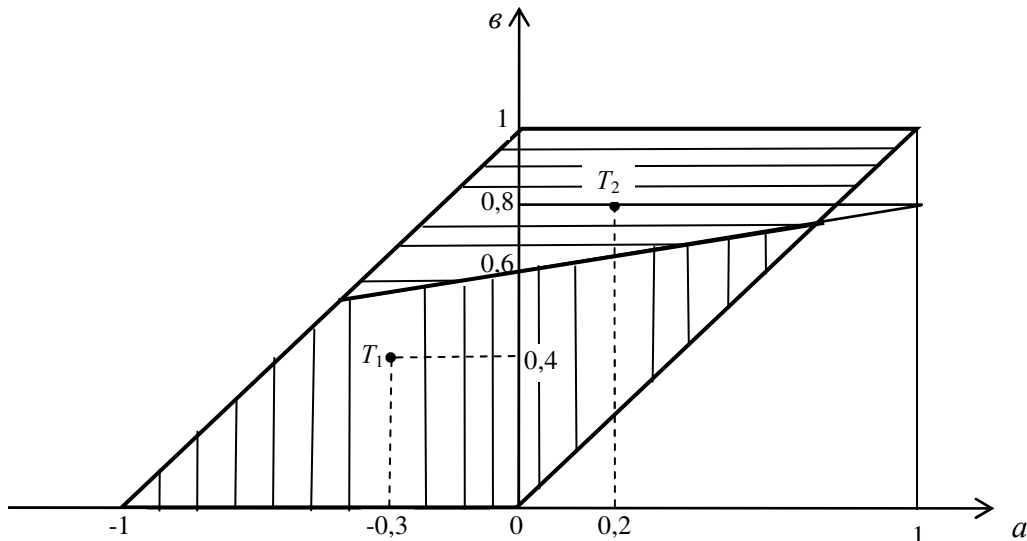


Рисунок 1.35 – Область допустимих значень a і b

Частина області, розташована нижче прямої (вертикальна штриховка), відповідає прийняттю рішень про класифікацію конфігурацій, що розпізнаються, як основних класів, а частина, розташована вище неї (горизонтальна штриховка), – прийняттю рішень про їх класифікацію як додаткового класу (відмова від розпізнавання).

На рис. 1.35 зазначена пряма побудована для значень

$$\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^* = 0,6; \quad v_{i0}^* = 0,2.$$

Точка T_1 з координатами $a = -0,3; b = 0,4$ розташована під прямою, отже конфігурація, що розпізнається, класифікується як основний клас. В цій точці умова доцільності класифікації як основного класу виконується, а умова доцільності класифікації як додаткового класу не виконується:

$$0,6 - 0,3 \cdot 0,2 = 0,54 > 0,4.$$

Точка T_2 з координатами $a = 0,2; b = 0,8$ розташована над прямою, отже конфігурація, що розпізнається, класифікується як додатковий клас. У цій точці умова доцільності класифікації як основного класу не виконується, а умова доцільності класифікації як додаткового класу виконується:

$$0,6 + 0,2 \cdot 0,2 = 0,64 < 0,8.$$

Таким чином, результати класифікації суттєво залежать від значень елементів матриці збитків.

Фактичні значення збитків, обумовлених прийняттям рішень, складають:

– при класифікації опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) як основного класу, якому відповідає $\max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^*$,

$$c_{\text{мі}} = c_1 \max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^* + c_4 v_{i0}^* + c_5 (1 - \max_{j=1,2,\dots,n} v_{ij}^* - v_{i0}^*);$$

– при класифікації опису Y_i ($i = 1, 2, \dots, m$) як додаткового класу

$$c_{\text{дод}} = c_2 v_{i0}^* + c_3 (1 - v_{i0}^*).$$

Значення збитків у кутових точках паралелограма становлять:

- у точці (1; 1): $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 < c_5$, збитки мінімальні;
- у точці (0; 1): $c_1 = c_2 = c_3 < c_4 = c_5$, збитки зростають;
- у точці (-1; 0): $c_1 = c_2 < c_3 = c_4 = c_5$, збитки зростають;
- у точці (0; 0): $c_1 < c_2 = c_3 = c_4 = c_5$, збитки максимальні.

Забезпечення розпізнавання поштових індексів у реальному часі

Однією з основних вимог до розпізнавальних систем поштового зв'язку є забезпечення розпізнавання поштових індексів у реальному часі. Це означає, що час T_p , який може бути виділений для розпізнавання цифр індексу, включаючи зчитування графічного зображення, не може перевищувати значення періоду циклу $T_{\text{ц}}$

$$T_p \leq T_{\text{ц}} = 1/Q_M,$$

де Q_M – продуктивність сортувальної машини.

Так, при $Q_M = 36000$ відправлень за годину $T_p \leq T_{\text{ц}} = 0,1$ с.


Враховуючи складність алгоритмів розпізнавання цифр індексу, особливо рукописних, кількість операцій з розпізнавання однієї цифри поштового індексу складає близько 10^6 , отже, ЕОМ, що здійснює розпізнавання п'яти цифр індексу, має виконувати $5 \cdot 10^6$ операцій за 0,1 секунди, тобто, близько $50 \cdot 10^6$ операцій за секунду.


При цьому не враховано операції з пошуку поштового індексу, його попереднього оброблення і т.ін., виконання яких потребує практично подвоїти вимоги до швидкодії ЕОМ. Адаптація алгоритмів розпізнавання до афінних спотворень графічних зображень потребує ще дворазового підвищення швидкодії ЕОМ.

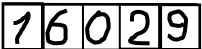
Таким чином, забезпечення розпізнавання поштових індексів у реальному часі залишається актуальною задачею.

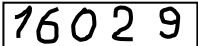
Організація процесу розпізнавання поштових індексів суттєво залежить від прийнятої форми подання його цифр.

На рис. 1.36 наведено основні форми подання цифр індексу (a – стилізовані, b – нормалізовані з окремими обмежуючими рамками для кожної цифри, v – нормалізовані з примикаючими обмежуючими рамками для кожної цифри, z – нормалізовані з єдиною обмежуючою рамкою для усіх цифр індексу, d – ненормалізовані цифри індексу).

 a

 b

 v

 z


 d

Рисунок 1.36 – Форми подання цифр індексу

Основними напрямками розв'язання задачі забезпечення розпізнавання поштових індексів у реальному часі є:

- суттєве підвищення продуктивності однопроцесорної ЕОМ;
- застосування багатопроцесорних ЕОМ.

На рис. 1.37 наведено основні варіанти організації процесу розпізнавання цифр індексу при використанні однопроцесорної ЕОМ (*a* – розпізнавання у проміжках між зчитуванням цифр одного індексу; *б* – розпізнавання у проміжках між зчитуванням індексів з сусідніх конвертів).

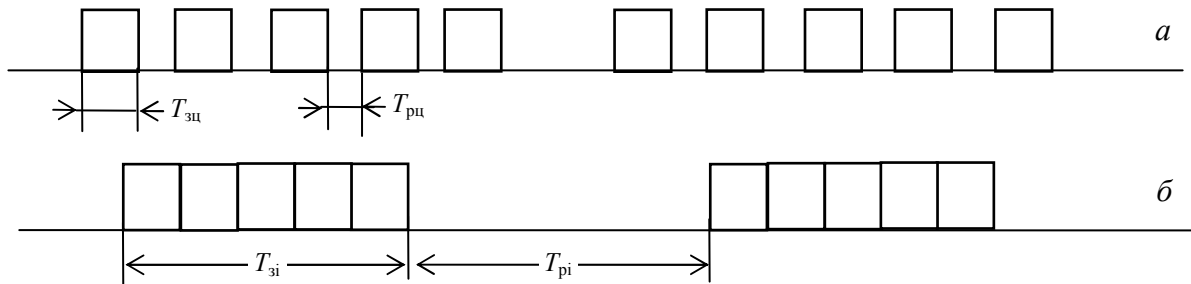


Рисунок 1.37 – Варіанти організації процесу розпізнавання цифр індексу при використанні однопроцесорної ЕОМ

У варіанті *a* при довжині трафарету 5 мм і проміжку між цифрами 4 мм час зчитування однієї цифри становить $T_{зч} = 2$ мс, а час розпізнавання однієї цифри $T_{рц} = 1,6$ мс.

У варіанті *б* при довжині обмежуючої рамки 40 мм час зчитування усіх цифр індексу становить $T_{зі} = 16$ мс, а час їх розпізнавання у залежності від співвідношення розмірів конвертів $T_{рі} = 61 \dots 107$ мс.

На рис. 1.38 наведено основні варіанти організації процесу розпізнавання цифр індексу при використанні багатопроцесорної ЕОМ (*a* – розпізнавання при застосуванні окремих обмежуючих рамок для кожної цифри індексу; *б* – розпізнавання при застосуванні єдиної обмежуючої рамки для всіх цифр індексу).

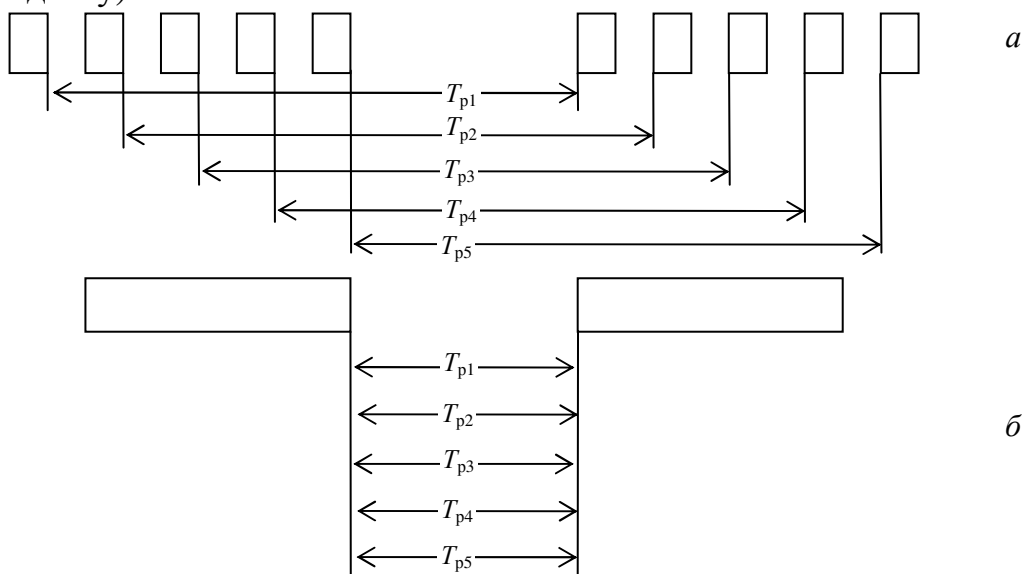


Рисунок 1.38 – Варіанти організації процесу розпізнавання цифр індексу при використанні п'ятипроцесорної ЕОМ

Як випливає з рис. 1.38, у варіанті *a* розпізнавання кожної цифри індексу розпочинається відразу після її запису, а у варіанті *б* – лише після запису усіх цифр індексу. Внаслідок цього, при використанні окремих обмежуючих рамок для кожної цифри індексу час, що може бути виділений для розпізнавання цифр індексу кожним із процесорів, значно перевищує час такого розпізнавання при використанні єдиної обмежуючої рамки для усіх цифр індексу.

На рис. 1.39 наведено варіанти організації багатопроцесорного розпізнавання цифр індексів на адресних ярликах посилки (*a* – кожний з процесорів розпізнає одну стилізовану або нормалізовану цифру; *б* – кожний з процесорів розпізнає один сегмент однієї стилізованої цифри).

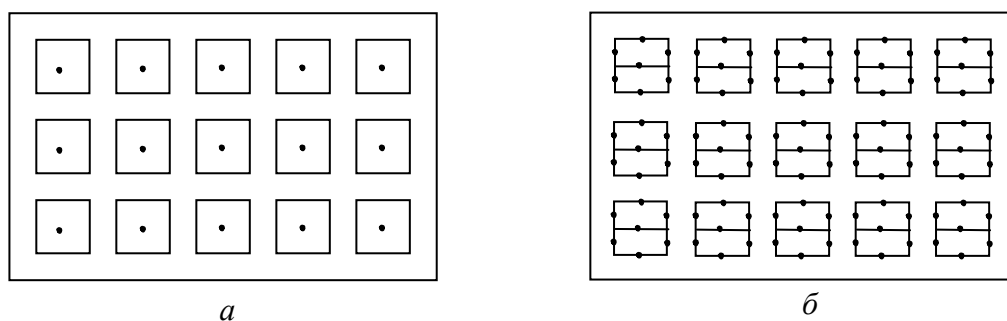


Рисунок 1.39 – Варіанти організації багатопроцесорного розпізнавання цифр індексів на адресних ярликах посилки

Як випливає з рис. 1.39, кількість процесорів у варіанті *a* складає 15, а у варіанті *б* – 105. Майже у стільки ж разів зростає час, що може бути виділений для розпізнавання поштових індексів порівняно з часом, що може бути виділений для розпізнавання поштових індексів при використанні однопроцесорної ЕОМ.

Те, що кожний із процесорів багатопроцесорної ЕОМ працює за однією і тією самою програмою, робить доцільним застосування для розпізнавання цифр індексу обчислювальних систем з паралельними процесорами, що синхронно виконують одні і ті самі операції.

Кожний з паралельних процесорів являє собою надто спрощену ЕОМ і містить лише власне процесор, в якому передбачене виконання елементарних арифметичних і логічних операцій, і пам'ять, об'єм якої визначається вимогами задачі розпізнавання цифр індексу.

Управління виконанням операцій паралельними процесорами здійснюється центральним процесором.

Внаслідок різних вихідних даних у паралельних процесорах можуть вироблятися умови вибору різних гілок програми розпізнавання, тому основною функцією центрального процесора є забезпечення виконання поточних команд програми тими паралельними процесорами, в яких відповідні умови виконані (активні процесори), і переривати роботу тих паралельних процесорів, в яких зазначені умови не виконані (пасивні процесори). У результаті час роботи усіх паралельних процесорів вирівнюється.

Активні процесори сприймають усі команди центрального процесора (у тому числі команди переведення їх у пасивні процесори), а пасивні процесори – лише команду переведення їх в активні процесори.

Визначення груп активних і пасивних процесорів виконується в усіх точках, де передбачене розгалуження або з'єднання гілок програми.

Критерієм оптимальності управління паралельними процесорами виступає мінімізація кількості проходжень кожної гілки програми.

У безциклових програмах та у програмах з лічильними циклами, які можуть бути розгорнуті у безциклові програми, а саме такі програми використовуються в задачах розпізнавання графічних зображень, кількість проходжень кожної гілки програми при оптимальному управлінні дорівнює одиниці.

Для забезпечення оптимального управління в зазначених програмах достатньо дотримуватися простого правила: у будь-якій точці розгалуження або з'єднання гілок програми проходження будь-якої вихідної гілки повинно провадитися лише після проходження усіх вхідних гілок.

На рис. 1.40 наведено приклад графа безциклової програми.

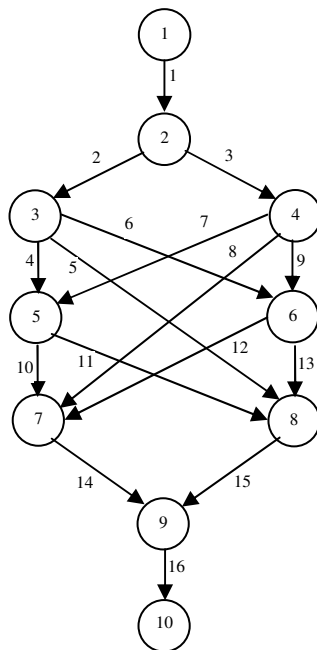


Рисунок 1.40 – Приклад графа безциклової програми

Граф програми містить 16 гілок (дуг), які розгалужуються і з'єднуються у 10 точках (вершинах).

У табл. 1.8 наведено три варіанти порядку проходження гілок програми графа рис. 1.40 відповідно до наведеного правила, у кожному з яких кожна гілка проходить лише один раз.

Таблиця 1.8 – Варіанти порядку проходження гілок програми

№ зп.	Варіант проходження гілок програми		
	1	2	3
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	4	4
4	4	5	3
5	5	6	7
6	6	3	10
7	7	7	8
8	8	8	6
9	9	9	9
10	10	10	12
11	11	12	14
12	12	14	5
13	13	11	13
14	14	13	11
15	15	15	15
16	16	16	16

Структурний алгоритм управління паралельними процесорами за варіантом 1 табл. 1.8 включає наступні команди:

1. Формування групи процесорів G_1 .
2. Переведення групи процесорів G_1 в активний режим.
3. Проходження гілки 1 програми.
4. Переведення групи процесорів G_1 у пасивний режим.
5. Формування з групи процесорів G_1 груп процесорів G_2, G_3 .
6. Переведення групи процесорів G_2 в активний режим.
7. Проходження гілки 2 програми.
8. Переведення групи процесорів G_2 у пасивний режим.
9. Переведення групи процесорів G_3 в активний режим.
10. Проходження гілки 3 програми.
11. Переведення групи процесорів G_3 у пасивний режим.
12. Формування з групи процесорів G_2 груп процесорів G_4, G_5, G_6 .
13. Переведення групи процесорів G_4 в активний режим.
14. Проходження гілки 4 програми.
15. Переведення групи процесорів G_4 у пасивний режим.
16. Переведення групи процесорів G_5 в активний режим.
17. Проходження гілки 5 програми.
18. Переведення групи процесорів G_5 у пасивний режим.
19. Переведення групи процесорів G_6 в активний режим.
20. Проходження гілки 6 програми.
21. Переведення групи процесорів G_6 у пасивний режим.
22. Формування з групи процесорів G_3 груп процесорів G_7, G_8, G_9 .
23. Переведення групи процесорів G_7 в активний режим.
24. Проходження гілки 7 програми.
25. Переведення групи процесорів G_7 у пасивний режим.

26. Переведення групи процесорів G_8 в активний режим.
27. Проходження гілки 8 програми.
28. Переведення групи процесорів G_8 у пасивний режим.
29. Переведення групи процесорів G_9 в активний режим.
30. Проходження гілки 9 програми.
31. Переведення групи процесорів G_9 у пасивний режим.
32. Формування з груп процесорів G_4, G_7 груп процесорів G_{10}, G_{11} .
33. Переведення групи процесорів G_{10} в активний режим.
34. Проходження гілки 10 програми.
35. Переведення групи процесорів G_{10} у пасивний режим.
36. Переведення групи процесорів G_{11} в активний режим.
37. Проходження гілки 11 програми.
38. Переведення групи процесорів G_{11} у пасивний режим.
39. Формування з груп процесорів G_6, G_9 груп процесорів G_{12}, G_{13} .
40. Переведення групи процесорів G_{12} в активний режим.
41. Проходження гілки 12 програми.
42. Переведення групи процесорів G_{12} у пасивний режим.
43. Переведення групи процесорів G_{13} в активний режим.
44. Проходження гілки 13 програми.
45. Переведення групи процесорів G_{13} у пасивний режим.
46. Формування з груп процесорів G_8, G_{10}, G_{12} групи процесорів G_{14} .
47. Переведення групи процесорів G_{14} в активний режим.
48. Проходження гілки 14 програми.
49. Переведення групи процесорів G_{14} у пасивний режим.
50. Формування з груп процесорів G_5, G_{11}, G_{13} групи процесорів G_{15} .
51. Переведення групи процесорів G_{15} в активний режим.
52. Проходження гілки 15 програми.
53. Переведення групи процесорів G_{15} у пасивний режим.
54. Формування з груп процесорів G_{14}, G_{15} групи процесорів G_{16} .
55. Переведення групи процесорів G_{16} в активний режим.
56. Проходження гілки 16 програми.
57. Переведення групи процесорів G_{16} у пасивний режим.

Оптимізація співвідношення автоматичного і ручного розпізнавання адресної інформації в листосортувальних машинах (ЛСМ)

За десятиліття, що минули з часу появи перших ЛСМ, їх розпізнавальні системи (РС) постійно удосконалювалися і сьогодні розпізнають не лише поштові індекси, але й іншу адресну інформацію (АІ), у тому числі машинописні і рукописні поштові адреси. Проте, незважаючи на використання в сучасних РС новітніх досягнень обчислювальної техніки, рівень автоматичного розпізнавання АІ навіть в кращих зразках ЛСМ залишається недостатньо високим і в середньому (за індексами, машинописними і рукописними адресами) не перевищує 90 %, що примушує конструкторів ЛСМ застосовувати комбіноване розпізнавання АІ: автоматичне (за допомогою зчитуючих пристроїв) і ручне (за допомогою операторів відеокодування).

На рис. 1.41 наведено схему комбінованого розпізнавання АІ.

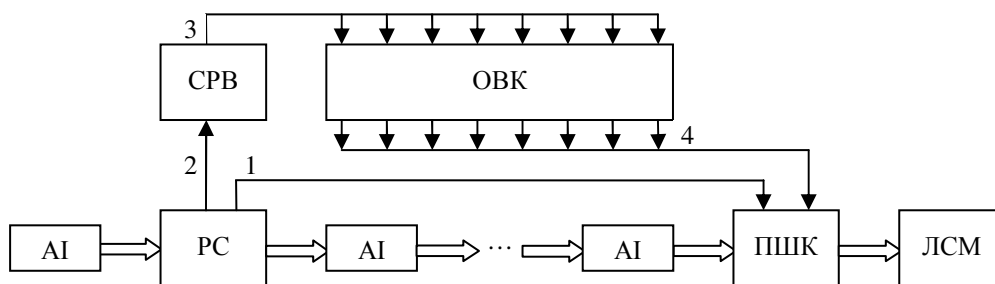


Рисунок 1.41 – Схема комбінованого розпізнавання АІ

На рис. 1.41 уведено позначення:

⇒ Матеріальний потік поштових одиниць з адресною інформацією;

—▶ Інформаційний потік;

РС – розпізнавальна система;

ПШК – пристрій штрихового кодування;

ЛСМ – листосортувальна машина;

ОВК – оператори відеокодування;

СРВ – система розподілу відеозображень АІ між ОВК;

1 – передача розпізнаної АІ від РС до ПШК;

2 – передача нерозпізнаного відеозображення АІ від РС до СРВ;

3 – передача нерозпізнаного відеозображення АІ від СРВ до обраного ОВК;

4 – передача розпізнаної АІ від обраного ОВК до ПШК.

Схема функціонує наступним чином.

Поточний поштовий конверт з АІ надходить до входу РС, де робиться спроба розпізнати цю інформацію. В разі успішності розпізнавання АІ по каналу 1 на вхід ПШК передається розпізнана АІ. В разі неуспішності такого розпізнавання по каналу 2 на вхід СРВ передається відеозображення нерозпізнаної АІ. СРВ визначає чергового ОВК і по каналу 3 передає йому зазначене відеозображення. ОВК розпізнає надіслану йому АІ і по каналу 4 передає її на вхід ПШК. Таким чином, через РС по каналу 1 або через ОВК по каналу 4 на вхід ПШК надходить розпізнана АІ. ПШК наносить на конверт штриховий код, що відповідає розпізнаній АІ, який надходить на вхід ЛСМ і використовується для управління процесом сортування. В разі, якщо ні по каналу 1, ні по каналу 4 на вхід ПШК не надходить розпізнана АІ, конверт з нерозпізнаною АІ надходить на вхід ЛСМ без штрихового коду і спрямовується до довідкового накопичувача, звідки надходить на ручне сортування.

При оцінці перспектив подальшого підвищення рівня автоматичного розпізнавання АІ слід враховувати, що обчислювальні ресурси РС, а разом з ними і вартість РС, розподіляються між розпізнаними конфігураціями цифр і букв незалежно від їх ймовірностей, у той час як рівень автоматичного розпізнавання АІ визначається сумою ймовірностей цих конфігурацій.

На рис. 1.42 наведено типовий графік залежності рівня автоматичного розпізнавання АІ R від вартості РС S .

Враховуючи, що в автоматизованих сортувальних центрах можуть устатковуватися декілька ЛСМ різної продуктивності, доступні усім операторам відеокодування, для коректності порівняння вартостей автоматичного і ручного розпізнавання АІ будемо вважати вартість робочих місць операторів відеокодування розподіленою між зазначеними ЛСМ пропорційно їх продуктивності. Так, за наявності трьох ЛСМ продуктивністю 30000, 36000 і 42000 листів/годину і 18 робочих місць операторів відеокодування, вони будуть розподілені між відповідними ЛСМ як 5, 6 і 7.

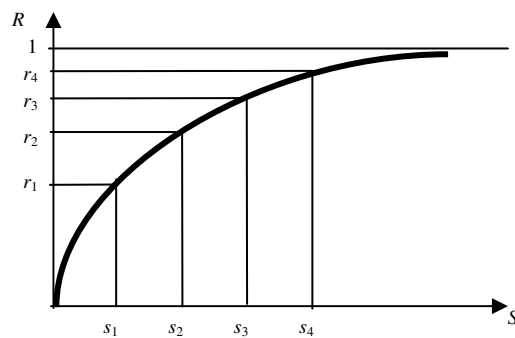


Рисунок 1.42 – Типовий графік залежності рівня автоматичного розпізнавання АІ R від вартості РС S

На рис. 1.42 розпізнані конфігурації цифр і букв розташовуються в порядку убавання їх ймовірностей.

Хоча при лінійному збільшенні вартості РС кількість розпізнаних конфігурацій цифр і букв також лінійно збільшується, рівень автоматичного розпізнавання внаслідок падіння ймовірностей цих конфігурацій зростає дуже повільно і лише асимптотично прагне до одиниці.

Якщо початкова ділянка графіку рис. 1.42 включає обмежену кількість конфігурацій з досить високими ймовірностями, то його кінцева ділянка – практично необмежену кількість конфігурацій зі зникаюче малими ймовірностями.

Звідси випливає, що підвищення рівня автоматичного розпізнавання АІ пов'язане з необхідністю практично необмеженого розширення обчислювальних можливостей РС, а, отже, і їх вартості, у зв'язку з чим очікувати суттєвого підвищення цього рівня в осяжному майбутньому не доводиться.

На рис. 1.43 наведено можливі варіанти співвідношення вартості автоматичного S_A і ручного S_P розпізнавання АІ (у варіанті *a* – $S_A < S_P$, у варіанті *б* – $S_A = S_P$, у варіанті *в* – $S_A > S_P$).

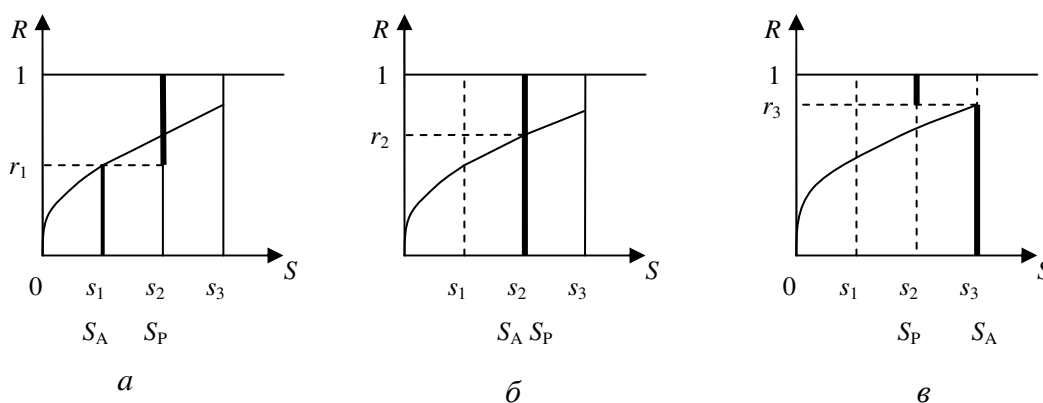


Рисунок 1.43 – Варіанти співвідношення вартості автоматичного S_A і ручного S_P розпізнавання АІ

Як впливає з рис. 1.43, сумарна вартість РС $S_{\Sigma} = S_A + S_P$ у варіантах *a*, *б*, *в* складає:

$$S_{\Sigma a} = r_1 S_1 + (1 - r_1) S_2 = S_2 - r_1(S_2 - S_1) < S_2;$$

$$S_{\Sigma б} = r_2 S_2 + (1 - r_2) S_2 = S_2;$$

$$S_{\Sigma в} = r_3 S_3 + (1 - r_3) S_2 = S_2 + r_3(S_3 - S_2) > S_2.$$

Таким чином, $S_{\Sigma a} < S_{\Sigma б} < S_{\Sigma в}$.

Звідси випливає, що в оптимальній системі комбінованого розпізнавання АІ витрати на автоматичне розпізнавання мають бути менше витрат на ручне розпізнавання.

Відсутність реальних даних про співвідношення вартості автоматичного і ручного розпізнавання не дозволяє однозначно зазначити оптимальне значення рівня автоматичного розпізнавання АІ, за якого досягається мінімальна вартість РС, проте не виключено, що і досягнутий нині рівень (90 %) є надмірним.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте сутність логістики.
2. Наведіть аналогії логістичних операцій з виробництва продукції та логістичних операцій з пересилання поштових одиниць.
3. Охарактеризуйте відмінності традиційного і логістичного підходів до управління виробничим процесом.
4. Охарактеризуйте сутність і наведіть приклади комбінаційного (мультиплікативного, синергічного) ефекту від застосування логістичного підходу до управління виробничим процесом.
5. Наведіть власну думку з приводу того, чому логістика, відома зі стародавніх часів, лише тепер набуває широкого застосування.
6. Охарактеризуйте рівні розвитку виробничої логістики.
7. Охарактеризуйте сім правил логістичної системи.
8. Наведіть визначення термінів *логістична система*, *логістична функція*, *логістична операція*.
9. Наведіть визначення термінів *потік* і *запас*.
10. Охарактеризуйте основні завдання логістичної системи.

11. Охарактеризуйте основні принципи побудови логістичної системи.
12. Охарактеризуйте функціональні області логістики.
13. Поясніть логістичний принцип ABC (принцип 80 – 20).
14. Наведіть основні параметри логістичних потоків.
15. Наведіть класифікацію логістичних потоків.
16. Охарактеризуйте сутність вимоги прямоточності логістичних потоків і наведіть приклади виконання або невиконання цієї вимоги.
17. Охарактеризуйте основні конфлікти цілей при формуванні логістичних витрат.
18. Охарактеризуйте головний конфлікт цілей логістичної системи – конфлікт між витратами на транспортування продукції та витратами на її зберігання.
19. Охарактеризуйте основні фактори, що зменшують витрати на транспортування партій продукції зі зростанням мас цих партій.
20. Охарактеризуйте основні фактори, що збільшують витрати на зберігання продукції зі зростанням мас цих партій.
21. Поясніть, за яких умов можливе існування мінімальних сумарних витрат на транспортування та зберігання партій продукції.
22. Охарактеризуйте наявність безконфліктних цілей при формуванні логістичних витрат.
23. Охарактеризуйте сутність послідовного і послідовно-паралельного принципів організації виробничих процесів.
24. Поясніть, як загальний час оброблення продукції на послідовно розташованих робочих місцях пов'язаний з величинами оброблюваної та передавальної партій продукції.
25. Охарактеризуйте чотири способи передавання передавальних партій продукції між послідовно розташованими робочими місцями.
26. Охарактеризуйте сутність поточного оброблення продукції на послідовно розташованих робочих місцях.
27. Охарактеризуйте призначення запасів і фактори, що визначають доцільність або недоцільність створення запасів.
28. Наведіть класифікацію запасів і поясніть порівняння запасів з рівнем води в районі плавання корабля.
29. Охарактеризуйте основні моделі управління запасами.
30. Наведіть графічні ілюстрації моделей управління запасами.
31. Поясніть призначення максимального і мінімального запасів.
32. Поясніть метод визначення моменту замовлення запасу.
33. Охарактеризуйте призначення та основні функції складів продукції.
34. Охарактеризуйте схеми зв'язків між постачальниками та замовниками продукції за умов відсутності або наявності складів продукції.
35. Наведіть формулу і приклад визначення місця розташування складу в центрі мас мережі перевезень.
36. Наведіть формулу і приклад визначення місця розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень.
37. Наведіть принцип і приклад визначення місця розташування складу в центрі мас мережі перевезень (міські квартали).

38. Наведіть принцип і приклад визначення можливих місць розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень (міські квартали).

39. Доведіть, що розташування складу в центрі мас мережі перевезень забезпечує мінімум сумарних вантажоперевезень.

40. Доведіть, що розташування складу в геометричному центрі мережі перевезень забезпечує мінімум сумарної протяжності транспортних маршрутів.

41. Поясніть принципову різницю між підштовхуваними і підтягуваними логістичними системами.

42. Поясніть роботу підштовхуваної логістичної системи.

43. Поясніть роботу підтягуваної логістичної системи *Kanban*.

44. Наведіть основні показники підштовхуваних і підтягуваних логістичних систем.

45. Поясніть сутність логістичної концепції «точно в строк».

46. Поясніть подання розпізнавання образів у виді перетворень *образи – ознаки – класи*.

47. Поясніть ймовірний характер перетворень *образи – ознаки – класи*.

48. Поясніть приклади переходів образів з одних класів в інші.

49. Охарактеризуйте основні показники якості розпізнавання графічних зображень.

50. Поясніть визначення складових ймовірностей переходів образів з одних класів в інші.

51. Поясніть структуру матриці розподілу ймовірностей належності описів образів класам.

52. Поясніть структуру платіжної матриці.

53. Поясніть умови доцільності класифікації опису образу як основного класу.

54. Поясніть умови доцільності класифікації опису образу як додаткового класу.

55. Поясніть графічне подання області допустимих значень параметрів розпізнавання.

56. Поясніть значення збитків у кутових точках паралелограма допустимих значень параметрів розпізнавання.

57. Охарактеризуйте проблеми розпізнавання цифр індексу в реальному часі.

58. Поясніть доцільність розпізнавання цифр індексу за допомогою паралельних процесорів.

59. Поясніть принцип управління паралельними процесорами.

60. Поясніть принцип комбінованого (автоматичного і ручного) розпізнавання адресної інформації на поштових одиницях.

61. Поясніть типовий графік залежності рівня автоматичного розпізнавання адресної інформації на поштових одиницях від вартості розпізнавальної системи.

62. Поясніть співвідношення вартості автоматичного і ручного розпізнавання адресної інформації на поштових одиницях.

2. СТРУКТУРНА ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1. Аналіз структур мереж поштового зв'язку

Структурна логістика покликана дати відповідь на основне питання побудови мереж поштового зв'язку – якими мають бути їхні структури, тобто, скільки об'єктів повинні містити мережі поштового зв'язку, де ці об'єкти мають бути розташовані, які функції вони мають виконувати і як вони повинні бути з'єднані між собою.

Структура мережі поштового зв'язку чинить вирішальний вплив на всі її техніко-економічні показники. Складність знаходження оптимальної структури мережі поштового зв'язку полягає з одного боку в тому, що зазначений вплив носить неоднозначний і суперечливий характер, а, з іншого, – в тому, що існує надзвичайно значна кількість можливих варіантів з'єднання об'єктів поштового зв'язку між собою.

Загальна кількість N_{Σ} можливих варіантів з'єднання n об'єктів поштового зв'язку між собою визначається сумою можливих варіантів з'єднання цих об'єктів по 2, по 3, ..., по n , тобто

$$N_{\Sigma} = N_2 + N_3 + \dots + N_n.$$

Як свідчить аналіз,

$$A_n^2 + A_n^3 + \dots + A_n^n > N_{\Sigma} > C_n^2 + C_n^3 + \dots + C_n^n,$$

де $A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}$ і $C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!k!}$ – відповідно кількість розміщень і кількість сполучень з n об'єктів по k .

Враховуючи, що $C_n^0 + C_n^1 + \dots + C_n^n = 2^n$, $N_{\Sigma} > 2^n$.

За реальної кількості вузлів мережі поштового зв'язку $n \approx 120$, значення N_{Σ} сягають астрономічних величин, за яких розрахунок, а тим більш аналіз і оптимізація структур мереж поштового зв'язку у загальному виді виявляються недосяжними а ні для сучасних, а ні для майбутніх ЕОМ.

Кажуть, що над подібними задачами тяжіє прокляття розмірності.

Про фантастичну величину числа 2^{120} можна судити з таких міркувань.

Припустимо, що для розв'язання задачі оптимізації структури мережі поштового зв'язку використовується суперкомп'ютер, швидкодія якого $3 \cdot 10^{10}$ операцій за секунду (це теоретична межа швидкодії комп'ютера у виді сфери діаметром 1 см, яка визначається лише часом поширення електромагнітної хвилі від одного краю сфери до іншого).

Будемо вважати, що розрахунок одного варіанта побудови структури мережі поштового зв'язку потребує виконання лише однієї операції комп'ютера.

Подамо число N_{Σ} у виді $N_{\Sigma} \approx 2^{120} \approx 10^{36}$. Тоді для розрахунку всіх можливих варіантів повинно бути витрачено $10^{36}/(3 \cdot 10^{10}) = 0,33 \cdot 10^{26}$ секунд або 10^{18} (мільярд мільярдів) років і це при тому, що вік Землі оцінюється усього в 4,5 мільярдів років!

Проте ієрархічні принципи побудови мережі поштового зв'язку, за якими оптимізація мережі поштового зв'язку в цілому може бути замінена оптимізацією окремих мереж на кожному з рівнів ієрархії; можливість переходу від повного перебору варіантів розв'язання задач оптимізації мереж поштового зв'язку до їх спрямованого перебору; обмеження на кількість і місця розташування об'єктів поштового зв'язку, обумовлені вимогами до їх місцеположення серед інших об'єктів поштового зв'язку, наявності розвиненої технічної інфраструктури, наявності відповідних шляхів сполучення; обмеження на кількість об'єктів поштового зв'язку, що можуть обслуговуватися одним поштовим маршрутом, обумовлені допустимим часом проходження поштових маршрутів і вантажопідйомністю транспортних засобів, що використовуються для перевезень пошти; можливість застосування аналітичних залежностей між деякими параметрами мереж поштового зв'язку, зокрема, рекурентних; розташування екстремумів цільових функцій більшою частиною в області малих значень змінних; ряд інших ефективних методів дозволяють радикально скоротити розмірності задач оптимізації мереж поштового зв'язку і розв'язати їх за допомогою ЕОМ з середньою швидкістю.

Як приклад, у табл. 2.1 наведено всі можливі варіанти з'єднання чотирьох об'єктів поштового зв'язку між собою, а на рис. 2.1 – графічну ілюстрацію зазначених варіантів.

Таблиця 2.1 – Варіанти з'єднання чотирьох об'єктів поштового зв'язку

№ варіанта	Номери об'єктів поштового зв'язку, що з'єднуються	Примітка
1	1 – 2, 1 – 3, 1 – 4, 2 – 3, 2 – 4, 3 – 4	З'єднання об'єктів по 2, 6 маршрутів, усього 1 варіант
2	1 – 4 – 3, 1 – 2 – 4, 1 – 3 – 2	З'єднання об'єктів по 3, 3 маршрути, усього 8 варіантів
3	1 – 2 – 3, 1 – 3 – 4, 1 – 4 – 2	
4	2 – 1 – 4, 2 – 3 – 1, 2 – 4 – 3	
5	2 – 3 – 4, 2 – 1 – 3, 2 – 4 – 1	
6	3 – 2 – 1, 3 – 4 – 2, 3 – 1 – 4	
7	3 – 4 – 1, 3 – 2 – 4, 3 – 1 – 2	
8	4 – 1 – 2, 4 – 3 – 1, 4 – 2 – 3	
9	4 – 3 – 2, 4 – 1 – 3, 4 – 2 – 1	
10	1 – 2 – 4 – 3	З'єднання об'єктів по 4, 1 маршрут, усього 12 варіантів
11	2 – 1 – 3 – 4	
12	3 – 2 – 4 – 1	
13	4 – 1 – 3 – 2	
14	1 – 2 – 3 – 4	
15	2 – 3 – 4 – 1	
16	3 – 4 – 1 – 2	
17	4 – 1 – 2 – 3	
18	1 – 3 – 4 – 2	
19	2 – 4 – 1 – 3	
20	3 – 1 – 2 – 4	
21	4 – 2 – 3 – 1	

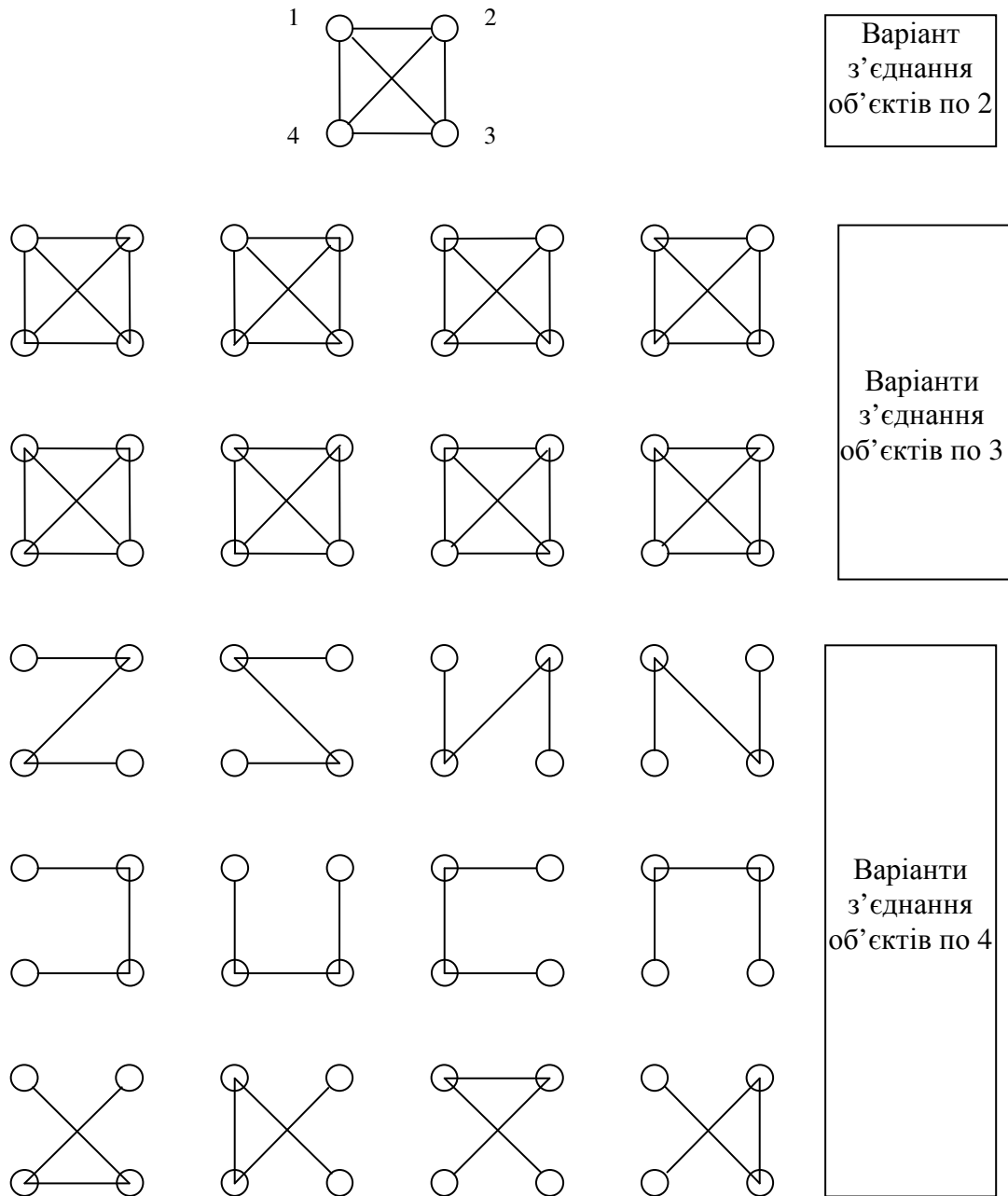


Рисунок 2.1 – Ілюстрація варіантів з'єднання чотирьох об'єктів поштового зв'язку

Можливі два основні підходи до побудови мереж поштового зв'язку в Україні.

Згідно з першим підходом мережа поштового зв'язку будується за функціонально-територіальним принципом (МПЗ ФТ) і має трирівневу ієрархічну структуру, за якої об'єкти поштового зв'язку створюються там, де це доцільно з економічної та технологічної точок зору: головний вузол у Києві або зональні вузли у Києві та центрах крупних регіонів (рівень ієрархії 1), територіальні вузли в обласних центрах та частині районних центрів і міст облас-

ного підпорядкування (рівень ієрархії 2), відділення зв'язку в містах і частині сільських населених пунктів (рівень ієрархії 3).

Згідно з другим підходом мережа поштового зв'язку будується за адміністративно-територіальним принципом (МПЗ АТ) і має чотирирівневу ієрархічну структуру, яка практично повторює чотирирівневу ієрархічну структуру адміністративно-територіального устрою України: головний вузол у Києві або зональні вузли у Києві та центрах крупних регіонів (рівень ієрархії 1), обласні вузли в обласних центрах (рівень ієрархії 2), районні (міські) вузли в районних центрах і містах обласного підпорядкування (рівень ієрархії 3), відділення зв'язку в містах і сільських населених пунктах, де розташовані сільради (рівень ієрархії 4).

У залежності від кількості об'єктів поштового зв'язку найвищого рівня ієрархії структури мереж поштового зв'язку 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 вузол МПЗ АТ; ТВ – територіальний вузол МПЗ ФТ; ВЗ – відділення зв'язку МПЗ АТ або МПЗ ФТ.

На рис. 2.2 наведено структури трирівневих мереж поштового зв'язку МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та чотирирівневих мереж поштового зв'язку МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

Враховуючи установлені Міністерством інфраструктури України нормативні строки пересилання письмової кореспонденції, в подальшому тексті основну увагу приділено обробленню й перевезенню саме письмової кореспонденції.

Відповідно до рис. 2.2, письмова кореспонденція під час свого пересилання в ієрархічних мережах поштового зв'язку спочатку „піднімається” 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. 2.2, 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.

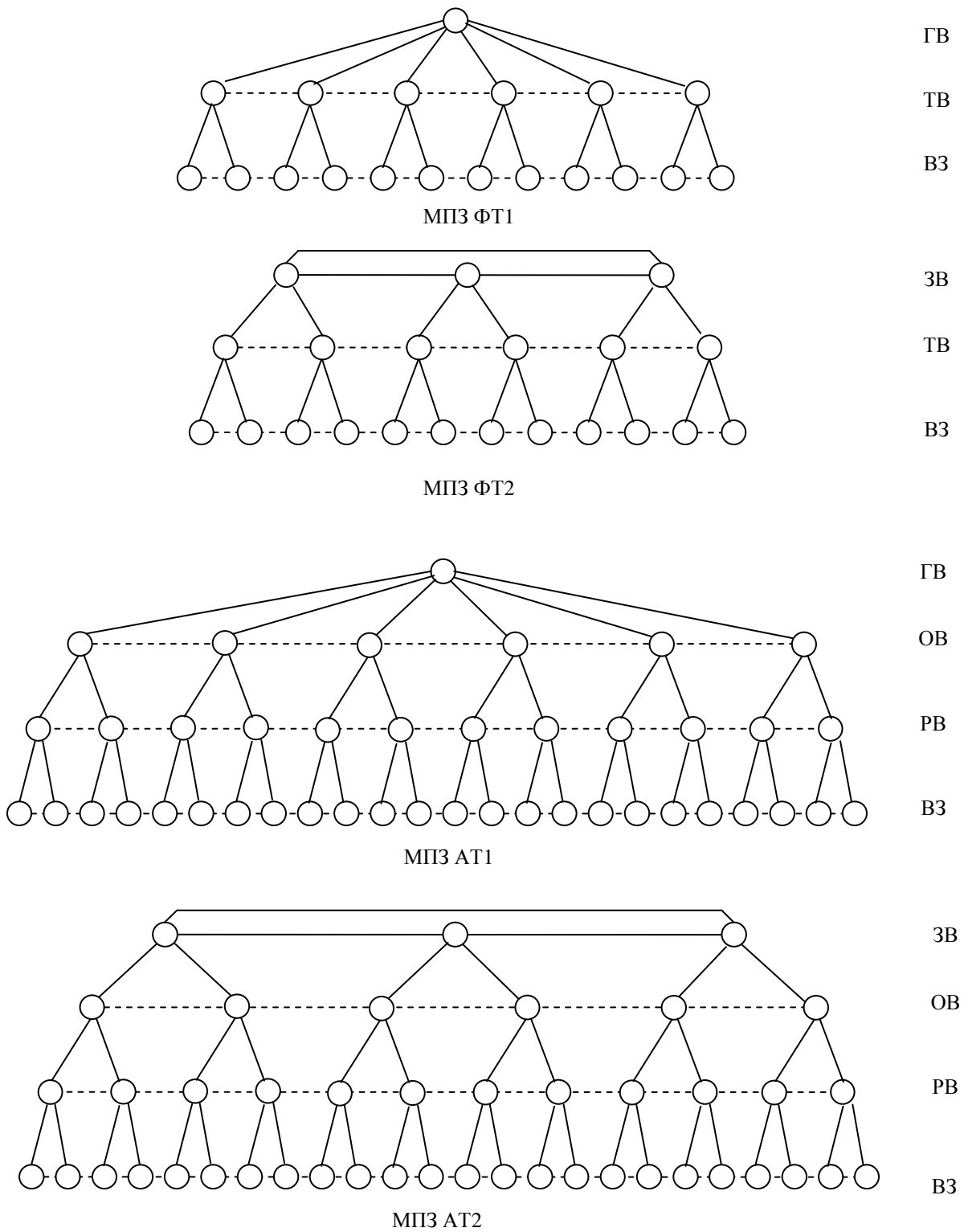


Рисунок 2.2 – Структури мереж поштового зв'язку

Для забезпечення можливості вибору напрямів пересилання письмової кореспонденції через низхідні об'єкти поштового зв'язку необхідно, щоб упаковки 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 (зовні такі упаковки в упаковках нагадують російську іграшку „матрешка”).

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, постпакети).

Схеми пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2 наведено на рис. 2.3.

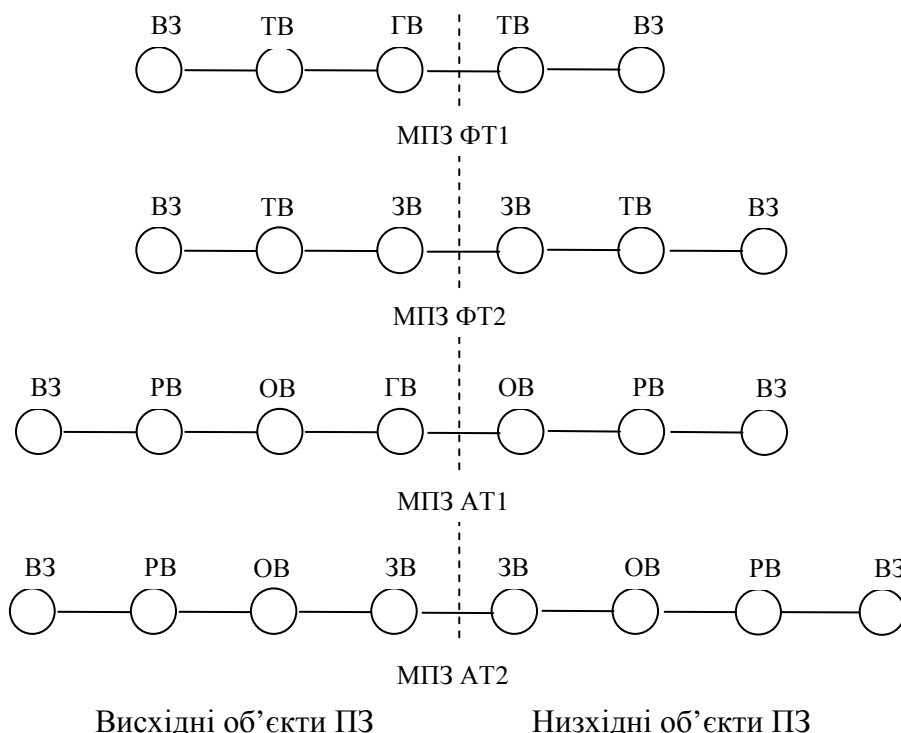


Рисунок 2.3 – Схеми пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку

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

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

Очевидно, що зі зростанням кількості об'єктів поштового зв'язку відповідно зростають витрати на оброблення письмової кореспонденції, а зі зростанням кількості поштових маршрутів – витрати на перевезення письмової кореспонденції.

У табл. 2.2 наведено дані про максимальну кількість об'єктів поштового зв'язку та максимальну кількість поштових маршрутів, задіяних у переси-

ланні одного листа в мережах поштового зв'язку МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

Таблиця 2.2 – 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. 2.2 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 $7/5 = 1,40$ рази, а максимальна кількість поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа, – відповідно у $7/5 = 1,40$ або у $6/4 = 1,50$ рази. 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.

2.2. Оптимізація кількості рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку

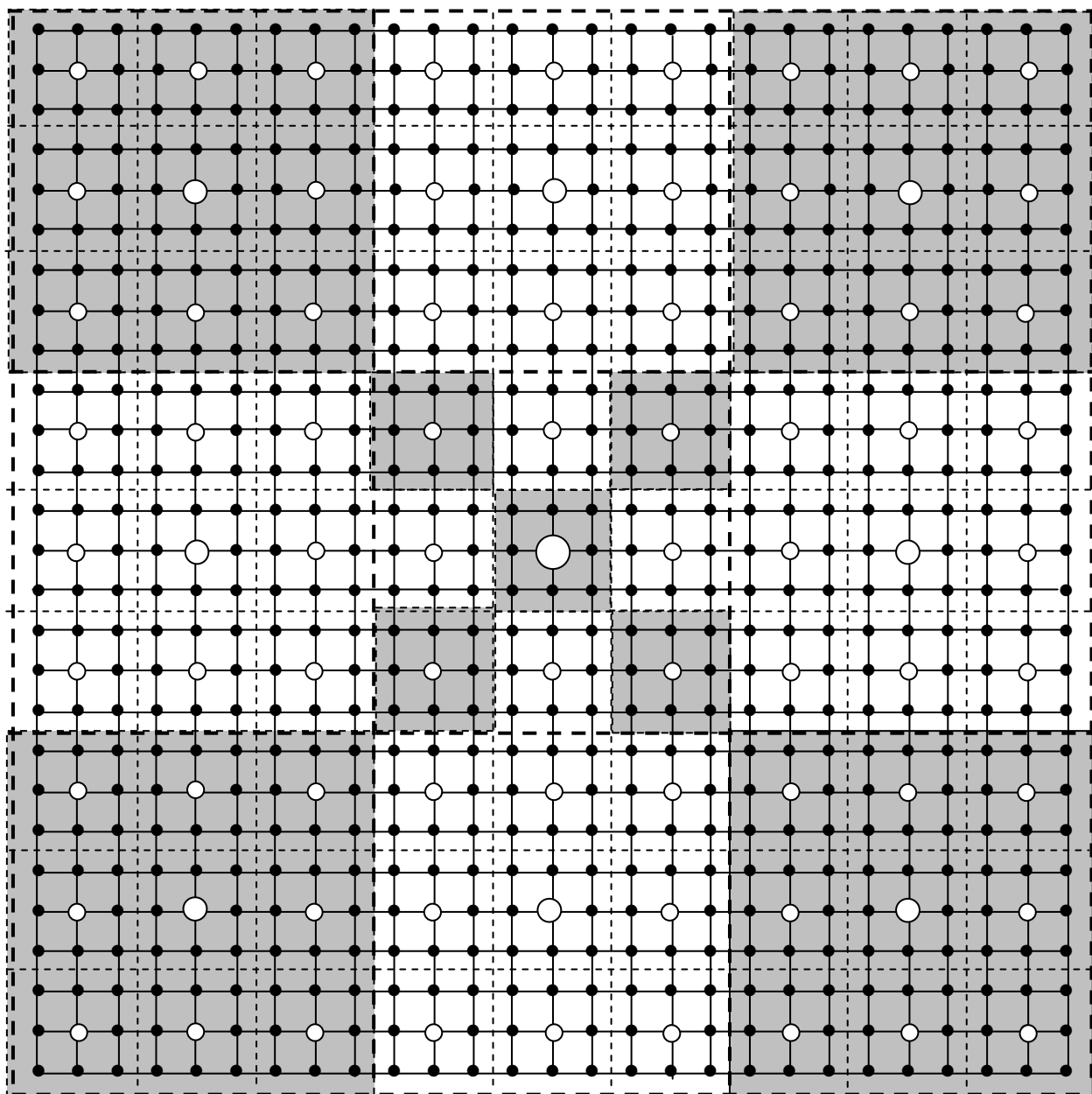
Розглянемо вплив структури мережі поштового зв'язку на вартість основних логістичних операцій – перевезення й оброблення поштових одиниць на умовному прикладі, наведеному на рис. 2.4.

Умовна мережа поштового зв'язку містить 729 вузлів (відділень) зв'язку, що розташовані у вузлах прямокутних ґрат розміром 27×27 і пов'язані між собою горизонтальними та вертикальними шляхами; протяжність шляху між будь-якими сусідніми вузлами дорівнює одиниці.

Як вузли виступають:

- головний вузол (ГВ), розташований в центральному вузлі ґрат;
- обласні вузли (ОВ), розташовані в центральних вузлах частин ґрат розміром 9×9 ;
- районні вузли (РВ), розташовані в центральних вузлах частин ґрат розміром 3×3 ;
- відділення зв'язку (ВЗ), розташовані в усіх вузлах ґрат.

Для наочності відповідні частини ґрат виділені.



- головний вузол
- обласний вузол
- районний вузол
- відділення зв'язку

Рисунок 2.4 – Умовна мережа поштового зв'язку

У табл. 2.3 наведено значення кількості та загальної і середньої протяжностей поштових маршрутів між об'єктами мережі поштового зв'язку (рис. 2.4).

Таблиця 2.3 – Кількість та загальна і середня протяжності поштових маршрутів

Поштові маршрути	Кількість поштових маршрутів	Протяжності поштових маршрутів	
		Загальні	Середні
ВЗ – ГВ – ВЗ	728	19656	27
РВ – ГВ – РВ	80	2160	27
ОВ – ГВ – ОВ	8	216	27
ВЗ – ОВ – ВЗ	720	6480	9
РВ – ОВ – РВ	72	648	9
ВЗ – РВ – ВЗ	648	1944	3

Розглянемо чотири варіанти організації мережі.

Варіант 1. Дворівнева мережа, в якій пересилання поштових одиниць здійснюється за схемою

ВЗ – ГВ – ВЗ.

Варіант 2. Трирівнева мережа, в якій пересилання поштових одиниць здійснюється за схемою

ВЗ – ОВ – ГВ – ОВ – ВЗ.

Варіант 3. Трирівнева мережа, в якій пересилання поштових одиниць здійснюється за схемою

ВЗ – РВ – ГВ – РВ – ВЗ.

Варіант 4. Чотирирівнева мережа, в якій пересилання поштових одиниць здійснюється за схемою

ВЗ – РВ – ОВ – ГВ – ОВ – РВ – ВЗ.

У табл. 2.4 наведено основні техніко-економічні показники мереж поштового зв'язку за зазначеними варіантами пересилання пошти (враховано дані табл. 2.3).

Таблиця 2.4 – Основні техніко-економічні показники мереж поштового зв'язку

Техніко-економічні показники мереж поштового зв'язку	Варіанти пересилання пошти			
	1	2	3	4
Кількість рівнів ієрархії об'єктів мереж поштового зв'язку	2	3	3	4
Загальна кількість поштових маршрутів	728	728	728	728
Загальна протяжність поштових маршрутів	19656	6696	4104	2808
Середня протяжність поштових маршрутів	27	36	30	39
Загальна кількість транзитних вузлів, задіяних в обробленні поштових одиниць	1	9	81	81
Кількість транзитних вузлів, задіяних в обробленні однієї поштової одиниці	1	3	3	5
Кількість поштових маршрутів, задіяних у перевезенні однієї поштової одиниці	2	4	4	6
Строки пересилання поштових одиниць	мінімальні	середні	середні	максимальні

З порівняння наведених варіантів випливає, що при збільшенні кількості рівнів ієрархії мережі сумарна протяжність поштових маршрутів багато-

разово зменшується, але, разом з цим, значно зростають витрати на оброблення пошти, пов'язані зі зростанням кількості вузлів, в яких це оброблення відбувається, і відповідним зростанням витрат на утримання виробничого і адміністративно-управлінського персоналу; збільшується час проходження поштових маршрутів як за рахунок їхнього подовження, так і за рахунок збільшення часу, що витрачається на оброблення поштових одиниць в об'єктах поштового зв'язку; суттєво ускладнюється синхронізація оброблення й перевезення поштових одиниць; виникає необхідність застосування авіап перевезень поштових одиниць для виконання установлених Міністерством інфраструктури України нормативних строків пересилання письмової кореспонденції між об'єктами мережі поштового зв'язку.

У табл. 2.5 наведено значення вартості перевезення й оброблення поштових одиниць для розглянутих чотирьох варіантів їхнього пересилання при значеннях вартості перевезення поштових одиниць, що дорівнює загальній протяжності відповідних поштових маршрутів, та значеннях вартості одного оброблення поштових одиниць в об'єктах поштового зв'язку, що дорівнює 100, 1000, 10000.

Таблиця 2.5 – Значення вартості перевезення й оброблення поштових одиниць

Варіант пересилання поштових одиниць	Вартість перевезення поштових одиниць	Кількість оброблень поштових одиниць	Сумарна вартість оброблення поштових одиниць при заданих значеннях вартості одного оброблення			Сумарна вартість перевезення й оброблення поштових одиниць при заданих значеннях вартості одного оброблення		
			100	1000	10000	100	1000	10000
1	19656	3	300	3000	30000	19956	22656	49656
2	6696	5	500	5000	50000	7196	11696	56696
3	4104	5	500	5000	50000	4604	9104	54104
4	2808	7	700	7000	70000	3508	9808	72808

Як випливає з табл. 2.5, у залежності від вартості одного оброблення поштових одиниць оптимальним за сумарною вартістю перевезення й оброблення поштових одиниць може бути перший, третій або четвертий варіанти пересилання поштових одиниць (мінімальні значення сумарної вартості перевезення й оброблення поштових одиниць виділені жирним шрифтом). Другий варіант принципово не може бути оптимальним, оскільки він завжди поступається третьому варіанту, який за тієї ж самої кількості оброблень поштових одиниць має меншу загальну протяжність поштових маршрутів.

Таким чином, спостерігається чітка залежність: *зі зростанням кількості рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку вартість перевезення поштових одиниць скорочується, а вартість їхнього оброблення – зростає.*

Подолання суперечностей табл. 2.5 є основною задачею структурної логістики поштового зв'язку.

Дані річних звітів національного оператора поштового зв'язку – Українського державного підприємства поштового зв'язку „Укрпошта” свідчать про те, що нині сумарні витрати на оброблення поштових одиниць багаторазово перевищують сумарні витрати на їхнє перевезення, внаслідок чого зменшення кількості рівнів ієрархії об'єктів мережі поштового зв'язку є актуальною проблемою.

У першому наближенні витрати на перевезення поштових одиниць $S_{\text{пер}}$ обернено, а витрати на оброблення поштових одиниць $S_{\text{обр}}$ – прямо пропорційні кількості r рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку

$$S_{\text{пер}} = \frac{A}{r}, \quad S_{\text{обр}} = Br,$$

де A і B – відповідно витрати на перевезення й оброблення поштових одиниць в мережі поштового зв'язку з об'єктами поштового зв'язку одного рівня ієрархії ($r = 1$).

Сумарні витрати на перевезення й оброблення поштових одиниць

$$S_{\Sigma} = S_{\text{пер}} + S_{\text{обр}} = \frac{A}{r} + Br.$$

Оптимальній кількості $r_{\text{опт}}$ рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку відповідає мінімальне значення $S_{\Sigma \text{мін}}$.

Диференціюючи S_{Σ} по r і прирівнюючи похідну нулю, знайдемо значення $r_{\text{опт}}$

$$S'_{\Sigma} = -\frac{A}{r^2} + B = 0,$$

звідки

$$r_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{A}{B}}, \quad S_{\Sigma \text{мін}} = 2\sqrt{AB}.$$

У табл. 2.6 наведено залежності $S_{\text{пер}}$, $S_{\text{обр}}$, S_{Σ} від r , а на рис. 2.5 графіки цих залежностей при $A = 9$, $B = 1$.

Таблиця 2.6 – Залежності $S_{\text{пер}}$, $S_{\text{обр}}$, S_{Σ} від r при $A = 9$, $B = 1$

r	1	2	3	4	5
$S_{\text{пер}}$	9,00	4,50	3,00	2,25	1,80
$S_{\text{обр}}$	1	2	3	4	5
S_{Σ}	10,00	6,50	6,00	6,25	6,80

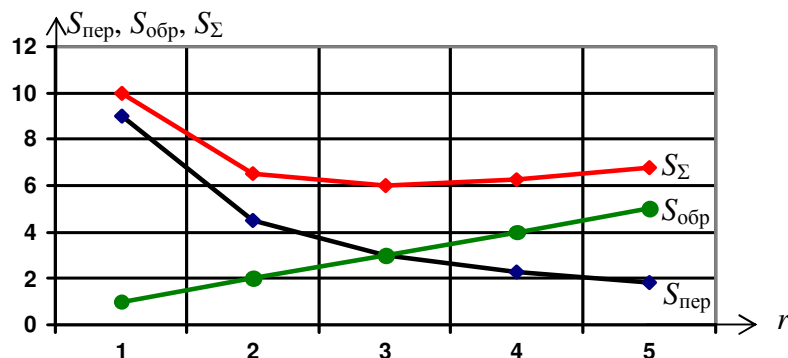


Рисунок 2.5 – Графіки залежностей $S_{\text{пер}}$, $S_{\text{обр}}$, S_{Σ} від r при $A = 9$, $B = 1$

Як випливає з табл. 2.6 і рис. 2.5, для наведених значень A і B , $r_{\text{опт}} = 3$, $S_{\Sigma \text{мін}} = 6$.

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.

Слід зазначити, що Другий Всеукраїнський форум працівників поштового зв'язку (Київ, 9 жовтня 2004 р.) визначив перехід від чотирирівневої до трирівневої структури мережі поштового зв'язку як стратегічну задачу національного оператора поштового зв'язку України.

На рис. 2.6 наведено співвідношення рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку чотирирівневої МПЗ АТ і трирівневої МПЗ ФТ.

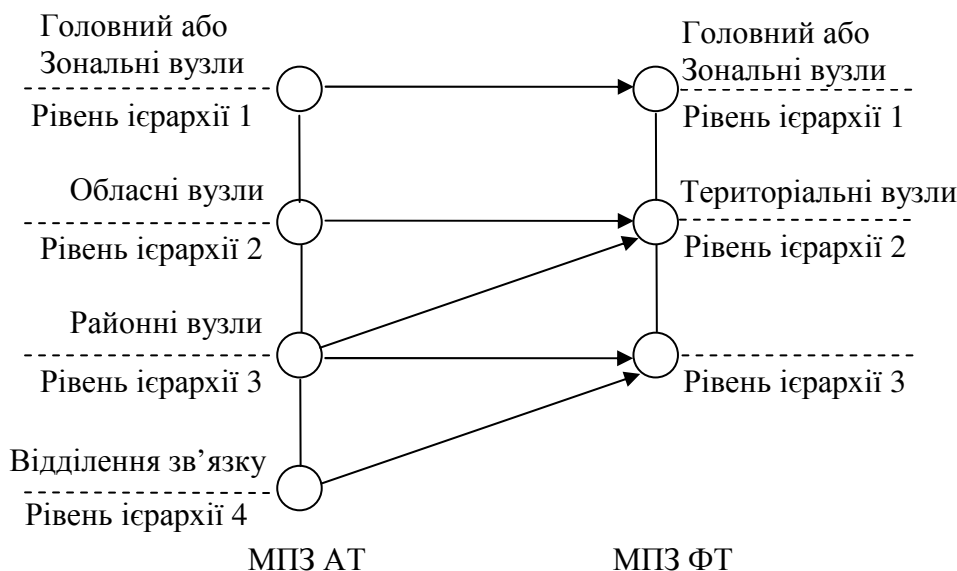


Рисунок 2.6 – Співвідношення рівнів ієрархії об'єктів поштового зв'язку чотирирівневої МПЗ АТ і трирівневої МПЗ ФТ

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.

2.3. Оптимізація кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку

Метою оптимізації кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку є забезпечення виконання нормативних показників якості послуг поштового зв'язку та ефективного управління об'єктами поштового зв'язку:

– забезпечення надання універсальних послуг поштового зв'язку визначеного рівня якості на території України за тарифами, що регулюються державою;

- забезпечення високої ефективності функціонування мережі поштового зв'язку;
- забезпечення мінімальних витрат на оброблення й перевезення поштових одиниць;
- забезпечення синхронізації оброблення й перевезення поштових одиниць тощо.

У загальному виді задача оптимізації кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку постає як задача знаходження n серед m об'єктів поштового зв'язку або населених пунктів, за якого задана цільова функція набуває екстремального (частіше за все – мінімального) значення.

У табл. 2.7 наведено приклади критеріїв оптимізації кількості та місць розташування відділень поштового зв'язку, територіальних вузлів поштового зв'язку, головного або зональних вузлів поштового зв'язку.

Таблиця 2.7 – Критерії оптимізації кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку

Об'єкти поштового зв'язку	Критерії оптимізації
Відділення поштового зв'язку	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забезпечення виконання установлених нормативів розміщення відділень поштового зв'язку за радіусом зони обслуговування. 2. Забезпечення виконання установлених нормативів розміщення відділень поштового зв'язку за чисельністю населення. 3. Забезпечення заданої нормативної протяжності доставних дільниць відділень поштового зв'язку.
Територіальні вузли поштового зв'язку	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забезпечення установленого часу проходження кільцевих територіальних маршрутів обмінювання поштових одиниць з підпорядкованими відділеннями поштового зв'язку. 2. Забезпечення обмежень на кількість підпорядкованих відділень поштового зв'язку для ефективного управління ними. 3. Забезпечення синхронізації оброблення й перевезення поштових одиниць на територіальному рівні.
Головний або зональні вузли поштового зв'язку	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забезпечення мінімуму об'ємів сортування поштових одиниць. 2. Забезпечення мінімальної сумарної протяжності магістральних поштових маршрутів. 3. Забезпечення мінімуму нормативних строків пересилання письмової кореспонденції. 4. Забезпечення синхронізації оброблення й перевезення поштових одиниць на магістральному рівні.

Зупинимось на оптимізації кількості та місць розташування головного або зональних вузлів, оскільки саме вони чинять основний вплив на структуру мережі поштового зв'язку.

Створення регіональних автоматизованих сортувальних центрів (РАСЦ) в єдиному головному вузлі або в декількох зональних вузлах пов'язане з необхідністю забезпечення високої ефективності автоматизованого оброблення поштових одиниць шляхом концентрації в зазначених вузлах значних поштових потоків та коштовних засобів автоматизованого оброблення поштових одиниць.

За наявності єдиного ГВ доцільність його розташування в Києві не викликає сумнівів, оскільки воно забезпечує:

- перевезення поштових одиниць між обласними центрами України за допомогою мінімальної кількості поштових маршрутів;
- мінімальну протяжність поштових маршрутів між обласними центрами України і Києвом, обумовлену географічним розташуванням головного вузла майже в центрі України;
- суттєве скорочення строків пересилання письмової кореспонденції та доставляння загальнодержавних періодичних видань в Україні;
- можливість переходу на одноразове відправлення й одноразове надходження поштових одиниць в обласних вузлах;
- використання єдиних шляхів проходження поштових маршрутів між обласними центрами України, що спрощує управління перевезеннями поштових одиниць;
- суміщення шляхів проходження матеріальних, документальних та інформаційних потоків поштового зв'язку;
- одноразове проходження поштових одиниць через головний вузол і, як наслідок, мінімальний обсяг їхнього оброблення;
- одночасне сортування вихідних, транзитних і вхідних поштових одиниць у головному вузлі та, як наслідок, мінімальні витрати часу на його здійснення;
- підвищення ефективності використання листосортувальних машин (ЛСМ), засобів автоматизації й механізації в головному вузлі за рахунок концентрації в ньому всіх міжобласних поштових потоків;
- суттєве спрощення проведення статистичних обстежень поштових потоків;
- створення єдиної мережі магістральних перевезень поштових одиниць і загальнодержавних періодичних видань;
- суттєве спрощення автоматизованої системи управління магістральними перевезеннями поштових одиниць і загальнодержавних періодичних видань;
- оперативне управління контейнерними перевезеннями поштових одиниць і загальнодержавних періодичних видань;
- відсутність необхідності розроблення планів повернення порожніх контейнерів;
- оперативний контроль строків пересилання поштових одиниць і загальнодержавних періодичних видань;
- суттєве спрощення розшуку втрачених поштових одиниць.

Перевагами створення декількох ЗВ є:

- можливість зменшення кількості напрямів сортування поштових одиниць, обумовлена розподілом загальної кількості напрямів сортування між ЗВ, і відповідного зменшення кількості накопичувачів ЛСМ, а, отже, і їхньої вартості;

- можливість досягнення мінімальної сумарної протяжності магістральних поштових маршрутів;

- можливість скорочення на одну добу нормативних строків пересилання письмової кореспонденції в межах кожного регіону.

Недоліками створення декількох ЗВ є:

- зниження концентрації поштових потоків у РАСЦ внаслідок їхнього розподілу між ЗВ;

- зростання загальної кількості коштовних РАСЦ;

- зростання загальної кількості ЛСМ у РАСЦ при їхньому неповному використанні, обумовлене наявністю перерв між сортуванням поштових одиниць, що надходять зі своїх регіонів, і поштових одиниць, що надходять з інших регіонів;

- зростання сумарних об'ємів сортування поштових одиниць, обумовлене необхідністю виділення поштових одиниць, що направляються з кожного ЗВ до решти ЗВ;

- зростання на одну добу строків пересилання поштових одиниць між об'єктами поштового зв'язку, розташованими в різних регіонах України, обумовлене зростанням кількості об'єктів поштового зв'язку та кількості поштових маршрутів, задіяних у пересиланні однієї поштової одиниці.

За наявності декількох ЗВ одним із них має бути вузол у Києві, а кількість та місця розташування решти ЗВ залежать від прийнятих критеріїв оптимальності їхнього визначення.

Як основні критерії оптимальності кількості та місць розташування ЗВ, окрім зазначених у табл. 2.7, можуть бути:

- кількість адміністративно-територіальних утворень в регіонах України;

- розміри територій регіонів України;

- природні межі (моря, озера, річки, водосховища, гірські хребти тощо);

- традиційні, економічні, історичні та культурні зв'язки населення регіонів України;

- щільність населення регіонів України тощо.

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

Не зупиняючись на аналізі цих даних, зауважимо лише, що створення відносно значної кількості ЗВ суперечить вимозі концентрації в них великих потоків письмової кореспонденції.

У зв'язку з цим підійдемо до оптимізації кількості та місць розташування ЗВ з суто наукових, а отже неупереджених позицій.

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

Розглянемо мережу поштового зв'язку, що містить g ТВ, на базі яких можуть створюватися h ЗВ.

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

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

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 ($125 \cdot 125 = 15625$);

– на другому етапі сортування кожна зі 125 груп, отриманих на першому етапі сортування, знов поділяється на 125 груп по одному напрямку в кожній, внаслідок чого створюється 15625 груп по одному напрямку в кожній ($15625 \cdot 1 = 15625$), а $P_c = 2P_{пк}$.

У мережі з h РАСЦ об'єми письмової кореспонденції в кожному з них визначаються елементами матриці розподілу потоків письмової кореспонденції, загальний вид якої наведений на рис. 2.7.

АСЦ	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 2.7 – Матриця розподілу потоків письмової кореспонденції між РАСЦ

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 пересилаються 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 пересилаються до регіону i з решти регіонів j .

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

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

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

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

Згідно з першим підходом усі РАСЦ, 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 РАСЦ 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 РАСЦ, $P_c = k P_{\text{пк}}$. Недоліком цього підходу є необхідність застосування в РАСЦ ЛСМ, кількість накопичувачів яких визначається кількістю напрямів сортування в мережі, а не в регіонах, а також необхідність формування і пересилання hm постпакетів з відсортованою письмовою кореспонденцією.

Згідно з другим підходом усі РАСЦ на першому етапі сортування здійснюють сортування письмової кореспонденції до ТВ усіх регіонів, після чого обмінюються цією кореспонденцією з РАСЦ 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 пересиланих постпакетів з hm до hg , а також забезпечує можливість проведення наступних етапів сортування як в РАСЦ, так і в ТВ. Недоліком цього підходу є наявність перерв між закінченням сортування власної письмової кореспонденції та початком сортування письмової кореспонденції, що надходить з решти РАСЦ.

Згідно з третім підходом усі РАСЦ 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 решту $h - 1$ регіонів, та обмінюються з ними цією несортованою кореспонденцією. Перевагою такого підходу є скорочення кількості напрямів сортування в РАСЦ з m до $m_i + h - 1$ ($i = 1, 2, \dots, h$) і відповідно скорочення кількості накопичувачів ЛСМ. Недоліком цього підходу є збільшення об'ємів сортування письмової кореспонденції решти регіонів, обумовлене необхідністю її виділення на першому етапі сортування, а також, як і при другому підході, наявність перерв між закінченням сортування власної письмової кореспонденції та початком сортування письмової кореспонденції, що надходить з решти РАСЦ.

За таких умов загальний об'єм сортування письмової кореспонденції в мережі з h РАСЦ складає

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

Оптимізація кількості та місць розташування ЗВ за критерієм мінімуму сумарної протяжності магістральних поштових маршрутів

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

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

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

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

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

Виходячи з того, що g – загальна кількість ТВ, а h – загальна кількість ЗВ, що створюються на базі зазначених ТВ, кількість внутрішньорегіональних маршрутів складає $g - h$ і зі зростанням h зменшується. Крім того, зі створенням нових ЗВ деякі ТВ 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 ЗВ 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 ЗВ 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 ТВ і ЗВ, 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. ЗВ та обрати серед них варіант з мінімальною сумарною протяжністю внутрішньорегіональних і міжрегіональних поштових маршрутів.

Про складність такого визначення вже йшлося раніше.

Втім, реально ЗВ в Україні можуть створюватися 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.

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 ЗВ.

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

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

Виходячи з цього

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

Диференціюючи отриману 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. 2.8 наведено розрахункові значення $L_{\Sigma\text{вр}} = \frac{2(g-h)}{\sqrt{h}}$, $L_{\Sigma\text{мр}} = h(h-1)$,

$L_{\Sigma} = \frac{2(g-h)}{\sqrt{h}} + h(h-1)$ у залежності від h при $g = 100$, а на рис. 2.8 – графіки

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

Таблиця 2.8 – Залежності $L_{\Sigma\text{вр}}$, $L_{\Sigma\text{мр}}$, 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
$L_{\Sigma\text{мр}}$	0	2	6	12	20	30	42	56	72	90
L_{Σ}	198	141	118	108	105	107	112	121	133	147

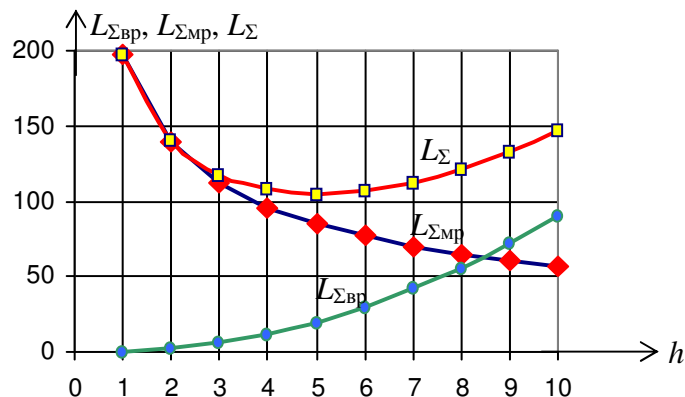


Рисунок 2.8 – Залежності $L_{\Sigma\text{вр}}$, $L_{\Sigma\text{мр}}$, L_{Σ} від h при $g = 100$

Як випливає з табл. 2.8 і рис. 2.8, при $g = 100$ мінімум сумарної протяжності внутрішньорегіональних і міжрегіональних маршрутів дійсно досягається при $h = 5$. Зазначимо, що такий самий результат утворюється і при уявленні території регіонів у формі будь-яких регулярних ґрат, наприклад, у формі рівновеликих правильних шестикутників, квадратів або рівносторонніх трикутників, тобто, правильних багатокутників, що забезпечують щільне укладання території регіонів на території країни.

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

За певних умов мінімізація нормативних строків пересилання письмової кореспонденції може бути досягнена за рахунок використання авіап перевезень письмової кореспонденції між ЗВ. Природно, що при цьому ЗВ 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 ЗВ наземним транспортом до її перевезень між цими ЗВ авіатранспортом.

Середній час перевезення письмової кореспонденції між найближчими ЗВ авіатранспортом складає близько 6 годин: по одній годині на перевезення письмової кореспонденції з ЗВ відправлення до аеропорту відправлення та із аеропорту призначення до ЗВ 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 ЗВ на 24 год. час пересилання письмової кореспонденції між цими ЗВ наземним транспортом повинен складати $24 + 6 = 30$ год. При середній швидкості перевезень письмової кореспонденції між ЗВ наземним транспортом 50 км/год. це відповідає відстані 1500 км між зазначеними ЗВ, тобто, в середньому, по 750 км в кожному регіоні.

Узагальнюючи зазначений підхід, неважко бачити, що при перевезенні письмової кореспонденції авіатранспортом між ЗВ, розташованими на відстанях 3000, 4500, 6000 км і т.д. через 1, 2, 3 і т.д. проміжних ЗВ, час проходження авіамаршрутів становитиме 12, 18, 24 і т.д. год., а час проходження відповідних наземних маршрутів $48 + 12 = 60$, $72 + 18 = 90$, $96 + 24 = 120$ год. 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 ЗВ, його територія складе 1766250 кв. км. Оскільки територія України складає усього 0,6 млн. кв. км, доходимо висновку, що упровадження авіап перевезень письмової кореспонденції між ЗВ 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 ЗВ, а в Росії, територія якої перевищує 17 млн. кв. км, – 10 ЗВ.

2.4. Оптимізація розподілу операцій оброблення письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку

Оброблення письмової кореспонденції – складний і трудомісткий процес, що включає ряд технологічних операцій, види і кількість яких визначається багатьма факторами, основними з яких є структури мереж поштового зв'язку і розподіл зазначених операцій між об'єктами поштового зв'язку. Як вже зазначалося, сучасні тенденції автоматизації оброблення письмової кореспонденції засновані на створенні РАСЦ в єдиному Головному вузлі поштового зв'язку або в декількох Зональних вузлах поштового зв'язку.

Найбільш поширеними в країнах СНД є ієрархічні мережі поштового зв'язку, побудовані за адміністративно-територіальним принципом, – чотирирівневі (Головний вузол або Зональні вузли, Обласні вузли, Районні вузли, Відділення зв'язку) в країнах з обласним поділом або трирівневі (Головний вузол або Зональні вузли, Територіальні вузли, Відділення зв'язку) в країнах без обласного поділу. Хоча Доставні дільниці не є об'єктами поштового зв'язку, вони створюють ще один рівень сортування письмової кореспонденції.

Наявність різних варіантів розподілу операцій оброблення письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку різних рівнів ієрархії обумовлена принциповою можливістю виконання операцій сортування письмової кореспонденції в будь-яких об'єктах, рівні ієрархії яких перевищують рівні ієрархії об'єктів, в які ця письмова кореспонденція спрямовується, наприклад, в чотирирівневій мережі поштового зв'язку сортування до Доставних дільниць може виконуватися в Головному або Зональних вузлах; в Обласних вузлах; в Районних вузлах; у Відділеннях зв'язку.

На рис. 2.9 наведені можливі варіанти розподілу операцій оброблення письмової кореспонденції між об'єктами трирівневої мережі поштового зв'язку з триетапним сортуванням письмової кореспонденції (ГВ – Головний вузол; ЗВ – Зональний вузол; ТВ – Територіальний вузол; ВЗ – Відділення зв'язку; ДД – Доставка дільниця). Операції оброблення письмової кореспонденції в Зональних вузлах поштового зв'язку, що відносяться до об'єктів поштового зв'язку власних регіонів і до об'єктів поштового зв'язку інших регіонів, розділені.

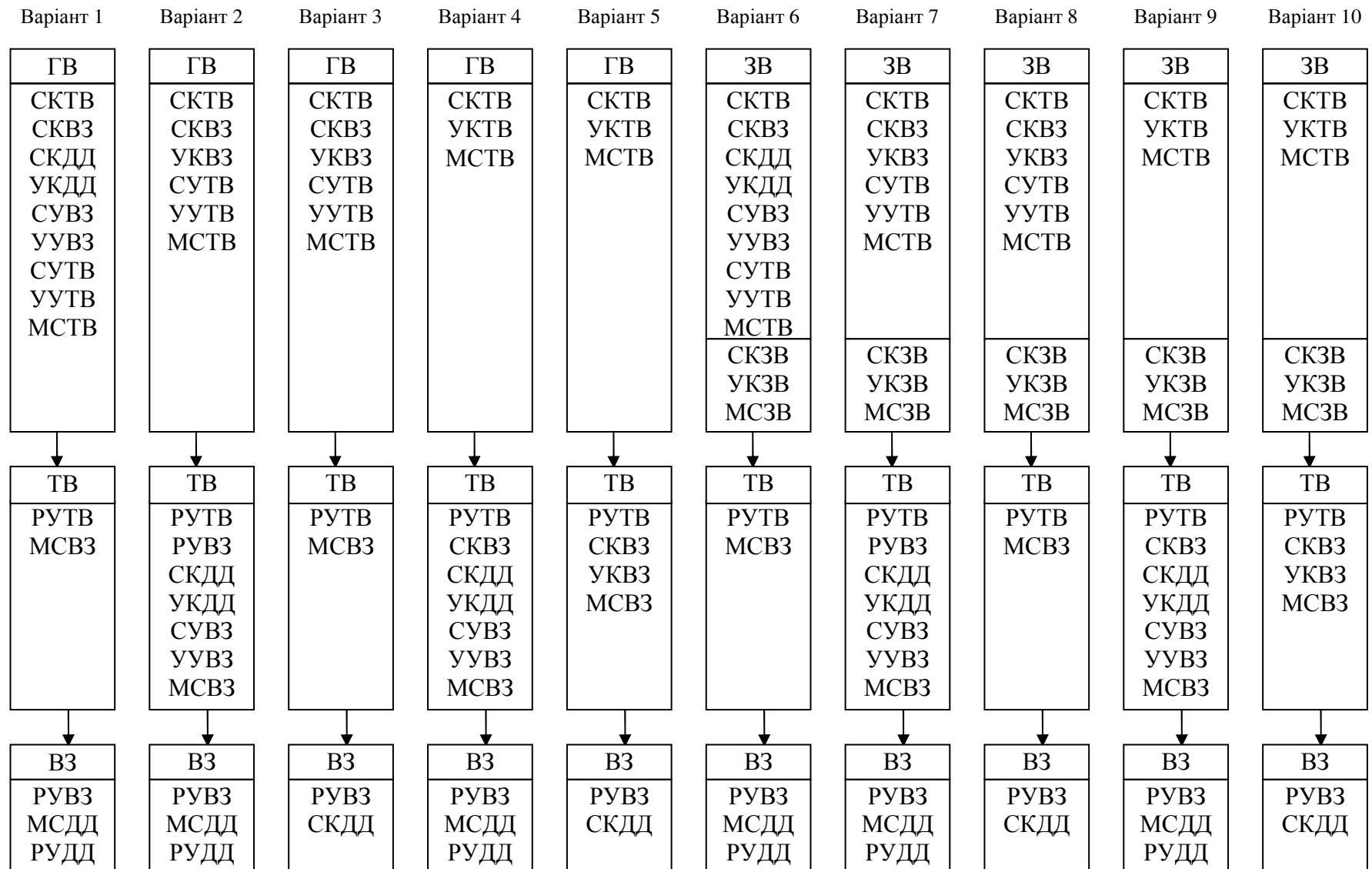


Рисунок 2.9 – Варіанти оброблення письмової кореспонденції в трирівневих мережах поштового зв'язку з триетапним сортуванням письмової кореспонденції

Прийняті наступні аббревіатури операцій оброблення письмової кореспонденції:

МСВЗ – маршрутне сортування до Відділень зв'язку;
 МСДД – маршрутне сортування до Доставних дільниць;
 МСЗВ – маршрутне сортування до Зональних вузлів;
 МСТВ – маршрутне сортування до Територіальних вузлів;
 РУВЗ – розпакування упаковок до Відділень зв'язку;
 РУДД – розпакування упаковок до Доставних дільниць;
 РУЗВ – розпакування упаковок до Зональних вузлів;
 РУТВ – розпакування упаковок до Територіальних вузлів;
 СКВЗ – сортування кореспонденції до Відділень зв'язку;
 СКДД – сортування кореспонденції до Доставних дільниць;
 СКЗВ – сортування кореспонденції до Зональних вузлів;
 СКТВ – сортування кореспонденції до Територіальних вузлів;
 СУВЗ – сортування упаковок до Відділень зв'язку;
 СУЗВ – сортування упаковок до Зональних вузлів;
 СУТВ – сортування упаковок до Територіальних вузлів;
 УКВЗ – упакування кореспонденції до Відділень зв'язку;
 УКДД – упакування кореспонденції до Доставних дільниць;
 УКЗВ – упакування кореспонденції до Зональних вузлів;
 УКТВ – упакування кореспонденції до Територіальних вузлів;
 УУВЗ – упакування упаковок до Відділень зв'язку;
 УУТВ – упакування упаковок до Територіальних вузлів.

У табл. 2.9 наведені місця сортування письмової кореспонденції, що відповідають розглядуваним варіантам оброблення письмової кореспонденції.

Таблиця 2.9 – Місця сортування письмової кореспонденції

Види сортування письмової кореспонденції	Варіанти оброблення письмової кореспонденції									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сортування до ЗВ країни						ЗВ	ЗВ	ЗВ	ЗВ	ЗВ
Сортування до ТВ країни	ГВ	ГВ	ГВ	ГВ	ГВ					
Сортування до ТВ регіонів						ЗВ	ЗВ	ЗВ	ЗВ	ЗВ
Сортування до ВЗ країни	ГВ	ГВ	ГВ							
Сортування до ВЗ регіонів						ЗВ	ЗВ	ЗВ		
Сортування до ВЗ територій				ТВ	ТВ				ТВ	ТВ
Сортування до ДД країни	ГВ									
Сортування до ДД регіонів						ЗВ				
Сортування до ДД територій		ТВ		ТВ			ТВ		ТВ	
Сортування до ДД Відділень зв'язку			ВЗ		ВЗ			ВЗ		ВЗ

Як випливає з табл. 2.9, у мережах поштового зв'язку з ГВ (варіанти 1 – 5) виконується три сортування письмової кореспонденції – до ТВ, до ВЗ, до ДД, а в мережах поштового зв'язку з ЗВ (варіанти 6 – 10) – чотири сортування письмової кореспонденції – до ЗВ, до ТВ, до ВЗ, до ДД.

У табл. 2.10 наведено техніко-економічні показники оброблення письмової кореспонденції, що відповідають розглядуваним варіантам оброблення письмової кореспонденції.

Таблиця 2.10 – Техніко-економічні показники варіантів оброблення письмової кореспонденції

Техніко-економічні показники	Варіанти оброблення письмової кореспонденції									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна кількість операцій оброблення письмової кореспонденції	14	16	10	13	9	17	19	13	16	12
Кількість сортувань письмової кореспонденції	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
Кількість сортувань упаковок письмової кореспонденції	5	5	3	4	2	6	6	4	5	3
Загальна кількість сортувань письмової кореспонденції та упаковок письмової кореспонденції	8	8	6	7	5	10	10	8	9	7
Кількість упакувань – розпакувань письмової кореспонденції	6	8	4	6	4	7	9	5	7	5
Кількість перевезень письмової кореспонденції	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3

У варіантах 1, 6 сортування письмової кореспонденції до об'єктів поштового зв'язку усіх рівнів ієрархії зосереджене в ГВ або ЗВ, внаслідок чого ці варіанти найбільшою мірою відповідають вимогам автоматизованого сортування письмової кореспонденції в РАСЦ.

В інших варіантах сортування письмової кореспонденції розподілене між об'єктами поштового зв'язку різних рівнів ієрархії, внаслідок чого вони можуть розглядатися як такі, що відповідають вимогам комбінованого сортування письмової кореспонденції – автоматизованого в ГВ або ЗВ і ручного в ТВ або ВЗ, наприклад, автоматизованого сортування письмової кореспонденції до ЗВ, ТВ, ВЗ і ручного сортування до ДД (варіанти 2, 3, 7, 8) або автоматизованого сортування письмової кореспонденції до ЗВ, ТВ і ручного сортування до ВЗ, ДД (варіанти 4, 5, 9, 10).

Необхідно зауважити, що незначна кількість ЗВ звичайно дозволяє об'єднати сортування письмової кореспонденції до цих об'єктів з сортуванням до ТВ, внаслідок чого кількість сортувань письмової кореспонденції у варіантах 6 – 10 також стає рівною трьом.

У чотирирівневих мережах з ГВ або ЗВ до наведених на рис. 2.9 і в табл. 2.9 операціям оброблення письмової кореспонденції додаються операції сортування, упакування, сортування упаковок, маршрутного сортування, розпакування упаковок письмової кореспонденції, що спрямовується до Обласних вузлів поштового зв'язку, а також перевезень письмової кореспонденції між ГВ або ЗВ і Обласними вузлами, внаслідок чого техніко-економічні показники усіх варіантів оброблення письмової кореспонденції суттєво погіршуються.

Перехід від ручного оброблення письмової кореспонденції до автоматизованого, з одного боку, призводить до збільшення кількості виконуваних операцій, а з іншого – відкриває можливість автоматизованого сортування до ДД не за три, як при ручному сортуванні, а за два етапи сортування.

Враховуючи, що кількість накопичувачів ЛСМ при її стандартному комплектуванні, як правило, складає близько 200, можливо за два етапи відсортувати письмову кореспонденцію на $200 \cdot 200 = 40000$ напрямів, що реально збігається з кількістю ДД в Україні.

Слід враховувати, що реалізація такої можливості вимагає відмови від прийнятої схеми триетапного сортування письмової кореспонденції до реальних об'єктів поштового зв'язку і переходу до схеми двоетапного сортування до ДД, в якій перший етап сортування виконується до 200 Віртуальних об'єктів поштового зв'язку, а другий етап – до 40000 ДД з подальшим формуванням упаковок письмової кореспонденції до реальних об'єктів поштового зв'язку.

Не можна не зазначити, що розглянуті варіанти організації оброблення письмової кореспонденції значною мірою є ідеалізованими. Насправді усе значно складніше.

По-перше, у наведених варіантах оброблення письмової кореспонденції не врахована наявність залежності глибини сортування письмової кореспонденції від характеру об'єктів поштового зв'язку й об'ємів письмової кореспонденції, що до них направляється, наприклад:

- сортування письмової кореспонденції до ДД мегаполіса, в якому розташований РАСЦ;
- сортування письмової кореспонденції до ВЗ міст обслуговуваного РАСЦ регіону;
- сортування письмової кореспонденції до ТВ сільських місцевостей обслуговуваного РАСЦ регіону;
- сортування письмової кореспонденції до ЗВ або до центрів адміністративних утворень інших регіонів.

По-друге, у наведених варіантах оброблення письмової кореспонденції не врахована специфіка оброблення різних видів письмової кореспонденції (міжнародної, внутрішньої, місцевої, пріоритетної, авіа, простої, рекомендованої і т.п.). Оскільки зазначені види письмової кореспонденції оброблюються за різними технологіями, при виконанні тих чи інших операцій оброблення письмової кореспонденції виникає необхідність розділення або об'єднання тих або інших видів цієї письмової кореспонденції, що призводить до суттєвого зниження ефективності автоматизованого оброблення письмової кореспонденції.

По-третє, у наведених варіантах оброблення письмової кореспонденції не врахована та обставина, що на маршрутах перевезення упаковок письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку вищих рівнів ієрархії можуть знаходитися (і частіше за все знаходяться, особливо при наземних перевезеннях письмової кореспонденції) об'єкти поштового зв'язку нижчих рівнів ієрархії, упаковки письмової кореспонденції яких знаходяться усередині упаковок письмової кореспонденції зазначених об'єктів поштового зв'язку вищих рівнів ієрархії, що перевозяться цими маршрутами, внаслідок чого їх виділення в процесі сортування не лише скоротило б строки пересилання цієї письмової кореспонденції, але й призвело б до виключення зустрічних перевезень письмової кореспонденції.

2.5. Синхронізація оброблення й перевезення поштових одиниць

Синхронізація (узгодження) оброблення й перевезення поштових одиниць полягає у визначенні допустимих інтервалів часу, в які зазначені оброблення й перевезення повинні укладатися за умов забезпечення виконання установлених Міністерством інфраструктури України нормативних строків пересилання письмової кореспонденції.

Пересилання письмової кореспонденції за найбільш складною схемою між сільськими населеними пунктами України в МПЗ АТ2 включає 35 укрупнених операцій:

- виймання письмової кореспонденції з поштових скриньок та приймання поштових одиниць в населеному пункті поштарем;
- проходження поштарем поштового маршруту *Населений пункт – Відділення зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Населений пункт – Відділення зв'язку* та відділенням зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовими маршрутами *Населений пункт – Відділення зв'язку*, у відділенні зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між відділенням зв'язку та поштовим маршрутом *Відділення зв'язку – Районний вузол зв'язку*;
- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Відділення зв'язку – Районний вузол зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Відділення зв'язку – Районний вузол зв'язку* та районним вузлом зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовими маршрутами *Відділення зв'язку – Районний вузол зв'язку*, в районному вузлі зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між районним вузлом зв'язку та поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку*;
- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку* та обласним вузлом зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли з поштових маршрутів *Районний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку*, в обласному вузлі зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між обласним вузлом зв'язку та поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку*;
- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку* та зональним вузлом зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовими маршрутами *Обласний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку*, в зональному вузлі зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між зональним вузлом зв'язку та поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку*;

- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку* та зональним вузлом зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Зональний вузол зв'язку*, в зональному вузлі зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між зональним вузлом зв'язку та поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку*;
- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку* та обласним вузлом зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовим маршрутом *Зональний вузол зв'язку – Обласний вузол зв'язку*, в обласному вузлі зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між обласним вузлом зв'язку та поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Районний вузол зв'язку*;
- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Районний вузол зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Районний вузол зв'язку* та районним вузлом зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовим маршрутом *Обласний вузол зв'язку – Районний вузол зв'язку*, в районному вузлі зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між районним вузлом зв'язку та поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Відділення зв'язку*;
- перевезення поштових одиниць поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Відділення зв'язку*;
- обмінювання поштових одиниць між поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Відділення зв'язку* та відділенням зв'язку;
- оброблення поштових одиниць, що надійшли поштовим маршрутом *Районний вузол зв'язку – Відділення зв'язку*, у відділенні зв'язку;
- обмінювання поштових одиниць між відділенням зв'язку та поштовим маршрутом *Відділення зв'язку – Населений пункт*;
- проходження поштарем поштового маршруту *Відділення зв'язку – Населений пункт*;
- доставляння (вручення) поштарем поштових одиниць і періодичних видань у населеному пункті.

Зазначена схема вже через свою громіздкість призводить до суттєвих затримок у пересиланні поштових одиниць, обумовлених труднощами синхронізації перевезення поштових одиниць з їхнім обробленням у вузлах мережі всіх рівнів ієрархії.

Для зменшення зайвих витрат часу на пересилання письмової кореспонденції, яке включає час очікування і час виконання операцій обмінювання,

оброблення й перевезення поштових одиниць, зазначені операції повинні бути синхронізовані між собою.

Сукупність прямих радіальних маршрутів: *Зональний вузол – Обласний вузол; Обласний вузол – Районний вузол; Районний вузол – Відділення зв'язку; Відділення зв'язку – Населений пункт (доставна ділянка)* можна уявити у виді прямого віртуального маршруту *Зональний вузол – Обласний вузол – Районний вузол – Відділення зв'язку – Населений пункт (доставна ділянка)*, а сукупність зворотних радіальних маршрутів: *Населений пункт (доставна ділянка) – Відділення зв'язку; Відділення зв'язку – Районний вузол; Районний вузол – Обласний вузол; Обласний вузол – Зональний вузол* – у виді зворотного віртуального маршруту *Населений пункт (доставна ділянка) – Відділення зв'язку – Районний вузол – Обласний вузол – Зональний вузол*. При цьому оброблення поштових одиниць виконується під час зупинок зазначених віртуальних маршрутів у зональних вузлах, обласних вузлах, районних вузлах, відділеннях зв'язку.

Реальні маршрути перевезення поштових одиниць, сукупність яких створює відповідний віртуальний маршрут, синхронізовані, якщо виконуються умови:

- інтервали часу перевезення поштових одиниць реальними поштовими маршрутами не перехрещуються;

- сумарна тривалість сукупності інтервалів часу перевезення поштових одиниць реальними поштовими маршрутами не перевищує максимального значення загальної тривалості інтервалу часу перевезення поштових одиниць відповідним віртуальним маршрутом.

Допустимі інтервали часу, в які повинно укладатися проходження поштових маршрутів, визначаються виходячи з необхідності забезпечення установлених Міністерством інфраструктури України нормативних строків пересилання письмової кореспонденції в Україні.

На рис. 2.10 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 ЗВ автомобільного транспорту та використання для цих перевезень авіаційного транспорту (в останньому випадку на рис. 2.10 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 пись-

мової кореспонденції в сільських населених пунктах в день надходження;

– час готовності до відправлення письмової кореспонденції з ТВ в районних центрах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та з РВ МПЗ АТ1, МПЗ АТ2 – 16.00;

– час готовності до відправлення письмової кореспонденції з ТВ 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 потрапляння в автомобільні затори;

– 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.

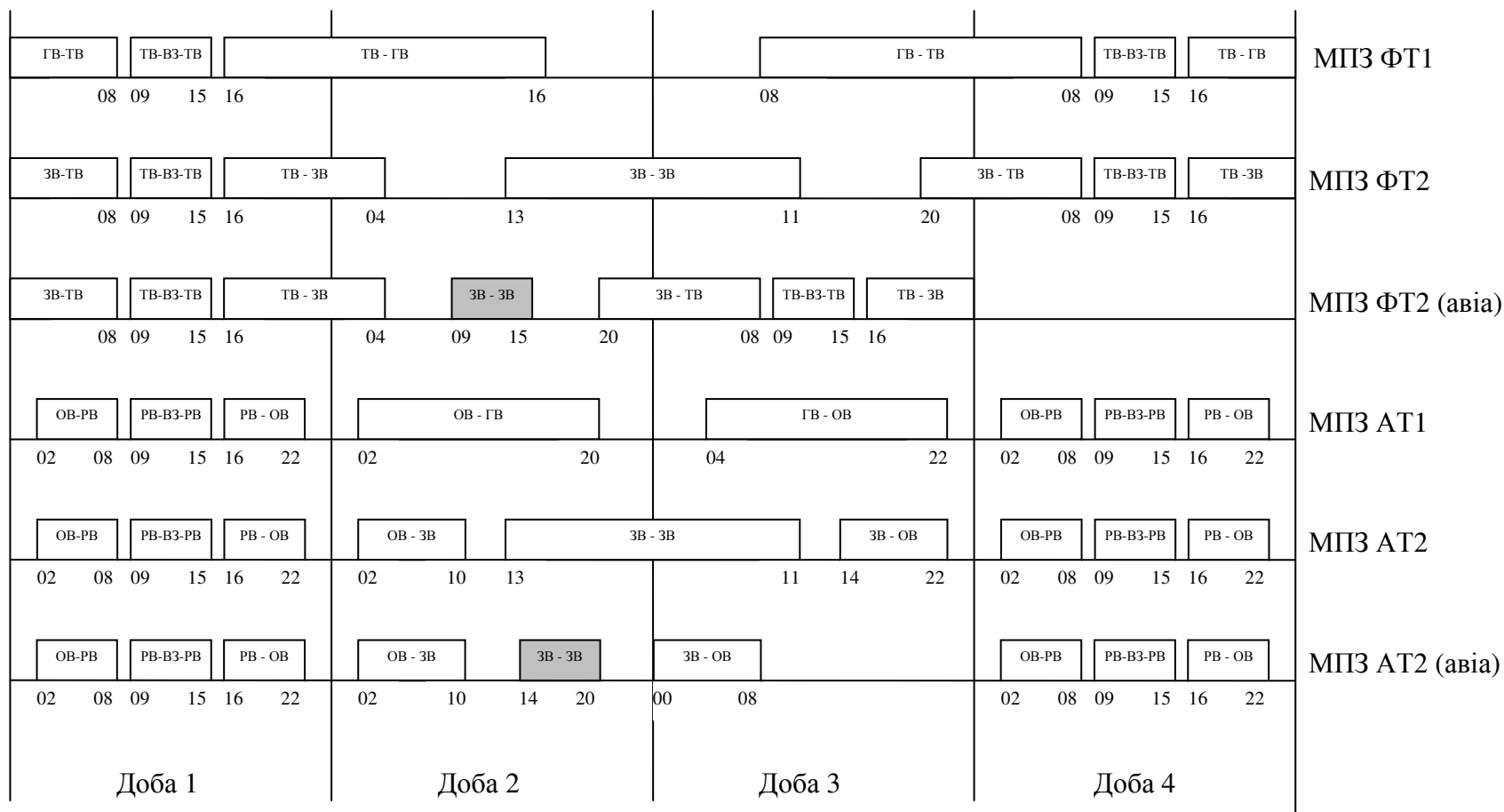


Рисунок 2.10 – Часові діаграми пересилання письмової кореспонденції в мережах поштового зв'язку

У табл. 2.11 наведено розрахункові 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 Міністерством інфраструктури України.

Таблиця 2.11 – 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 + 3	Д + 2	Д + 2	Д + 3	Д + 2	Д + 2	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 + 2	Д + 3
Між районними центрами однієї області	Д + 3	Д + 2	Д + 2	Д + 3	Д + 2	Д + 2	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 + 3	Д + 2	Д + 2	Д + 3	Д + 2	Д + 2	Д + 3
Між населеними пунктами областей одного регіону	–	Д + 2	Д + 2	–	Д + 2	Д + 2	–
Між населеними пунктами областей України	Д + 3	Д + 3	Д + 2	Д + 3	Д + 3	Д + 3	Д + 5

З приводу наведених у табл. 2.11 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 Міністерством інфраструктури України, збігаються або на 1 – 2 доби перевищують відповідні розрахункові строки пересилання письмової кореспонденції в МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2, внаслідок чого не стимулюють підвищення якості послуг поштового зв'язку;

– розрахункові 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 до скорочення на одну добу розрахункових строків пересилання

письмової кореспонденції між усіма зазначеними об'єктами поштового зв'язку, розташованими в різних регіонах, а в МПЗ АТ2 – лише між обласними центрами, розташованими в різних регіонах;

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

Стосовно доставних поштових маршрутів слід зазначити, що сільські поштарі, як правило, мешкають в населених пунктах, які вони обслуговують, а розклади їхнього руху за маршрутами *Сільський населений пункт – Сільське відділення зв'язку* і *Сільське відділення зв'язку – Сільський населений пункт* узгоджуються з часом обмінювання поштових одиниць між зазначеними відділеннями зв'язку і кільцевими маршрутами ТВ – ВЗ – ТВ або РВ – ВЗ – РВ. При цьому для скорочення витрат на проходження зазначених маршрутів обслуговування населення і виймання кореспонденції з поштових скриньок у сільських населених пунктах виконується лише на маршруті *Сільське відділення зв'язку – Сільський населений пункт*, внаслідок чого маршрутом *Сільський населений пункт – Сільське відділення зв'язку* у сільське відділення зв'язку надходить письмова кореспонденція минулого дня.

З викладеного випливає, що пересилання поштових одиниць в ієрархічних мережах поштового зв'язку складається з їхнього оброблення й перевезення на всіх рівнях ієрархії.

Як приклад, на рис. 2.11 наведено загальний вид графіка пересилання поштових одиниць через усі рівні ієрархії МПЗ АТ2.

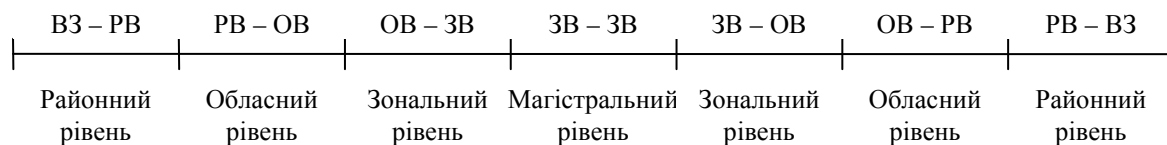


Рисунок 2.11 – Загальний вид графіка пересилання поштових одиниць в ієрархічній мережі поштового зв'язку

Пересилання поштових одиниць на кожному з рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку являє собою циклічний процес.

Як випливає з рис. 2.11, цикли пересилання поштових одиниць на кожному з однойменних рівнів поштової ієрархії виявляються розірваними, що ускладнює визначення таких важливих показників, пов'язаних з циклічністю, як кількість автомобілів, необхідних для перевезень поштових одиниць; кількість робочих місць, необхідних для оброблення поштових одиниць; розподіл у часі вхідного, вихідного та транзитного навантаження вузлів тощо.

Виходячи з цього, пересилання поштових одиниць в ієрархічній мережі поштового зв'язку доцільно подавати та аналізувати у виді взаємопов'язаних циклів, кожний з яких відбиває оброблення й перевезення поштових одиниць на відповідному рівні ієрархії.

На рис. 2.12 наведено фрагмент взаємопов'язаних циклів оброблення й перевезення поштових одиниць.

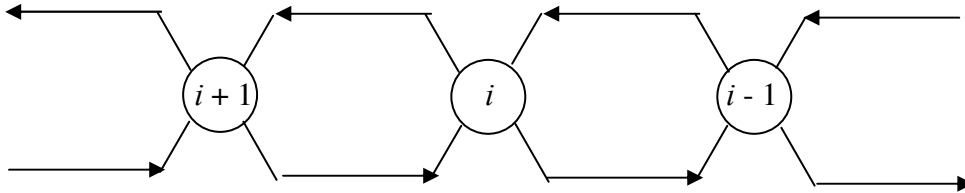


Рисунок 2.12 – Фрагмент взаємопов'язаних циклів оброблення й перевезення поштових одиниць

Оскільки тривалість кожного циклу $T_{\text{ц}}$ (год.) повинна бути не меншою ніж сума тривалостей перевезення поштових одиниць $T_{\text{пер}}$, оброблення поштових одиниць $T_{\text{обр}}$, простоювання автомобіля $T_{\text{пр}}$ та обслуговування автомобіля $T_{\text{авт}}$ на відповідному рівні, то

$$T_{\text{ц}} \geq T_{\text{пер}} + T_{\text{обр}} + T_{\text{пр}} + T_{\text{авт}}.$$

Враховуючи, що періодичність кожного циклу $T_{\text{ц}}$ дорівнює одній добі, а його тривалість складає ціле число діб

$$T_{\text{ц}} = \left\lceil \frac{T_{\text{пер}} + T_{\text{обр}} + T_{\text{пр}} + T_{\text{авт}}}{24} \right\rceil 24,$$

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

Кількість автомобілів, необхідна для перевезень поштових одиниць на зазначеному рівні, складає

$$N = \frac{T_{\text{ц}}}{24}.$$

З розгляду рис. 2.12 випливає, що в ієрархічній мережі поштового зв'язку повинна виконуватися як міжциклова, так і внутрішньоциклова синхронізація оброблення й перевезення поштових одиниць.

На рис. 2.13 наведено ілюстрацію синхронізації поштових маршрутів у вузлі поштового зв'язку рівня ієрархії i .

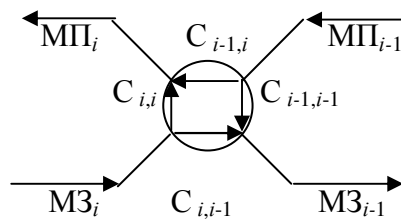


Рисунок 2.13 – Ілюстрація синхронізації поштових маршрутів у вузлі поштового зв'язку

Як випливає з рис. 2.13, у вузлі рівня ієрархії i повинні бути синхронізовані поштові маршрути:

- прямий маршрут $МП_{i-1}$ більш високого рівня ієрархії з прямим маршрутом $МП_i$ більш низького рівня ієрархії (синхронізація $C_{i-1,i}$);
- зворотний маршрут $МЗ_i$ більш низького рівня ієрархії зі зворотним маршрутом $МЗ_{i-1}$ більш високого рівня ієрархії (синхронізація $C_{i,i-1}$);

- прямий маршрут $МП_{i-1}$ більш високого рівня ієрархії зі зворотним маршрутом $МЗ_{i-1}$ цього ж рівня ієрархії (синхронізація $C_{i-1,i-1}$);
- зворотний маршрут $МЗ_i$ більш низького рівня ієрархії з прямим маршрутом $МП_i$ цього ж рівня ієрархії (синхронізація $C_{i,i}$).

Різний час, потрібний для проходження різних циклів, потребує визначення моментів початку і закінчення відповідних інтервалів синхронізації оброблення й перевезення поштових одиниць на всіх рівнях ієрархії.

Враховуючи, що поштові маршрути надходять у зазначені вузли і відправляються з них неодноразово, фактичні значення інтервалів часу, що виділяються на оброблення поштових одиниць в цих вузлах, значно розширюються, а наведені на рис. 2.10 орієнтовні значення відносяться, здебільшого, до оброблення тих поштових одиниць, що надходять до них з останніми маршрутами і відправляються з них з першими.

Порушення синхронізації оброблення й перевезення поштових одиниць чинить неоднозначний вплив на техніко-економічні показники мережі поштового зв'язку.

Порушення міжциклової синхронізації $C_{i-1,i}$ або $C_{i,i-1}$ призводить до зростання нормативних строків пересилання поштових одиниць на одну добу.

Порушення внутрішньоциклової синхронізації $C_{i-1,i-1}$ або $C_{i,i}$ призводить до зростання кількості автомобілів, що використовуються для перевезень поштових одиниць, на одиницю.

Як у першому, так і в другому випадку тривалості інтервалів часу, що виділяється на оброблення поштових одиниць, зростають, а витрати на оброблення поштових одиниць зменшуються за рахунок зменшення кількості робочих місць або засобів автоматизованого оброблення поштових одиниць у вузлах мережі.

2.6. Адаптація оброблення й перевезення поштових одиниць до змін об'ємів поштових потоків

У мережі поштового зв'язку спостерігаються багаторазові зміни об'ємів поштових потоків за годинами, днями, тижнями, місяцями, сезонами, святами.

На рис. 2.14 наведено основні причини нерівномірності поштових потоків.

Нерівномірність поштових потоків викликає значні ускладнення в роботі об'єктів поштового зв'язку і коливання перевезень поштових одиниць й періодичних видань.

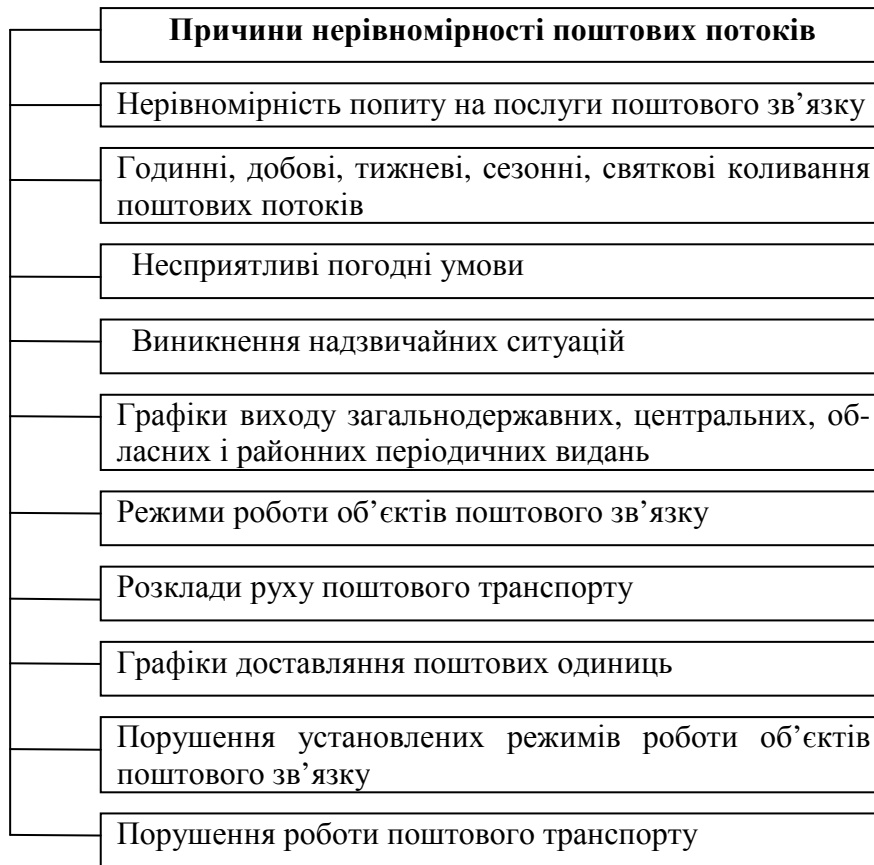


Рисунок 2.14 – Основні причини нерівномірності поштових потоків

На рис. 2.15 наведено можливі логістичні режими роботи об'єктів поштового зв'язку та наслідки нерівномірності поштових потоків.



Рисунок 2.15 – Логістичні режими роботи об'єктів поштового зв'язку та наслідки нерівномірності поштових потоків

Адаптація оброблення й перевезення поштових одиниць до змін об'ємів поштових потоків полягає в здійсненні змін пропускних спроможностей об'єктів поштового зв'язку і транспортних засобів поштових маршрутів відповідно до зазначених змін об'ємів поштових потоків.

На рис. 2.16 наведено методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до зменшення об'ємів поштових потоків.

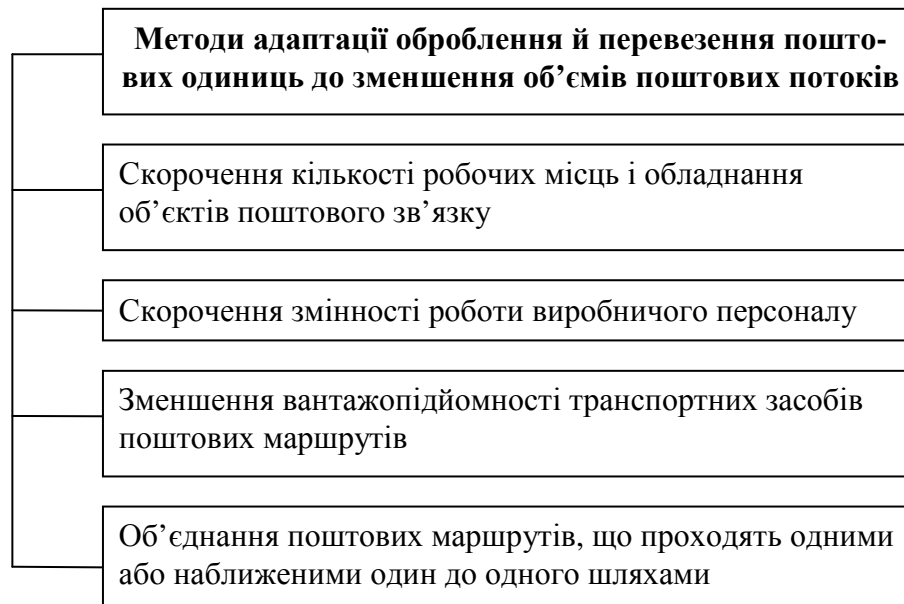


Рисунок 2.16 – Методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до зменшення об'ємів поштових потоків

На рис. 2.17 наведено методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до збільшення об'ємів поштових потоків.

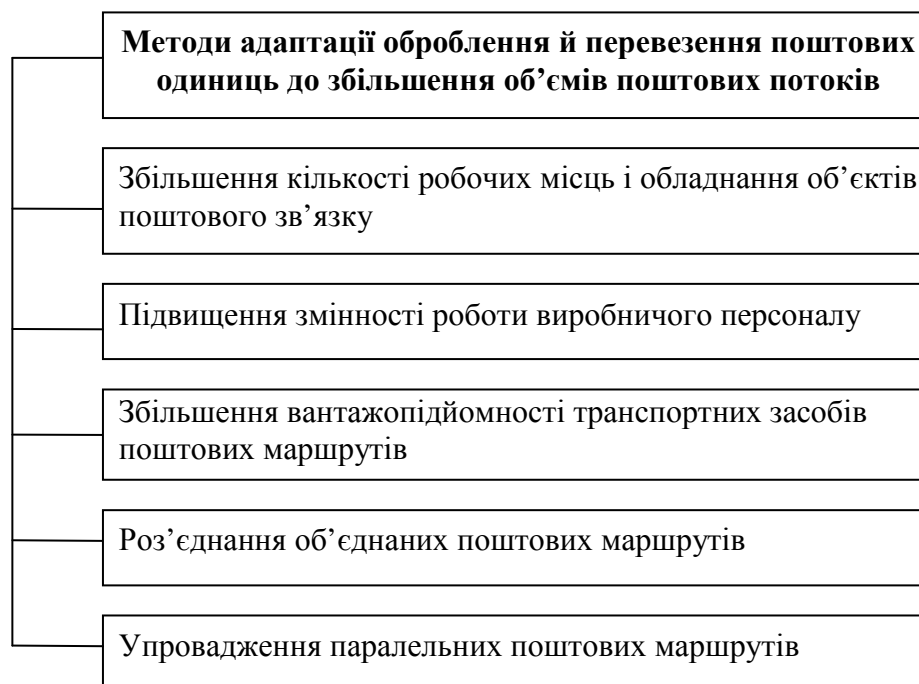


Рисунок 2.17 – Методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до збільшення об'ємів поштових потоків

Адаптація перевезень поштових одиниць до надзвичайних ситуацій передбачає прийняття заходів, спроможних протистояти дії сил, які унеможливають здійснення оброблення й перевезення поштових одиниць.

До надзвичайних ситуацій відносяться природні (повені, підтоплення, ожеледиці, снігопади, зсуви) та автогенні (радіоактивне забруднення, викиди горючих, отруйних та вибухових речовин, аварії, катастрофи) катаклізми, навмисні дії (перекриття шляхів демонстрантами та страйкарями, терористичні акти), реконструкція і ремонт шляхів тощо.

Адаптація оброблення й перевезення поштових одиниць до надзвичайних ситуацій заснована на дублюванні вузлів поштового зв'язку, створенні достатньої кількості альтернативних шляхів перевезення поштових одиниць, створенні резерву транспортних засобів для перевезення поштових одиниць.

На рис. 2.18 наведено ілюстрацію збільшення кількості можливих шляхів перевезення поштових одиниць між вузлами мережі поштового зв'язку при використанні регіональних і територіальних маршрутів.

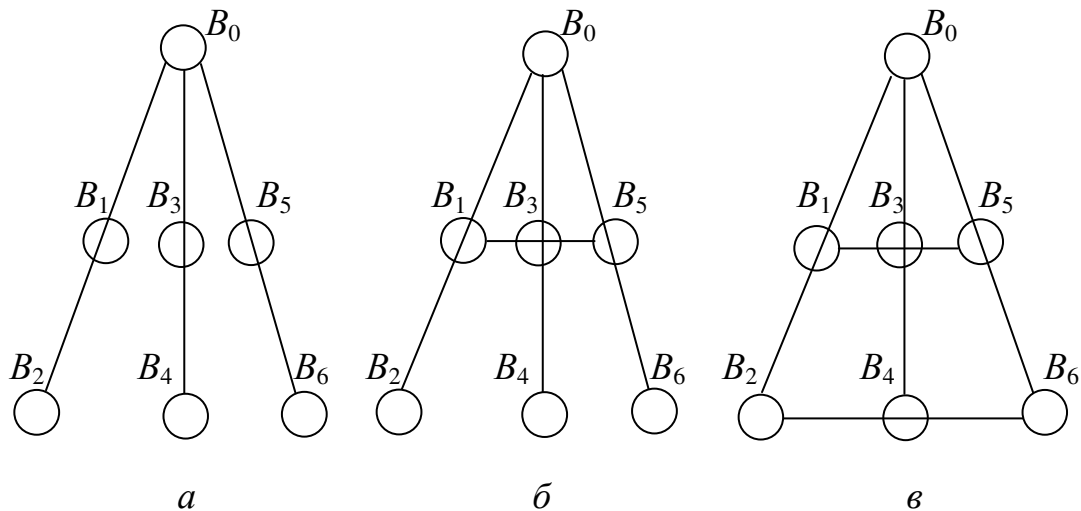


Рисунок 2.18 – Ілюстрація збільшення кількості можливих шляхів перевезення пошти

На рис. 2.18, *а* регіональний вузол B_0 з'єднаний з територіальними вузлами $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ тільки регіональними маршрутами $B_0 - B_1 - B_2 - B_1 - B_0$, $B_0 - B_3 - B_4 - B_3 - B_0$, $B_0 - B_5 - B_6 - B_5 - B_0$. Між будь-якою парою вузлів існує лише єдиний шлях, вилучення якого призводить до втрати зв'язків між деякими вузлами схеми.

На рис. 2.18, *б* вузли B_1, B_3, B_5 додатково з'єднані територіальним маршрутом $B_1 - B_3 - B_5 - B_3 - B_1$, завдяки чому вузли $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ отримують по три можливих шляхи, що з'єднують їх з вузлом B_0 , а вилучення одного або двох зі шляхів $B_0 - B_1, B_1 - B_0, B_0 - B_3, B_3 - B_0, B_0 - B_5, B_5 - B_0$ не призводить до втрати зв'язків між вузлами схеми.

На рис. 2.18, *в* вузли B_2, B_4, B_6 додатково з'єднані територіальним маршрутом $B_2 - B_4 - B_6 - B_4 - B_2$, завдяки чому вузол B_3 отримує 7, вузли B_1, B_5 – по 8, вузол B_4 – 9, вузли B_2, B_6 – по 10 можливих шляхів, що з'єднують їх з вузлом B_0 , а вилучення одного або двох з шляхів $B_0 - B_1, B_1 - B_0, B_0 - B_3$,

$B_3 - B_0$, $B_0 - B_5$, $B_5 - B_0$ і одного або двох з шляхів $B_1 - B_2$, $B_2 - B_1$, $B_3 - B_4$, $B_4 - B_3$, $B_5 - B_6$, $B_6 - B_5$ не призводить до втрати зв'язків між вузлами схеми.

Зі збільшенням кількості зв'язків між вузлами схеми кількість можливих шляхів між ними зростає настільки швидко, що навіть при одночасному вилученні значної кількості шляхів зв'язки між вузлами схеми продовжують існувати.

Математична модель адаптації перевезень пошти до надзвичайних ситуацій ґрунтується на аналізі перетинів графа схеми перевезень пошти.

Схема перевезення спроможна здійснювати функції перевезення поштових одиниць між вузлами поштового зв'язку, якщо будь-яка сукупність вилучених ребер не містить в собі жодної сукупності ребер, що складає будь-який перетин графа, і не спроможна здійснювати ці функції в протилежному випадку.

Для адаптації схеми перевезення поштових одиниць до надзвичайних ситуацій використовуються як основні, так і додаткові поштові маршрути (маршрути надзвичайних ситуацій). Поштові маршрути надзвичайних ситуацій за звичайних умов для перевезень пошти не використовуються, але вони паспортизовані, створений необхідний резерв транспорту і розроблений порядок їх впровадження. Крім того, маршрутами надзвичайних ситуацій тупикові вузли з'єднані з іншими наближеними до них вузлами, завдяки чому всі вони отримують додаткові зв'язки.

Передбачено, що в схемі магістральних перевезень поштових одиниць за умов надзвичайних ситуацій всі вузли можуть бути з'єднані між собою альтернативними шляхами, минувши Київ, завдяки чому надійність схеми суттєво зростає.

Вибір тих чи інших альтернативних шляхів провадиться на основі розв'язання задачі пошуку оптимальних шляхів перевезення поштових одиниць за умов надзвичайних ситуацій.

На рис. 2.19 наведено методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до надзвичайних ситуацій.

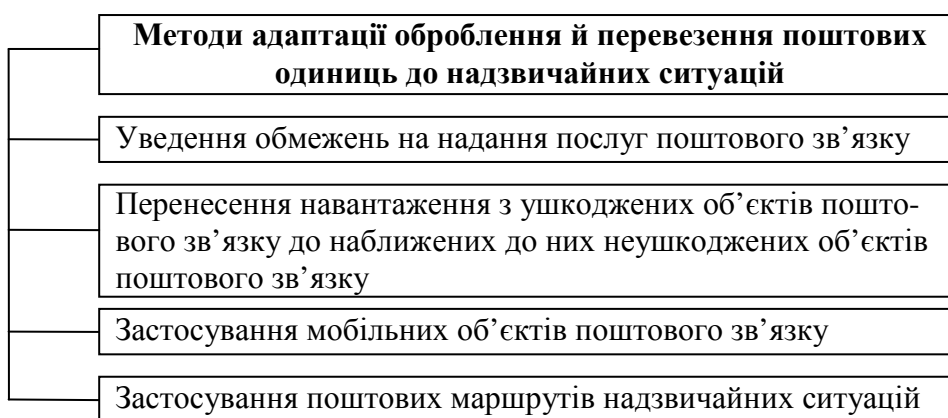


Рисунок 2.19 – Методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до надзвичайних ситуацій

Аварійні режими роботи об'єктів поштового зв'язку трапляються надто рідко і зумовлені, головним чином, накопиченням у них значної кількості поштових посилок, безсистемно укладених у багаторядні штабелі, що займають усі основні та допоміжні приміщення, чим унеможливають доступ до окремих посилок з метою їхнього сортування і відправлення.

На рис. 2.20 наведено методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до аварійних ситуацій.

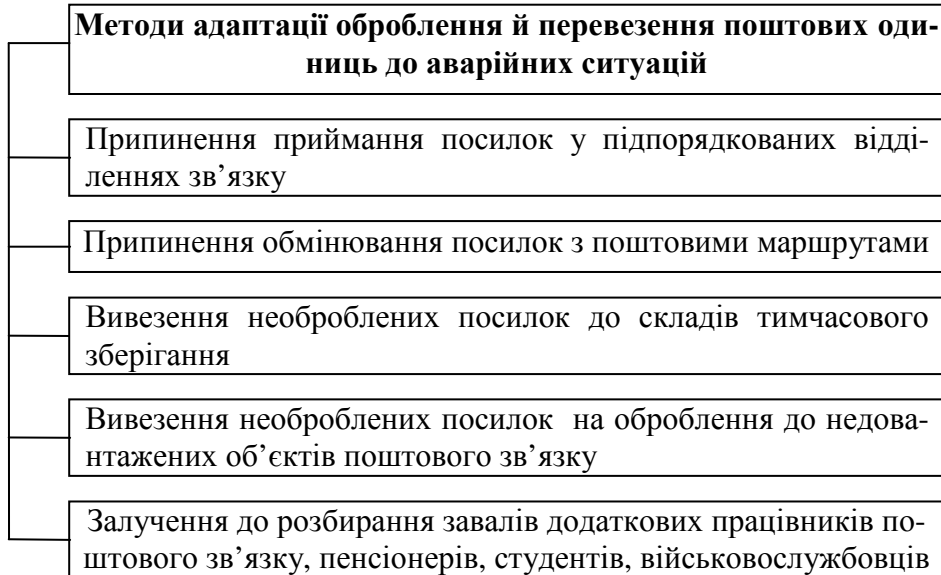


Рисунок 2.20 – Методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до аварійних ситуацій

2.7. Оптимізація номіналів та тиражів поштових марок

З використанням поштових марок для підтвердження тарифів на пересилання поштових одиниць пов'язані три складові витрат оператора поштового зв'язку.

Перша складова S_1 обумовлена витратами на обговорення і затвердження сюжетів марок, підготовку ескізів, виготовлення оригінал-макетів, виготовлення друкарських форм поштових марок. Ця складова пропорційна кількості номіналів поштових марок і не залежить від їх тиражів.

Друга складова S_2 обумовлена витратами на друкування і розповсюдження тиражів поштових марок і пов'язана зі збільшенням кількості номіналів поштових марок складними залежностями в яких простежуються дві протилежні тенденції: тенденція зниження витрат на друкування і розповсюдження поштових марок внаслідок зниження їх сумарних тиражів і тенденція підвищення витрат на друкування і розповсюдження поштових марок внаслідок дроблення зазначених тиражів. Як видно з наведених нижче прикладів, за різних значень номіналів поштових марок може переважати як перша, так і друга тенденція.

Третя складова S_3 обумовлена витратами оператора поштового зв'язку на підготовку поштових одиниць до пересилання, що включають розрахунок, пошук, підбір, відділення, розміщення, змочування, наклеювання, штемпе-

лювання марок, і зі зменшенням середньої кількості марок, що припадає на один тариф, також відповідно зменшується.

Таким чином, збільшення кількості номіналів поштових марок призводить до підвищення першої складової витрат оператора поштового зв'язку, складним чином пов'язано з другою складовою цих витрат і призводить до зниження їх третьої складової.

Постановка задачі

Задані:

- тарифний ряд у виді зростаючої послідовності чисел $T_1 < T_2 < \dots < T_n$;
- розподіл поштових одиниць по тарифах B_1, B_2, \dots, B_n за установлений період часу, наприклад, за рік;
- вартість підготовки друкарських форм поштових марок S_1 ;
- вартість друкування і розповсюдження поштових марок S_2 у залежності від їх тиражів;
- вартість підготовки поштових одиниць до пересилання S_3 у залежності від середньої кількості марок, що припадає на один тариф.

Необхідно знайти кількість m і значення N_1, N_2, \dots, N_m номіналів поштових марок, за яких сумарні витрати S_Σ оператора поштового зв'язку, пов'язані з підтвердженням тарифів на пересилання поштових одиниць за допомогою поштових марок, сягають мінімуму

$$S_\Sigma = S_1 + S_2 + S_3 = \min.$$

Розв'язання задачі

Позначимо через A_{ij} кількість марок номіналу N_i ($i = 1, 2, \dots, m$), необхідних для підтвердження тарифу T_j ($j = 1, 2, \dots, n$) на одній поштовій одиниці.

Тоді сумарна кількість марок M_{ij} номіналу N_i , необхідних для підтвердження зазначеного тарифу T_j на B_j поштових одиницях, складе

$$M_{ij} = A_{ij} B_j,$$

загальна кількість марок номіналу N_i , необхідних для підтвердження всіх тарифів,

$$M_{i\Sigma} = \sum_{j=1}^n M_{ij} = \sum_{j=1}^n A_{ij} B_j,$$

а загальна кількість марок усіх номіналів, необхідних для підтвердження всіх тарифів,

$$M_\Sigma = \sum_{i=1}^m M_{i\Sigma} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} B_j.$$

Оскільки вартість друкування і розповсюдження марок S_2 і вартість підготовки поштових одиниць до пересилання S_3 залежать від тиражів марок $M_{i\Sigma}$, необхідно знайти значення M_Σ для усіх номіналів поштових марок.

У табл. 2.12 наведені приклади знаходження значень M_Σ для тарифного ряду, поданого числами $1, 2, \dots, 100$ при $B_1 = B_2 = \dots = B_{100} = 1$.

Таблиця 2.12 – Приклади знаходження значень тиражів поштових марок

Номери наборів номіналів	Кількість номіналів	Значення номіналів	Тарифний ряд												Разом	Усього				
			1	2	3	4	5	6	7	...	97	98	99	100						
1	2	1 2	1		1		1		1		1		1		1		1		50 2500	2550
2	2	1 3	1	2		1		2		1		2		1	2		1		100 1650	1750
3	2	1 4	1	2	3		1		2		3		1	2	3		1		150 1225	1375
4	3	1 2 3	1			1				1			1			1		34 33 1650	1717	
5	3	1 2 4	1				1			1			1		1		1		50 50 1225	1325

Як випливає з табл. 2.12, за одної і тої самої кількості номіналів поштових марок, їх тиражі, тобто кількість поштових марок, необхідних для підтвердження усіх тарифів, суттєво залежать від значень номіналів цих марок. Більш того, за невдалого вибору номіналів поштових марок сумарні тиражі марок з більшою кількістю номіналів (набір 4) можуть перевищувати сумарні тиражі марок з меншою кількістю номіналів (набір 3).

У таблі. 2.13 наведені значення вартості друкарських форм поштових марок S_1 , друкування і розповсюдження тиражів поштових марок S_2 , вартості підготовки поштових одиниць до пересилання S_3 і сумарної вартості S_Σ при $S_1 = 10$, $S_2 = \sqrt{M_{i\Sigma}}$, $S_3 = M_{i\Sigma}$ для оптимальних значень наборів, що містять 2, 3, 4 номіналів, за яких забезпечуються мінімальні тиражі поштових марок (номінали отримані шляхом повного перебору усіх можливих сполучень).

Таблиця 2.13 – Показники вартості марок у пересиланні поштових одиниць

Номери наборів	Кількість номіналів	Номінали	Кількість марок за номіналами	Загальна кількість марок	S_1	S_2	S_3	S_Σ
1	2	1	450	910	10	21,21	450	481,21
		10	460		10	21,45	460	491,45
2	3	1	199	521	10	14,11	199	223,11
		12	181		10	13,45	181	204,45
		19	141		10	11,87	141	163,87
3	4	1	92	393	10	9,59	92	111,59
		5	93		10	9,64	93	112,64
		18	101		10	10,05	101	121,05
		25	107		10	10,34	107	127,34

Слід підкреслити, що крім забезпечення мінімальних витрат оператора поштового зв'язку на підтвердження тарифів на пересилання поштових одиниць за допомогою поштових марок, необхідно забезпечити простий метод

визначення кількості марок різних номіналів, що використовуються для такого підтвердження. Зокрема, як впливає з табл. 2.13, за наявності 3 номіналів поштових марок 1, 12, 19 грошових одиниць, не так вже просто знайти, наприклад, що тариф, рівний 100 грошовим одиницям, подається за допомогою 6 марок як $100 = 4 \cdot 19 + 2 \cdot 12$, і що спроба використати 5 марок максимального номіналу для подання цього тарифу призведе до збільшення загальної кількості марок з 6 до 10, оскільки $100 = 5 \cdot 19 + 5 \cdot 1$.

Найбільш простим і природним є подання тарифу T у виді суми добутоків

$$T = k_m N_m + k_{m-1} N_{m-1} + \dots + k_1 N_1,$$

де k_i – кількість марок номіналу N_i у тарифі T .

При заданих номіналах поштових марок N_m, N_{m-1}, \dots, N_1 значення k_m, k_{m-1}, \dots, k_1 визначаються як

$$k_m = \left[\frac{T}{N_m} \right]; k_{m-1} = \left[\frac{R_{m-1}}{N_{m-1}} \right]; \dots; k_2 = \left[\frac{R_2}{N_2} \right]; k_1 = R_1,$$

де $[x]$ – ціла частина числа x ;

R_i – залишок від ділення тарифу або поточного залишку на поточний номінал.

Якщо номінали поштових марок створюють степеневий ряд

$$N_m = q^{m-1}; N_{m-1} = q^{m-2}; \dots; N_1 = q^0,$$

то наведене подання тарифу T збігається зі звичайним поданням числа T у позиційній системі числення з основою q .

У табл. 2.14 наведені значення номіналів поштових марок при поданні $n = 100$ тарифів на пересилання поштових одиниць у позиційних системах числення з різними основами.

Таблиця 2.14 – Номінали поштових марок при поданні тарифів у позиційних системах числення

Номери наборів номіналів	Основа системи числення	Кількість номіналів	Номінали	Подання тарифу $T = 100$
1	11	2	11, 1	$9 \cdot 11 + 1 \cdot 1$
2	10	3	100, 10, 1	$1 \cdot 100$
3	9	3	81, 9, 1	$1 \cdot 81 + 2 \cdot 9 + 1 \cdot 1$
4	8	3	64, 8, 1	$1 \cdot 64 + 4 \cdot 8 + 4 \cdot 1$
5	7	3	49, 7, 1	$2 \cdot 49 + 2 \cdot 1$
6	6	3	36, 6, 3	$2 \cdot 36 + 4 \cdot 6 + 4 \cdot 1$
7	5	3	25, 5, 1	$4 \cdot 25$
8	4	4	64, 16, 4, 1	$1 \cdot 64 + 2 \cdot 16 + 1 \cdot 4$
9	3	5	81, 27, 9, 3, 1	$1 \cdot 81 + 2 \cdot 9 + 1 \cdot 1$
10	2	7	64, 32, 16, 8, 4, 2, 1	$1 \cdot 64 + 1 \cdot 32 + 1 \cdot 4$

Можлива й інша постановка задачі оптимізації номіналів поштових марок, в якій за тих самих початкових даних задана максимальна допустима кі-

лькість марок k на поштової одиниці і необхідно знайти мінімальну кількість номіналів m , що забезпечує виконання цієї умови.

Існують численні варіанти розв'язання цієї задачі, приклади яких наведені в табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Приклади наборів номіналів поштових марок, за яких кількість марок на поштової одиниці не перевищує k

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	18	100
m	100	19	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Номінали	1 2 ... 100	1 2 ... 10 11 22 ... 99	1 2 3 4 5 10 15 20 25 50 75	1 2 3 4 8 12 16 32 48 64	1 2 3 4 8 12 16 32 64	1 2 3 4 8 16 32 64	1 2 4 8 16 32 64	1 2 4 8 16 32 64	1 4 16 32 64	1 4 16 64	1 5 25	1 11	1

У табл. 2.16 наведені приклади визначення необхідної кількості поштових марок при заданих значеннях тарифів 1, 2, ..., 16 і кількості поштових одиниць, оплачених за цими тарифами, для наборів номіналів поштових марок 1, 3, 7 і 1, 4, 6.

Таблиця 2.16 – Приклади визначення необхідної кількості поштових марок

Показники	Значення															
Тарифи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кількість	3	2	5	6	4	3	7	2	3	3	4	5	1	2	3	4
Номінал 1	1	2		1	2			1	1		1	1			1	1
Номінал 3			1	1	1	2			1,5	1	1	2,5	2			1,5
Номінал 7							1	1	0,5	1	1	0,5	1	2	2	1,5
Сума номіналів 1	3	4		6	8			2	3		4	5			3	4
Сума номіналів 3			5	6	4	6			4,5	3	4	12,5	2			6
Сума номіналів 7							7	2	1,5	3	4	2,5	1	4	6	6
Номінал 1	1	2	3		1		1		1		1		1		1	
Номінал 4				1	1			2	2	1	1			2	2	1
Номінал 6						1	1			1	1	2	2	1	1	2
Сума номіналів 1	3	4	15		4		7		3		4		1		3	
Сума номіналів 4				6	4			4	6	3	4			4	6	4
Сума номіналів 6						3	7			3	4	10	2	2	3	8

Як впливає з табл. 2.16, необхідна кількість марок (номінали 1, 3, 7) складає: номінал 1 – 42; номінал 3 – 53; номінал 7 – 37; усього 132 марки, а необхідна кількість марок (номінали 1, 4, 6): номінал 1 – 44; номінал 4 – 41; номінал 6 – 42; усього 127 марок.

Наприкінці підкреслимо, що скорочення загальної кількості тарифів на пересилання поштових одиниць за рахунок укрупнення мінімальної тарифної одиниці і подання будь-якого тарифу у виді цілого числа мінімальних тарифних одиниць є важливим резервом скорочення витрат оператора поштового зв'язку, пов'язаних з підтвердженням тарифів на пересилання поштових одиниць за допомогою поштових марок.

Не можна не помітити, що в умовах інфляції національних валют мінімальна тарифна одиниця не має бути надто малою. Крім того, оскільки замовлення поштових марок носить завчасний характер, слід враховувати прогнозні об'єми письмової кореспонденції та підвищення тарифів на пересилання поштових одиниць.

2.8. Принципи побудови національної індексації поштового зв'язку України

Недоліки системи індексації об'єктів поштового зв'язку колишнього СРСР

Шестизначній індексації об'єктів поштового зв'язку, що дісталася Україні у спадщину від колишнього СРСР, з самого початку був притаманний ряд принципових недоліків, усунення яких у рамках самої системи виявилось неможливим:

1. Хоча шестизначна індексація була спроможна забезпечити присвоєння окремих індексів 1000000 об'єктів поштового зв'язку, вона не забезпечила їх навіть усім 100000 об'єктів поштового зв'язку колишнього СРСР. Зокрема, відділенням зв'язку сотень міст, що не є обласними центрами, у тому числі з населенням понад 100000 чоловік, в яких було кілька відділень зв'язку, були надані єдині індекси, внаслідок чого вони були позбавлені навіть перспективи автоматичного сортування вхідної і місцевої письмової кореспонденції.

2. Система індексації не забезпечувала єдності принципів ручного й автоматизованого сортування. Як свідчить практика, ручне сортування за індексами ніколи не провадилося, оскільки запам'ятати кілька сотень напрямів сортування за їх географічними назвами хоча і важко, але можливо, у той час як запам'ятати стільки трьох або чотиризначних чисел – практично неможливо.

3. Система індексації не відповідає принципу компактності. Хоча при автоматичному сортуванні не має особливого значення, які саме індекси надані тим чи іншим об'єктам поштового зв'язку, трудомісткість складання таблиць напрямів сортування та їх уведення в керуючу ЕОМ залежить від цього безпосередньо. Найменша трудомісткість має місце при компактному розташуванні індексів, що відповідають напрямам сортування, найбільша – при їх довільному розташуванні, оскільки у першому випадку в сортувальній таблиці достатньо зазначити лише індекси початку і кінця відповідних інтервалів індексів, а у другому – навести їх повний перелік.

4. Система індексації не передбачала виділення компактних груп індексів союзним республікам колишнього СРСР. У результаті індекси України виявилися розірваними, оскільки в них уклинилися індекси Калузької, Тульської, Орловської, Курської, Білгородської, Ростовської областей Росії, Гомельської області Білорусії і Молдови. Аналогічна картина спостерігалася також на обласному й районному рівнях.

5. В основу побудови системи індексації були покладені дуже несталі ознаки – діючі в той час маршрути поштових вагонів. Перехід до широкого використання повітряного й автомобільного транспорту для здійснення магістральних перевезень пошти, скасування одних й уведення інших маршрутів поштових вагонів призвели до того, що вже через кілька років після свого уведення принципи побудови системи індексації були безнадійно втрачені. Індекси стали являти собою тільки цифрові позначення об'єктів поштового зв'язку.

6. Прийняті принципи групування індексів за ознаками маршрутів поштових вагонів суттєво ускладнювали сортування поштових відправлень. Як приклад можна навести індексацію об'єктів поштового зв'язку Ясиноватського району Донецької області, 32 відділення зв'язку якого були проіндексовані чотирма інтервалами індексів з різними значеннями трьох перших цифр.

7. Індексація не передбачала виділення індексів населеним пунктам, в яких немає відділень зв'язку. Це призводило до того, що при відкритті в цих населених пунктах відділень зв'язку їм надавалися вільні індекси, які не відповідали принципам побудови системи індексації.

8. Індексація не мала достатньої гнучкості для відбиття змін в адміністративно-територіальному устрої областей і районів колишнього СРСР. Система індексації не передбачала можливості заміни індексів при зазначених змінах. Внаслідок цього нерідко виникала парадоксальна ситуація: до міста, відділення зв'язку якого мали єдиний індекс, приєднувався населений пункт, відділення зв'язку якого мало свій окремий індекс.

9. Індексація не передбачала можливості позначення вузлів сортування у великих містах. Винятки були зроблені лише для Москви і Ленінграда, яким було виділено відповідно 40 і 10 тризначних індексів.

10. Індексація не передбачала можливості позначення вузлів доставляння (укрупнених доставних об'єктів поштового зв'язку або територіальних об'єднань підприємств поштового зв'язку) у великих і середніх містах. Зазначені обставини перешкождали впровадженню прогресивних технологій доставляння періодичних видань і поштових одиниць.

Вимоги до системи поштової індексації України

1. Індексація повинна відбивати структуру мережі об'єктів поштового зв'язку України. Індекси повинні містити інформацію про області (обласні центри), вузли сортування (міста, районні центри областей), вузли доставляння (укрупнені доставні об'єкти поштового зв'язку або територіальні об'єднання об'єктів поштового зв'язку), відділення зв'язку або населені пункти, в яких немає відділень зв'язку.

2. Індексція повинна максимально задовольняти вимогам сортування поштових одиниць. Глибина сортування повинна однозначно відповідати кількості цифр індексу, за якими воно провадиться.

3. Індексція повинна забезпечувати єдність принципів ручного й автоматизованого сортування. Сортування за індексами повинно здійснюватися простіше і швидше, ніж за адресами об'єктів поштового зв'язку, бути доступним для сортувальників середньої кваліфікації.

4. Об'єднання груп індексів повинні відбуватися за найбільш стійкими ознаками – територіальними.

5. Групи індексів, що утворюють області, вузли сортування тощо, повинні задовольняти вимогам компактності. Відповідно до цієї вимоги зазначені індекси не повинні розриватися індексами, не включеними в ці області, вузли сортування тощо, завдяки чому об'ємні переліки індексів у таблицях напрямів сортування замінюються короткими переліками їх інтервалів.

6. Індеси повинні бути надані всім об'єктам поштового зв'язку і населеним пунктам, в яких немає відділень зв'язку. Виконання останньої вимоги дозволить практично безболісно провести індексцію відділень зв'язку, що, можливо, будуть відкриватися в таких населених пунктах у майбутньому.

7. Зміни адміністративно-територіального устрою областей і районів України, категорій населених пунктів повинні стосуватися тільки тих об'єктів поштового зв'язку, до яких вони відносяться.

8. Система індексції повинна мати значний резерв індексів, достатній для збереження системи протягом тривалого періоду. Зазначений резерв повинен бути розподілений таким чином, щоб він відповідав тенденціям змін адміністративно-територіального устрою областей і районів України.

Принципи побудови національної індексції поштового зв'язку України

Система індексції 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 одиниць.

Принципи побудови системи індексції поштового зв'язку України пояснюються табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Принципи побудови системи індексції 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 обслуговуються 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 направляти 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. 2.18.

Таблиця 2.18 – Розподіл двозначних індексів між адміністративними утвореннями України

№ з/п	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 відмінністю 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 напряму сортування*, а в другому – *тільки визначають його*, тобто вимагають перетворення цифр індексу в номер напряму 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 сортувальник середньої кваліфікації.

П'ятизначна індексація поштового зв'язку України, впроваджена з 1999 р., 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 взагалі ніколи не провадилося.

Контрольні питання

1. Спробуйте навести всі можливі варіанти з'єднання чотирьох об'єктів поштового зв'язку між собою.

2. У чому полягає відмінність мереж поштового зв'язку, побудованих за функціонально-територіальним і адміністративно-територіальним принципами?

3. Чим відрізняється проходження поштових одиниць від об'єктів поштового зв'язку нижчих рівнів ієрархії до об'єктів поштового зв'язку вищих рівнів ієрархії від проходження поштових одиниць у зворотному напрямі?

4. Для чого доцільно застосовувати принцип «упаковки в упаковках» при пересиланні письмової кореспонденції?

5. Як характеризує ефективність мережі поштового зв'язку кількість об'єктів поштового зв'язку і кількість поштових маршрутів, задіяних у пересиланні одного листа?

6. Як впливає кількість рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку на загальну протяжність поштових маршрутів?

7. Як впливає кількість рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку на загальну кількість об'єктів поштового зв'язку, задіяних в обробленні одного листа?

8. Як визначається оптимальна кількість рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку?

9. Поясніть співвідношення рівнів ієрархії об'єктів мереж поштового зв'язку, побудованих за функціонально-територіальним і за адміністративно-територіальним принципом.

10. Назвіть основні складові мети оптимізації кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку.

11. Назвіть основні критерії оптимізації кількості та місць розташування об'єктів поштового зв'язку.

12. Назвіть переваги і недоліки створення єдиного автоматизованого сортувального центру.

13. Назвіть переваги і недоліки створення декількох автоматизованих сортувальних центрів.

14. Поясніть залежність між кількістю напрямів сортування, кількістю накопичувачів ЛСМ і кількістю етапів сортування письмової кореспонденції.

15. Поясніть можливі варіанти організації сортування письмової кореспонденції за наявності декількох автоматизованих сортувальних центрів.

16. Чим можна пояснити наявність мінімуму сумарної протяжності внутрішньорегіональних і міжрегіональних поштових маршрутів?

17. За яких умов можливе скорочення нормативних строків пересилання письмової кореспонденції при використанні авіаперевезень письмової кореспонденції між регіональними сортувальними центрами?

18. Наведіть аналіз можливих варіантів оброблення письмової кореспонденції в трирівневих мережах поштового зв'язку за наявності єдиного сортувального центру.

19. Наведіть аналіз можливих варіантів оброблення письмової кореспонденції в трирівневих мережах поштового зв'язку за наявності декількох сортувальних центрів.

20. У чому полягає синхронізація оброблення й перевезення поштових одиниць?

21. Охарактеризуйте операції пересилання письмової кореспонденції між сільськими населеними пунктами України.

22. Поясніть часові діаграми пересилання письмової кореспонденції в мережі поштового зв'язку, побудованої за функціонально-територіальним принципом.

23. Поясніть часові діаграми пересилання письмової кореспонденції в мережі поштового зв'язку, побудованої за адміністративно-територіальним принципом.

24. Поясніть строки пересилання письмової кореспонденції між об'єктами мережі поштового зв'язку.

25. Поясніть взаємопов'язані цикли оброблення й перевезення поштових одиниць в мережі поштового зв'язку.

26. Поясніть синхронізацію поштових маршрутів у вузлі поштового зв'язку.

27. Наведіть основні причини нерівномірності поштових потоків.

28. Поясніть п'ять можливих логістичних режимів роботи об'єктів поштового зв'язку.

29. В чому полягає адаптація оброблення й перевезення поштових одиниць до змін об'ємів поштових потоків?

30. Охарактеризуйте методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до зменшення об'ємів поштових потоків.

31. Охарактеризуйте методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до збільшення об'ємів поштових потоків.

32. Охарактеризуйте методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до надзвичайних ситуацій.

33. Охарактеризуйте методи адаптації оброблення й перевезення поштових одиниць до аварійних ситуацій.

34. Поясніть зростання кількості можливих шляхів перевезення поштових одиниць при збільшенні кількості маршрутів між об'єктами поштового зв'язку.

35. В чому полягає задача оптимізації номіналів та тиражів поштових марок?

36. Охарактеризуйте три складові витрат оператора поштового зв'язку, пов'язаних з використанням поштових марок.

37. Наведіть приклади знаходження значень тиражів поштових марок.

38. Чим визначаються оптимальні значення кількості номіналів і тиражів поштових марок?

39. Наведіть приклади наборів номіналів поштових марок, за яких кількість марок на поштовій одиниці не перевищує заданого значення.

40. Наведіть приклади визначення необхідної кількості поштових марок.

41. Охарактеризуйте вимоги до системи поштової індексації України.

42. Наведіть принципи побудови системи національної поштової індексації України.

3. ВИРОБНИЧА ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

3.1. Аналіз методів сортування поштових одиниць

Сортування поштових одиниць – ключова функція виробничої логістики поштового зв'язку.

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 об'єму 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 провадиться. Внаслідок цього реальна кількість сортувань письмової кореспонденції залежить від структури мережі поштового зв'язку та може суттєво перевищувати мінімальну.

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 напрямків 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 напрямками B_1, B_2, \dots, B_r пройдуть $k - 1$ етапів сортування, а поштові одиниці за напрямками $B_{r+1}, B_{r+2}, \dots, B_m - k$ 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 отримано з виразу

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

де $[X]$ – ціла частина X .

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

На рис. 3.1 наведено приклади сортування поштових одиниць на 10 напрямків за наявності 10 накопичувачів (a – методом виділення напрямків; b – методом групування напрямків; c – комбінованим методом). Цифри в овалах – групи напрямків; цифри в колах – виділені напрями; цифри в прямокутниках – етапи сортування.

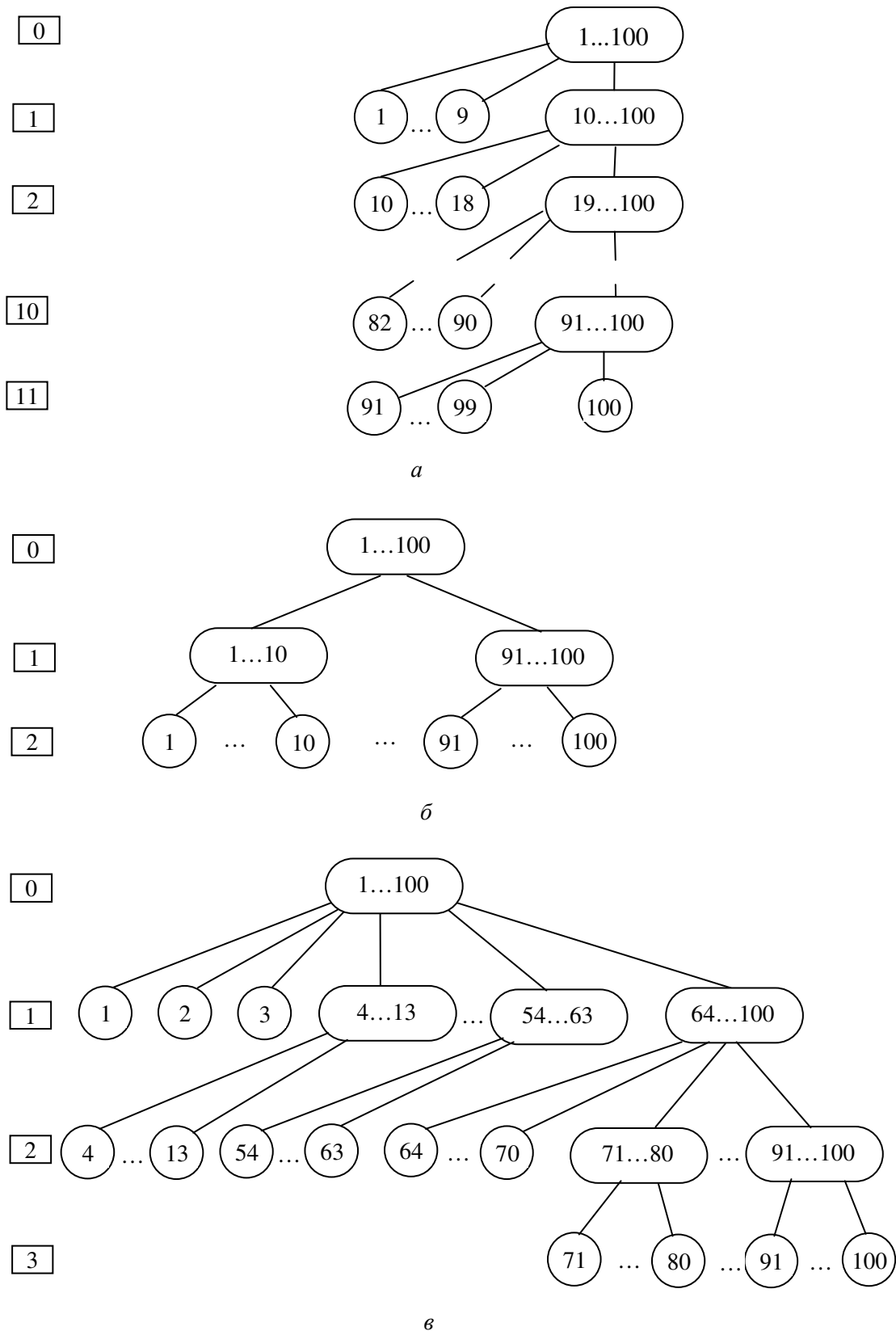


Рисунок 3.1 – Приклади сортування поштових одиниць

Середня кількість сортувань однієї поштової одиниці складає:

– в схемі рис. 3.1, а

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

– в схемі рис. 3.1, б

$$S = 2;$$

– в схемі рис. 3.1, 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. 3.1, б, в якій $S = 2$.

Початковий розподіл напрямів сортування за накопичувачами

$$R_0 = \{B_1, B_2, \dots, B_{10}; B_{11}, B_{12}, \dots, B_{20}; \dots; B_{91}, B_{92}, \dots, B_{100}\},$$

за якого в кожний з накопичувачів A_1, A_2, \dots, A_{10} потрапляють поштові одиниці 10 напрямів.

Виділимо напрям B_1 , якому відповідає розподіл напрямів сортування

$$R_1 = \{B_1; B_2, B_3, \dots, B_{11}; B_{12}, B_{13}, \dots, B_{21}; \dots; B_{82}, B_{83}, \dots, B_{100}\}.$$

З розподілу R_1 видно, що в накопичувач A_1 потрапляють поштові одиниці одного напрямку, в накопичувачі A_2, A_3, \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 ($B_{91}, B_{92}, \dots, B_{100}$).

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

$$R_2 = \{B_1; B_2; B_3, B_4, \dots, B_{12}; B_{13}, B_{14}, \dots, B_{22}; \dots; B_{73}, B_{74}, \dots, B_{100}\}.$$

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

$$R_3 = \{B_1; B_2; B_3; B_4, B_5, \dots, B_{13}; B_{14}, B_{15}, \dots, B_{23}; \dots; B_{64}, B_{65}, \dots, B_{100}\}.$$

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 отримаємо схему рис. 3.1, а; в разі невиконання першої нерівності – схему рис. 3.1, б; в разі виконання першої, другої й третьої нерівностей та невиконання четвертої нерівності – схему рис. 3.1, 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,

$$v_1 = a, v_2 = aq, v_3 = aq^2, \dots, v_m = aq^m$$

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

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. 3.1, 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. 3.1, 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. 3.1, 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,

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

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.

3.2. Формування планів сортування поштових одиниць

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 на-

правляють до зазначеного об'єкта поштового зв'язку першого сортування не-сортовану 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 було показано раніше, $m_{\text{висх}} = r$ 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.

У табл. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 наведено варіанти планів сортування письмової кореспонденції в трирівневих мережах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2 та чотирирівневих мережах МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

Таблиця 3.1 – 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 3.2 – 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 3.3 – 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 3.4 – 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
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. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

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

Так, якщо для цього немає переконливих заперечень, з об'єднання 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. 3.1 переходять у варіанти 1, 2; варіанти планів сортування 5, 6, 7, 8; 9, 10, 11, 12 табл. 3.2 переходять у варіанти 1, 2, 3, 4; варіанти планів сортування 5, 6,

7, 8; 9, 10, 11, 12; 13, 14, 15, 16 табл. 3.3 переходять у варіанти 1, 2, 3, 4; варіанти планів сортування 9, 10, ..., 16; 17, 18, ..., 24; 25, 26, ..., 32 табл. 3.4 – у варіанти 1, 2, ..., 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. 3.5 наведено значення мінімальної, середньої та максимальної кількості сортувань письмової кореспонденції в мережах МПЗ ФТ1, МПЗ ФТ2, МПЗ АТ1, МПЗ АТ2.

Таблиця 3.5 – 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. 3.6 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 3.6 – 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 поштових одиниць, наведених у табл. 3.6, 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.

3.3. 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 поштових одиниць.

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 за такого сортування в будь-якому об'єкті поштового зв'язку вхідний потік поштових одиниць поділяється 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 триетапного сортування й упакування поштових одиниць наведено на рис. 3.2. Враховуючи, що кількість напрямів сортування m , кількість накопичувачів ЛСМ n і кількість етапів сортування k пов'язані

співвідношенням $t = n^k$, реальна кількість етапів сортування не перевищує трьох.

Цифрами на рис. 3.2 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 у 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 у собі упаковки сортувальних груп другого етапу сортування H_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$), що у свою чергу містять у собі упаковки сортувальних груп третього етапу сортування H_{ijk} ($i, j, k = 1, 2, \dots, n$).

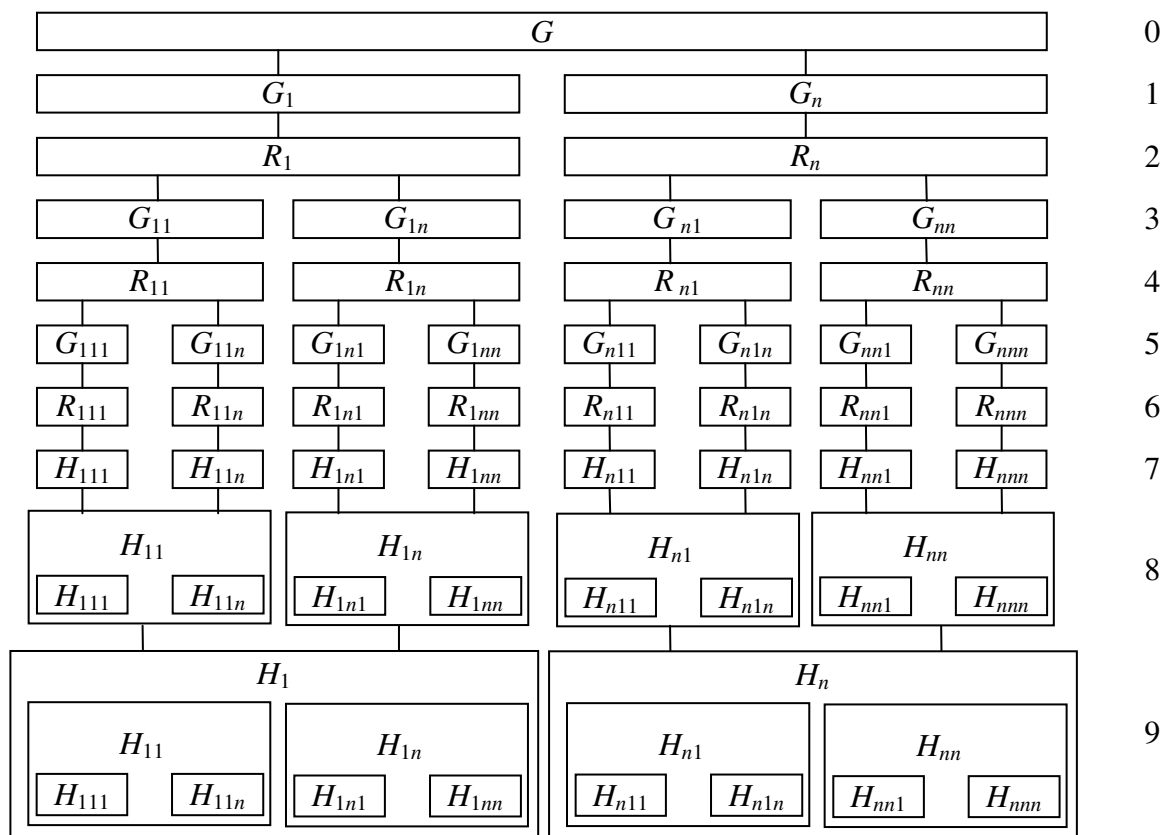


Рисунок 3.2 – Традиційна схема триетапного сортування й упакування поштових одиниць

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

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

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

$$\dots \dots \dots$$

Продовження таблиці 3.7

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

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. 3.8 наведено приклад триетапного низхідного сортування поштових одиниць за другим методом. Початкові дані збігаються з наведеними у табл. 3.7.

Таблиця 3.8 – 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>	

Продовження таблиці 3.8

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

Традиційній стратегії багатоетапного низхідного 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 багатоступінчатого безупинного сортування поштових одиниць полягає у заміні традиційного низхідного порядку сортування поштових одиниць (від об'єктів поштового зв'язку вищого рівня ієрархії до об'єктів поштового зв'язку нижчого рівня ієрархії) висхідним порядком сортування (від об'єктів поштового зв'язку нижчого рівня ієрархії до об'єктів поштового зв'язку вищого рівня ієрархії).

Приймаючи до уваги, що за такого сортування 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 у 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 за триетапного безупинного сортування 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 нумерації, що збігаються, індивідуальність кожного конкретного напрямку сортування визначається комбінацією цифр усіх груп (у наведеному

прикладі $N_c = 652907$ розглядається як напрям сортування, представлений цим шестизначним числом).

Пропоновану схему безупинного триетапного сортування й упакування поштових одиниць наведено на рис. 3.3.

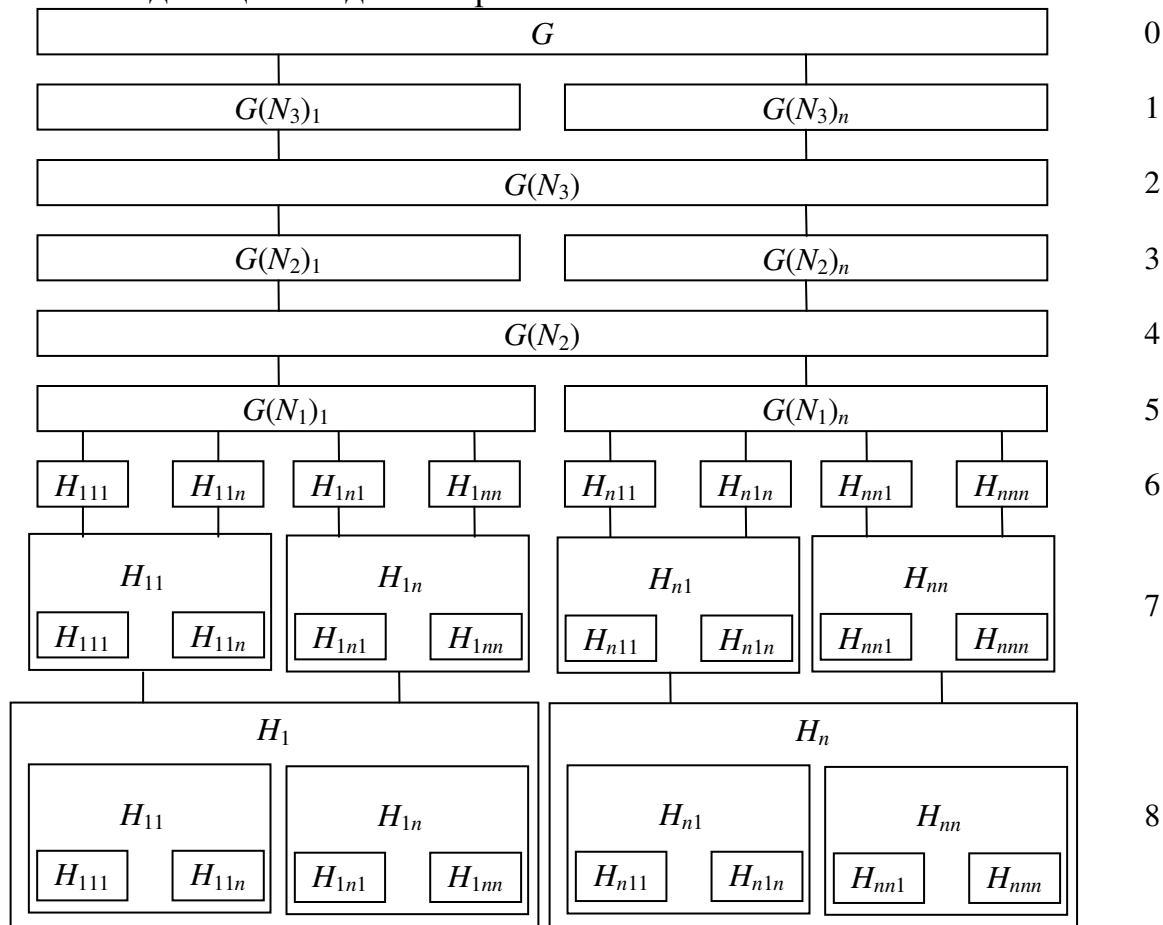


Рисунок 3.3 – Пропонована схема автоматизованого триетапного сортування й упакування поштових одиниць

Цифрами на рис. 3.3 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 у 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 у собі упаковки сортувальних груп за цифрами N_2 напрямів сортування H_{kj} ($k, j = 1, 2, \dots, n$), що у свою чергу містять у 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 пропонуваним 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

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

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

.....

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

формування упаковок сортувальних груп другого етапу сортування

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

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

.....

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

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

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

.....

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

.....

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

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

.....

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

формування упаковок сортувальних груп першого етапу сортування

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

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

.....

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

У табл. 3.9 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. 3.7.

Таблиця 3.9 – 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		192	913	114	625	596	777	278	309
250		002	303			116	007	018	999
		592					257	278	
								778	
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	913	625		540	250		777		192
303	114				257		278		592
007	116						278		596
309	018						778		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	114	250	303		540	625	777		913
007	116	257	309		592		778		999
018	192	278			596				
		278							
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 спрямовуються 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 сформулювати упаковки поштових одиниць до об'єктів поштового зв'язку всіх рівнів ієрархії і спрямувати їх до зазначених об'єктів поштового зв'язку першого рівня ієрархії, або безпосередньо спрямувати отримані в накопичувачах ЛСМ відсортовані групи поштових одиниць до зазначених об'єктів поштового зв'язку першого рівня ієрархії, де вони без додаткового сортування будуть поділені на відсортовані групи поштових одиниць, що спрямовуються до підпорядкованих їм об'єктів поштового зв'язку другого і третього рівнів ієрархії.

Для зручності такого розподілу може виявитися доцільною установка розподілювальних карток між сортувальними групами поштових одиниць при зміні значень цифр у покажчиках напрямів сортування N_3 і N_2 у процесі

виконання третього етапу сортування за показником напрямів сортування N_1 .

З табл. 3.9 також випливає, що запропонована стратегія безупинного багатопрограмного сортування зводиться до впорядкування напрямів сортування поштових одиниць у порядку їхнього зростання. Оскільки таке ж завдання вирішується в стратегії маршрутного сортування поштових одиниць, не можна не відзначити єдність принципів обох стратегій сортування.

Із порівняння схем рис. 3.2 і 3.3 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. 3.10 наведено основні показники традиційної і запропонованої стратегій багатоетапного сортування поштових одиниць при $n = 100$, $r = 3$.

Таблиця 3.10 – Показники багатоетапного сортування поштових одиниць

Показники	Традиційна стратегія	Запропонована 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. 3.10, традиційна стратегія низхідного багатопрограмного сортування поштових одиниць за усіма основними показниками суттєво поступаєтья запропонованій стратегії висхідного багатопрограмного сортування.

3.4. Організація автоматизованого сортування поштових одиниць

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 нараховується 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).

Проте, 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 об'ємів 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 290 млн. одиниць за рік (близько 0,8 млн. одиниць за добу), тобто зменшились порівняно з 1991 роком більш ніж у 10 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 8 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 автоматизованих сортувальних центрів (РАСЦ), розташованих у головному (м. Київ) або у зональних (м. 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 спрямовується у відсортованому виді до цих об'єктів.

Зазначимо, що створення РАСЦ 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), Державній цільовій економічній програмі розвитку поштового зв'язку на 2009-2013 роки (Постанова Кабінету Міністрів України від 1 липня 2009 р. № 672) та багатьох відомчих нормативних актах.

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

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

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

- можливість скорочення загальної протяжності магістральних поштових маршрутів за рахунок існування оптимальної кількості РАСЦ, за якої сумарна протяжність міжзональних і внутрішньозональних маршрутів сягає мінімуму;
- можливість скорочення на одну добу нормативних строків пересилання письмової кореспонденції між об'єктами поштового зв'язку, розташованими в межах кожного з регіонів.

У той самій час створення РАСЦ 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 РАСЦ;

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

Однією з важливих задач організації автоматизованого сортування поштових одиниць є визначення необхідної мінімальної кількості накопичувачів ЛСМ.

Як вже зазначалося, кількість напрямів сортування письмової кореспонденції m , кількість накопичувачів ЛСМ n і кількість етапів сортування k пов'язані співвідношеннями

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

Втім, реалізація цих співвідношень за багатоетапного сортування до реальних об'єктів поштового зв'язку можлива лише за умов:

– кількість об'єктів поштового зв'язку, до яких провадиться сортування письмової кореспонденції на першому етапі сортування, складає n ;

– кількість об'єктів поштового зв'язку, до яких провадиться сортування письмової кореспонденції на кожному з n підетапів другого етапу сортування, складає n ;

– кількість об'єктів поштового зв'язку, до яких провадиться сортування письмової кореспонденції на кожному з n^{k-1} підетапів k -го етапу сортування, складає n .

На жаль, на практиці зазначені умови не виконуються, що призводить до необхідності суттєвого збільшення кількості накопичувачів ЛСМ з відповідним зростанням їхньої вартості, а, разом з цим, до їхнього неповного використання.

Так, за двоетапного сортування до 15625 відділень зв'язку теоретично необхідно $n = \sqrt{15625} = 125$ накопичувачів. У той самий час, якщо двоетапне сортування провадиться на першому етапі – до 25 обласних центрів України, а на другому – до 625 відділень зв'язку області ($25 \cdot 625 = 15625$), то для реалізації такого сортування потрібна ЛСМ, що має 625 накопичувачів, причому на першому етапі сортування будуть використані лише 25 із цих 625 накопичувачів, тобто 4 %, а на другому – всі 625 накопичувачів, тобто 100 %.

Проте існує можливість реалізації багатоетапного сортування письмової кореспонденції з теоретично можливою мінімальною кількістю накопичувачів ЛСМ за будь-яких співвідношень кількості реальних об'єктів поштового зв'язку на кожному з етапів такого сортування.

Для практичної реалізації автоматизованого багатоетапного сортування з мінімально можливою кількістю накопичувачів ЛСМ слід замінити сортування письмової кореспонденції на проміжних етапах сортування до реальних об'єктів поштового зв'язку її сортуванням до віртуальних об'єктів поштового зв'язку.

Під віртуальним об'єктом поштового зв'язку розуміється уявний об'єкт поштового зв'язку, що визначається лише переліком закріплених за ним поштових індексів або поштових адрес.

При такому підході віртуальні і реальні об'єкти поштового зв'язку на останньому етапі сортування збігатимуться, а, отже, з упаковок письмової кореспонденції, отриманих на останньому етапі сортування, можуть бути безпосередньо сформовані упаковки письмової кореспонденції до інших реальних об'єктів поштового зв'язку так, як це показано на рис. 3.2, 3.3.

Підкреслимо, що зазначене сортування можливе лише за умови виконання всіх його етапів в одному об'єкті поштового зв'язку, оскільки формування упаковок письмової кореспонденції до реальних об'єктів поштового зв'язку можливе лише після виконання всіх етапів сортування письмової кореспонденції.

Стосовно наведених прикладів двоетапного сортування письмової кореспонденції будуть одержані:

- після першого етапу сортування в одному РАСЦ – 125 груп письмової кореспонденції, відсортованих до 125 віртуальних ТВ, кожному з яких підпорядковані до 125 віртуальних ВЗ;

- після другого етапу сортування в одному РАСЦ – по 125 груп письмової кореспонденції для кожного віртуального ТВ, відсортованих до 125 ВЗ (усього до 15625 ВЗ, з яких реально існує 15500);

- після першого етапу сортування в кожному з чотирьох РАСЦ – 63 групи письмової кореспонденції, відсортовані до 63 віртуальних ТВ, кожному з яких підпорядковані до 63 віртуальні ВЗ;

- після другого етапу сортування в кожному з чотирьох РАСЦ – по 63 групи письмової кореспонденції для кожного віртуального ТВ, відсортовані до 63 ВЗ (усього до $63 \cdot 63 = 3969$ ВЗ, з яких реально існує 3875).

У табл. 3.11, 3.12 наведено ілюстрації реалізації двоетапного низхідного й висхідного сортування письмової кореспонденції для наступних вихідних даних:

- кількість накопичувачів ЛСМ – 12;
- кількість віртуальних ТВ – 12;
- кількість реальних ТВ – 18;
- кількість віртуальних ВЗ – 144;
- кількість реальних ВЗ – 141;
- кількість реальних ВЗ, підпорядкованих одному реальному ТВ – від 4 до 14.

Заради зручності порівняння для накопичувачів ЛСМ, віртуальних і реальних об'єктів поштового зв'язку застосовано послідовні нумерації, що розпочинаються з 0. У дужках зазначені номери відсутніх ВЗ.

Продовження таблиці 3.11

			32	44		65											
			33			66											
						67											
						68											

Таблиця 3.12 – Ілюстрація реалізації двоетапного висхідного сортування

Накопичувачі ЛСМ																	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
Віртуальні ТВ після першого етапу сортування																	
0	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	29	30	31	32	33	34	35						
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47						
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59						
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71						
72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83						
84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95						
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107						
108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119						
120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131						
132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143						
Віртуальні й реальні ВЗ після другого етапу сортування																	
0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132						
1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121	133						
2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122	134						
3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123	135						
4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124	136						
5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125	137						
6	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126	138						
7	19	31	43	55	67	79	91	103	115	127	139						
8	20	32	44	56	68	80	92	104	116	128	140						
9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	129	141						
10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142						
11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	131	143						
Упаковки реальних ВЗ																	
0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132						
1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121	133						
2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122	134						
3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123	135						
4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124	136						
5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125	137						
6	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126	138						
7	19	31	43	55	67	79	91	103	115	127	139						
8	20	32	44	56	68	80	92	104	116	128	140						
9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	129	(141)						
10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	(142)						
11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	131	(143)						
Упаковки реальних ТВ																	
0	7	13	22	34	45	55	69	79	88	96	102	109	115	120	128	132	136

1	8	14	23	35	46	56	70	80	89	97	103	110	116	121	129	133	137
2	9	15	24	36	47	57	71	81	90	98	104	111	117	122	130	134	138
3	10	16	25	37	48	58	72	82	91	99	105	112	118	123	131	135	139
4	11	17	26	38	49	59	73	83	92	100	106	113	119	124			140
5	12	18	27	39	50	60	74	84	93	101	107	114		125			(141)
6		19	28	40	51	61	75	85	94		108			126			(142)
		20	29	41	52	62	76	86	95					127			(143)
		21	30	42	53	63	78	87									
			31	43	54	64											
			32	44		65											
			33			66											
						67											
						68											

На рис. 3.4 наведено схеми автоматизованого сортування письмової кореспонденції за наявності одного (*a*) або декількох (*б*) РАСЦ

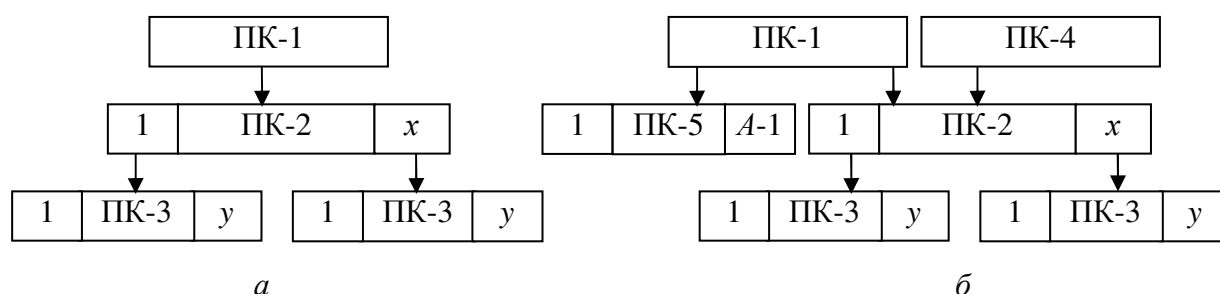


Рисунок 3.4 – Схеми автоматизованого сортування письмової кореспонденції

На рис. 3.4 прийнято позначення:

x – кількість віртуальних об'єктів поштового зв'язку, до яких виконується сортування письмової кореспонденції на першому етапі сортування;

y – кількість накопичувачів ЛСМ;

A – кількість РАСЦ, в яких виконується автоматизоване сортування письмової кореспонденції;

ПК-1 – письмова кореспонденція, що надходить з об'єктів поштового зв'язку країни (*a*) або з об'єктів поштового зв'язку власного регіону (*б*);

ПК-2 – письмова кореспонденція, відсортована до віртуальних об'єктів поштового зв'язку країни (*a*) або до віртуальних об'єктів поштового зв'язку власного регіону (*б*);

ПК-3 – письмова кореспонденція, відсортована до реальних об'єктів поштового зв'язку країни (*a*) або до реальних об'єктів поштового зв'язку власного регіону (*б*);

ПК-4 – письмова кореспонденція, що надходить на сортування з об'єктів поштового зв'язку інших регіонів;

ПК-5 – письмова кореспонденція, що направляється на сортування з об'єктів поштового зв'язку власного регіону до об'єктів поштового зв'язку інших регіонів.

Як впливає з рис. 3.4, схема сортування письмової кореспонденції за наявності одного РАСЦ значно простіша, ніж схема сортування письмової кореспонденції за наявності декількох РАСЦ.

Вважаючи кількість регіонів A і кількість напрямів сортування N відомими, а також вважаючи кількість напрямів сортування, що припадає на один регіон, рівною N/A , знайдемо значення x і y .

Для цього розв'яжемо систему рівнянь першого і другого етапів сортування

$$\begin{cases} A-1+x=y & \text{— рівняння першого етапу сортування} \\ xy = \frac{N}{A} & \text{— рівняння другого етапу сортування} \end{cases}$$

Підставляючи значення y в друге рівняння, одержимо

$$x(A-1+x) = \frac{N}{A} \quad \text{або} \quad x^2 + (A-1)x - \frac{N}{A} = 0,$$

звідки

$$x = \sqrt{\frac{(A-1)^2}{4} + \frac{N}{A}} - \frac{A-1}{2},$$

$$y = \sqrt{\frac{(A-1)^2}{4} + \frac{N}{A}} + \frac{A-1}{2}.$$

У табл. 3.13 наведено залежність x і y від A при $N = 15625$ (приблизна кількість ВЗ в Україні).

Таблиця 3.13 – Залежність x і y від A при $N = 15625$

Показники	Значення показників				
A	1	4	10	20	50
x	125	61	35	20	6
y	125	64	44	39	55

Як впливає з табл. 3.13, у залежності від значення A існує мінімальне значення y , а, отже, і мінімальна вартість ЛСМ, що використовується для автоматизованого сортування письмової кореспонденції. Для наведених у табл. 3.14 вихідних даних мінімальне значення $y = 39$ досягається при $A = 20$, що в 3,2 рази менше, ніж при $A = 1$. Втім, слід враховувати, що при цьому кількість ЛСМ, потрібних для сортування письмової кореспонденції, зростає в 20 разів.

У схемі рис. 3.4, а вся письмова кореспонденція проходить два етапи сортування, тому кількість сортувань письмової кореспонденції дорівнює двом незалежно від її об'єму; у схемі рис. 3.4, б письмова кореспонденція власного регіону проходить два етапи сортування, а письмова кореспонденція інших регіонів – три етапи (один етап у своєму регіоні та два етапи в іншому), тому середня кількість сортувань письмової кореспонденції залежить від співвідношення об'ємів письмової кореспонденції власного регіону (ПК-1) та інших регіонів (ПК-4).

Якщо частка письмової кореспонденції власного регіону складає p , а частка письмової кореспонденції інших регіонів – $(1 - p)$, то середня кількість сортувань письмової кореспонденції складе $2p + 3(1 - p) = 3 - p$. Зокрема, якщо об'єми ПК-1 і ПК-4 збігаються, то середня кількість сортувань письмової кореспонденції дорівнює 2,5.

3.5. Підвищення продуктивності 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 у 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, отриманих після першого етапу сортування, знов поділяється на n груп

$$P_1 = P_{11} + P_{12} + \dots + P_{1n};$$

$$P_2 = P_{21} + P_{22} + \dots + P_{2n};$$

$$\dots$$

$$P_n = P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{nn}.$$

На третьому етапі сортування кожна з груп, отриманих після другого етапу сортування, знов поділяється на n груп

$$P_{11} = P_{111} + P_{112} + \dots + P_{11n};$$

$$P_{12} = P_{121} + P_{122} + \dots + P_{12n};$$

$$\dots$$

$$P_{1n} = P_{1n1} + P_{1n2} + \dots + P_{1nn};$$

$$P_{21} = P_{211} + P_{212} + \dots + P_{21n};$$

$$P_{22} = P_{221} + P_{222} + \dots + P_{22n};$$

$$\dots$$

$$P_{2n} = P_{2n1} + P_{2n2} + \dots + P_{2nn};$$

$$\dots$$

$$P_{n1} = P_{n11} + P_{n12} + \dots + P_{n1n};$$

$$P_{n2} = P_{n21} + P_{n22} + \dots + P_{n2n};$$

$$\dots$$

$$P_{nn} = P_{nn1} + P_{nn2} + \dots + P_{nnn}.$$

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 витрачається 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 викиданням листів у відповідні накопичувачі після закінчення кожного етапу сортування, що визначається довжиною 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. 3.14 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 3.14 – Показники багатоступового 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 випливає з табл. 3.14, реальна продуктивність ЛСМ за одноетапного сортування практично не відрізняється від номінальної; за двоетапного сортування – зменшується більш ніж у 2 рази; за триетапного сортування – 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 щодо 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 розвантаженням 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. 3.15.

Таблиця 3.15 – 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. 3.5 наведено часову діаграму суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопи-

чувачів ЛСМ для письмової кореспонденції, дані про яку наведено у табл. 3.15.

A_1	112	124	138	144		211	222	233		313	322	331									
A_2		112	124	138	144			222	233		313	322									
A_3				124	138	144				233		313									
A_4					124	138	144														
A_5							138														
A_6								138													
A_7									138												
A_8										138											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Такти

138 Просування листа відповідного позначення уздовж траси накопичувачів

138 Вкидання листа відповідного позначення у накопичувач

□ Розвантаження накопичувача

Рисунок 3.5 – Часова діаграма суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ

Як впливає з рис. 3.5, сортування, проходження траси і розвантаження накопичувачів письмової кореспонденції групи 1 провадиться в тактах 1, 2, ..., 12; групи 2 – в тактах 6, 7, ..., 16; групи 3 – в тактах 10, 11, ..., 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

$$T_p^* = \frac{kP + \frac{n^k - 1}{n - 1} + t_t + t_n}{Q_n},$$

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. 3.14.

Як впливає з табл. 3.14, 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. за двоетапного і $Q_n / 3 = 12000$ лист./год. за триетапного сортування письмової кореспонденції.

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 розкладанні 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 $n!$ за відносно невеликих значень 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 місцезрештування визначається значеннями самих поштових 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. 3.6 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*.

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 .

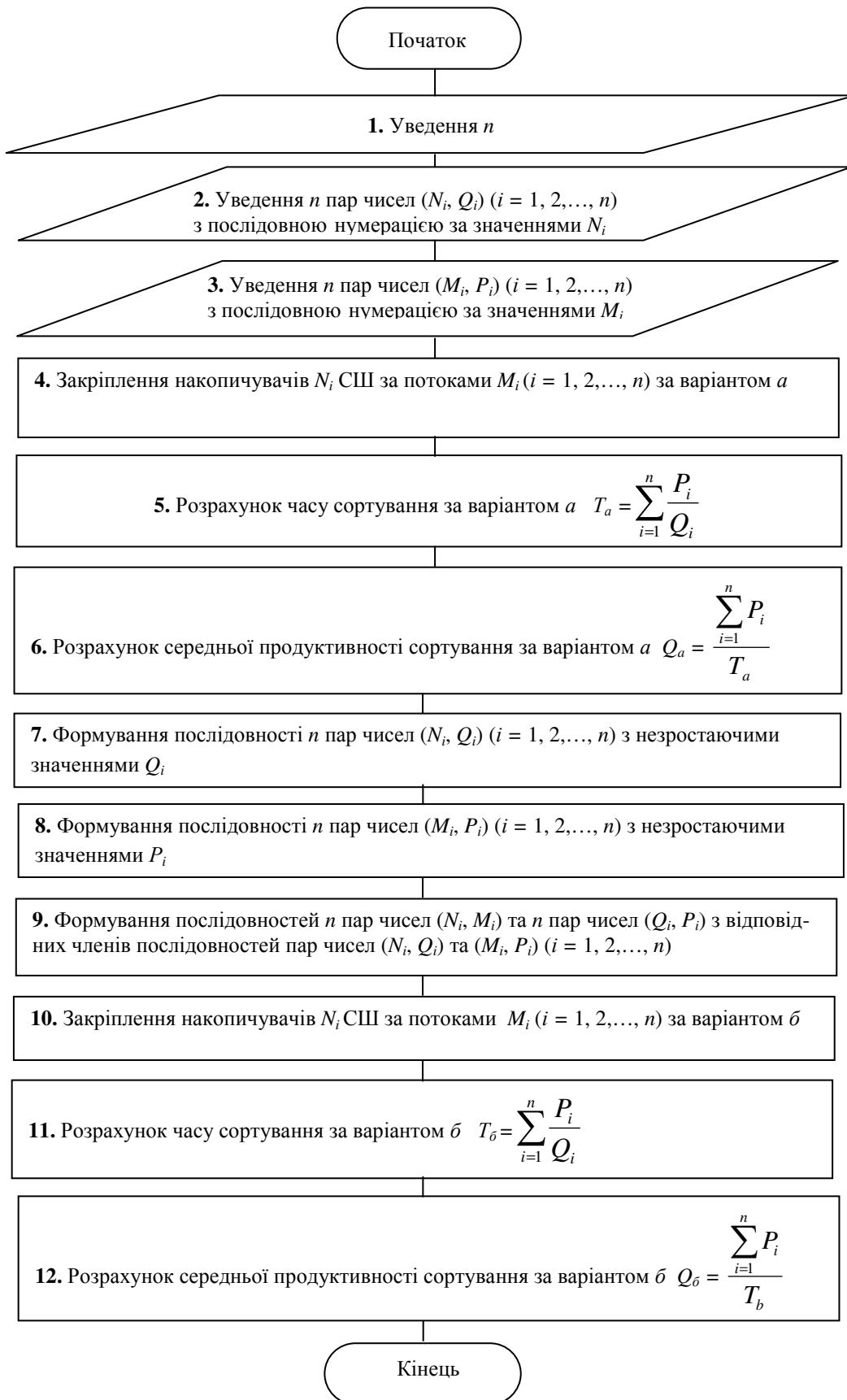


Рисунок 3.6 – Алгоритм закріплення накопичувачів СШ за поштовими потоками та розрахунку часу і продуктивності сортування

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. $T_b = 12/10 + 10/9 + 10/9 + 9/8 + 8/8 + 7/7 + 6/7 + 6/6 + 5/6 = 9,24$.

$$\text{Блок 12. } Q_b = \frac{12+10+10+9+8+7+6+6+5}{9,24} = 7,90.$$

На рис. 3.7 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 b)

Блок 10
Закріплення
 N_i за M_i
(варіант b)

Рисунок 3.7 – 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. 3.8 наведено ілюстрацію визначення залежності продуктивності сортування письмової кореспонденції від місцезрештування накопичувачів СШ.

Зображена на рис. 3.8 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 $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

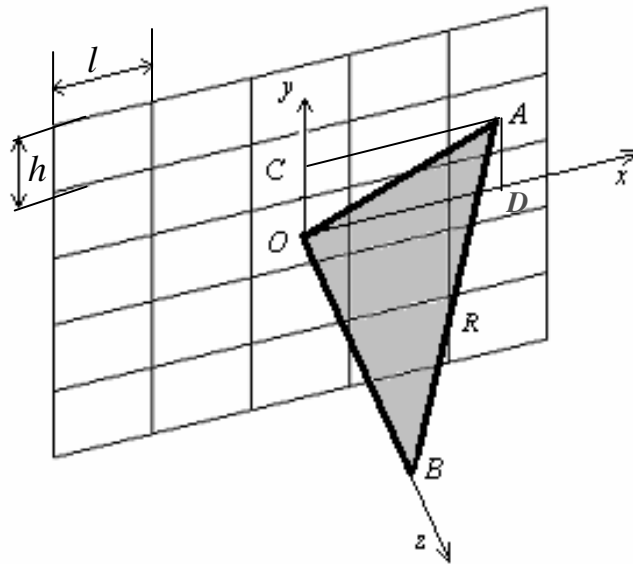


Рисунок 3.8 – Ілюстрація визначення залежності продуктивності сортування письмової кореспонденції від місцезрештування накопичувачів СШ

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).

3.6. Моделювання 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. 3.9 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} .

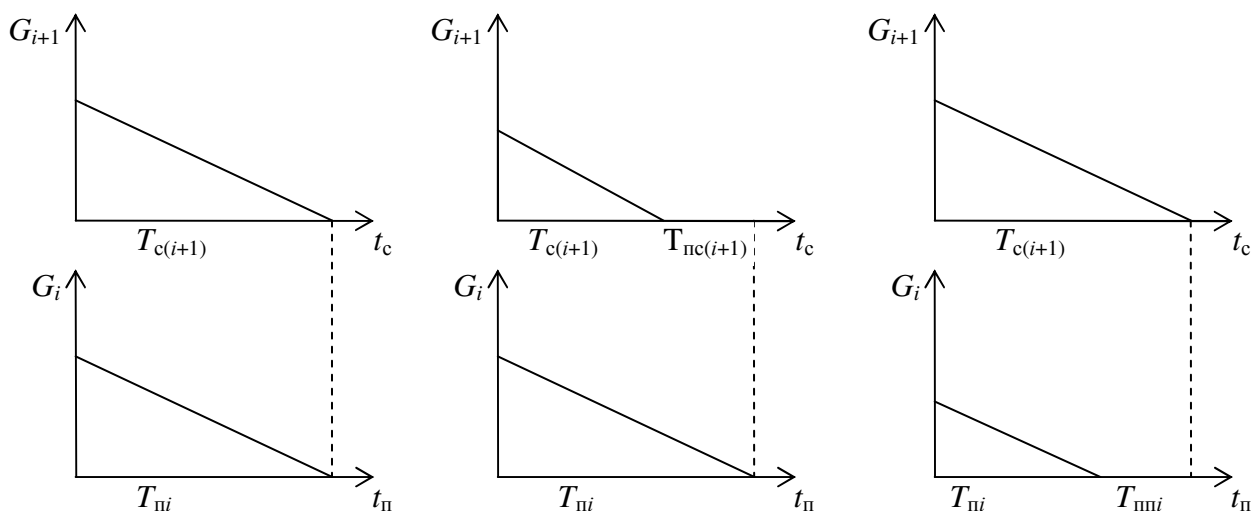


Рисунок 3.9 – Співвідношення часу пакування та сортування сортувальних груп

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

У другому випадку $T_{пi} > T_{c(i+1)}$, внаслідок чого $T_{ппi} = 0$, а $T_{пс(i+1)} = T_{пi} - T_{c(i+1)}$.

У третьому випадку $T_{пi} < T_{c(i+1)}$, внаслідок чого $T_{ппi} = T_{c(i+1)} - T_{пi}$, а $T_{пс(i+1)} = 0$.

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 $\max(T_{пi}, T_{c(i+1)})$.

Враховуючи надто високу вартість ЛСМ, необхідно забезпечити мінімізацію часу простою сортування $T_{пс}$ за рахунок відповідного скорочення часу пакування $T_{п}$ при можливому зростанні часу простою пакування $T_{пп}$.

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 rn/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

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

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

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

На рис. 3.10 наведено значення $T_{пс1}$, $T_{пс2}$, $T_{пс3}$, $T_{пс4}$ у залежності від значень G_i та G_{i+1} при $q = 1$; $q = 2$; $q = 3$; $q = 4$ для $Q = 1$; $r = 1$; $G_{\min} = 1$; $G_{\max} = 12$.

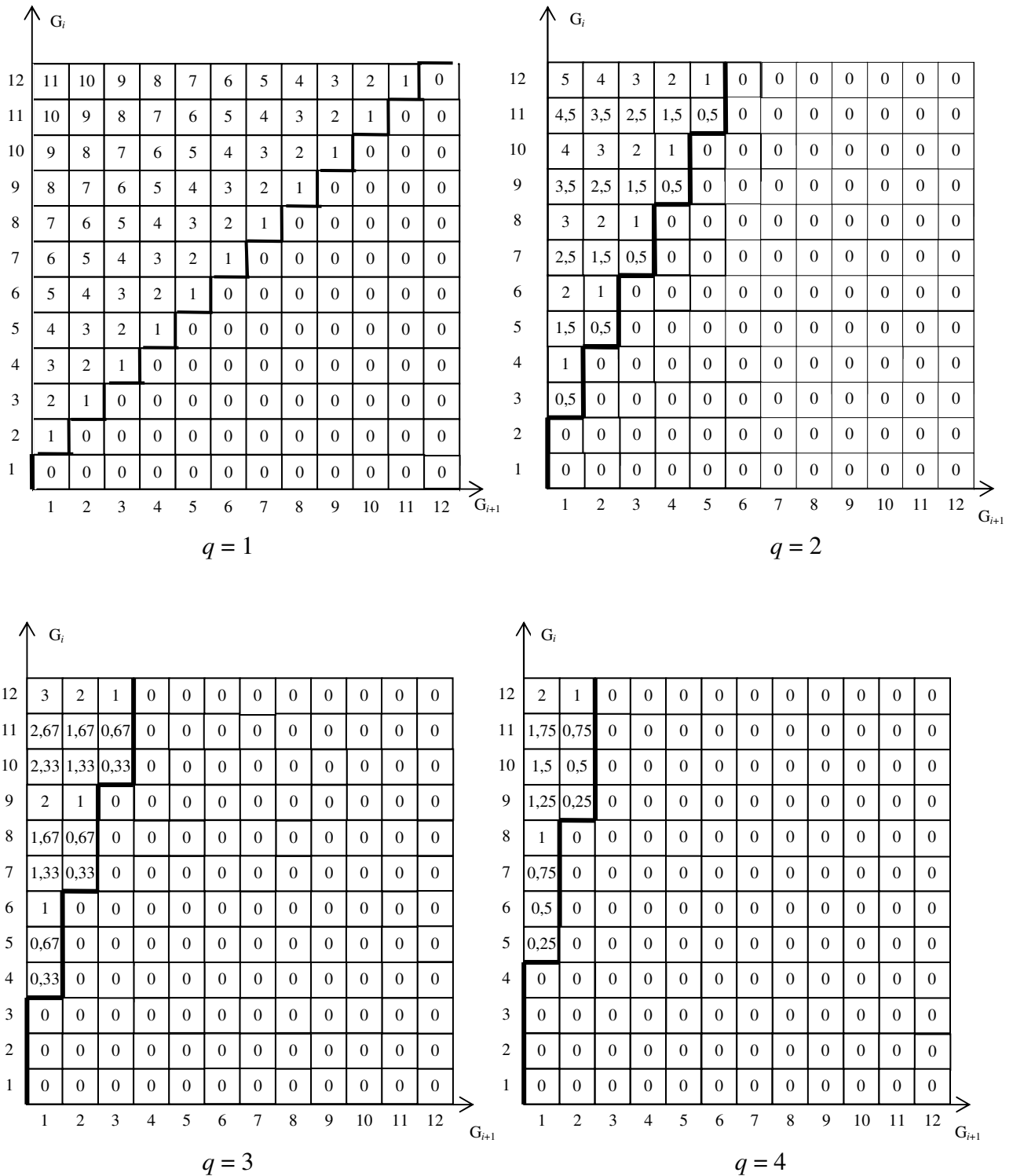


Рисунок 3.10 – Значення $T_{пс}$ за різних значень q

Ефективність скорочення простоїв сортування за рахунок збільшення кількості комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць ілюструється на рис. 3.11.

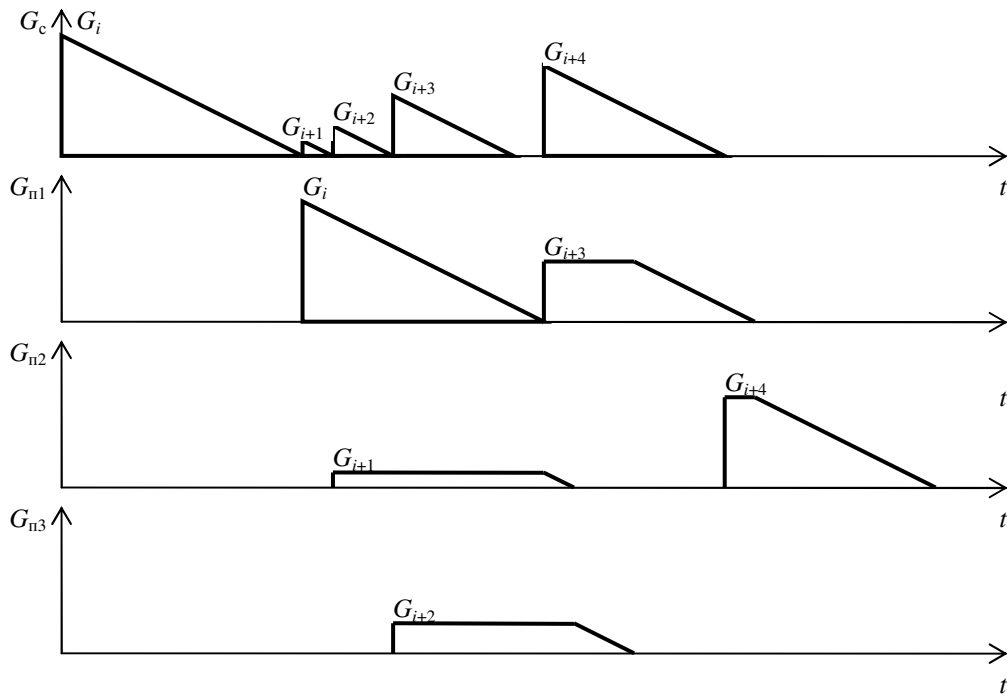


Рисунок 3.11 – Ілюстрація зайняття комплектів комірок для тимчасового зберігання відсортованих груп поштових одиниць

Як випливає з рис. 3.11, 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

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

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

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

На рис. 3.12 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 $Q = 1$, $q = 1$, $G_{\min} = 1$, $G_{\max} = 12$.

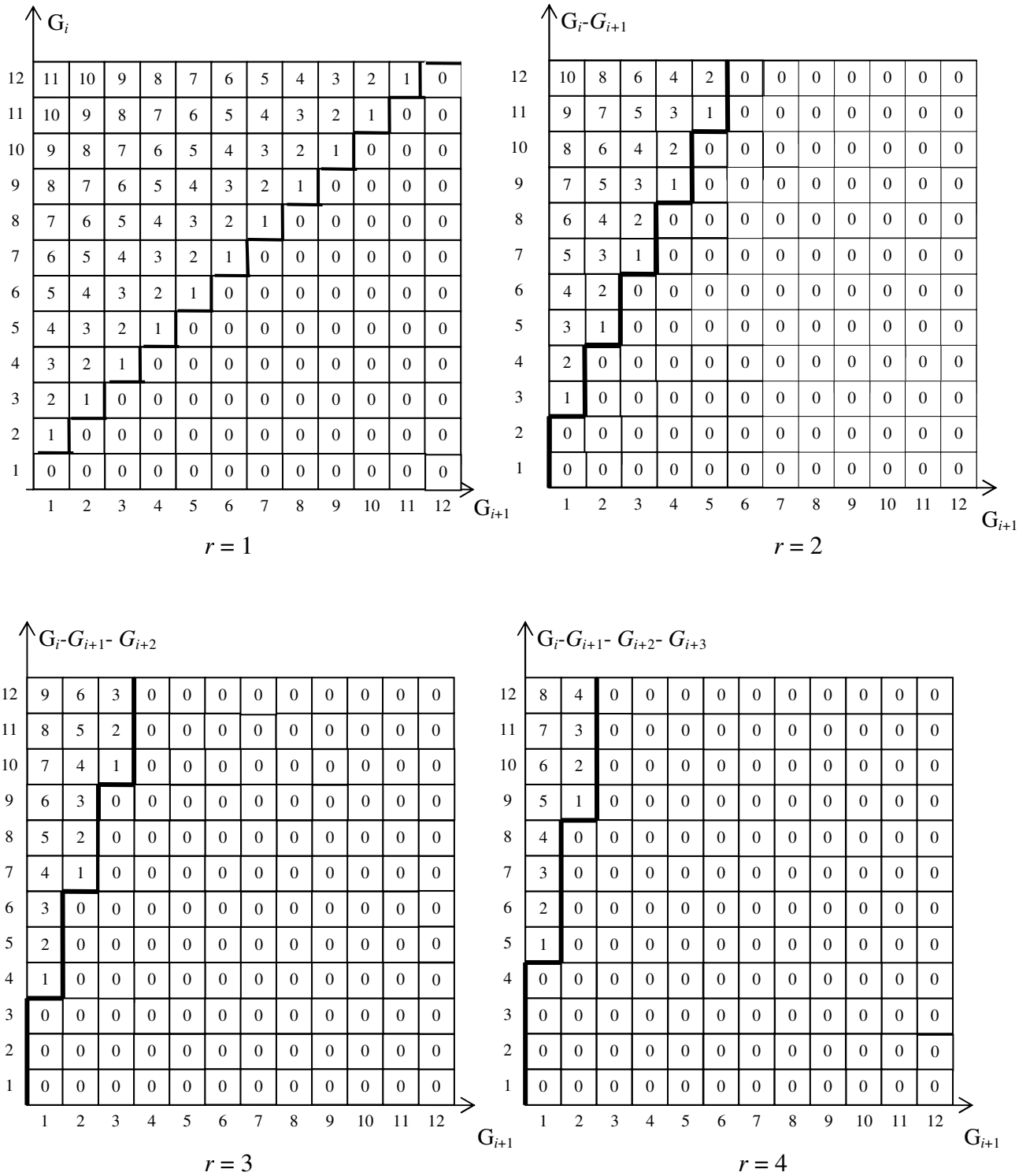


Рисунок 3.12 – Значення $T_{пс}$ за різних значень r

У табл. 3.16, 3.17 наведено показники ефективності скорочення часу простою сортування – ймовірності простою сортування $v_{пс}$, середнього часу простою сортування $T_{пс}$ і відношення $T_{пс} / G_c$ (%), при $G_{мін} = 1$, $G_c = 0,5$ ($G_{мін} + G_{макс}$), $G_{макс} = 12$ 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 3.16 – 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 3.17 – 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. 3.16 і 3.17, значення $T_{\text{пс}}$ при $q \geq 1, r = 1$ в q разів менше відповідних значень $T_{\text{пс}}$ при $r \geq 1, q = 1$.

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. 3.13 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.

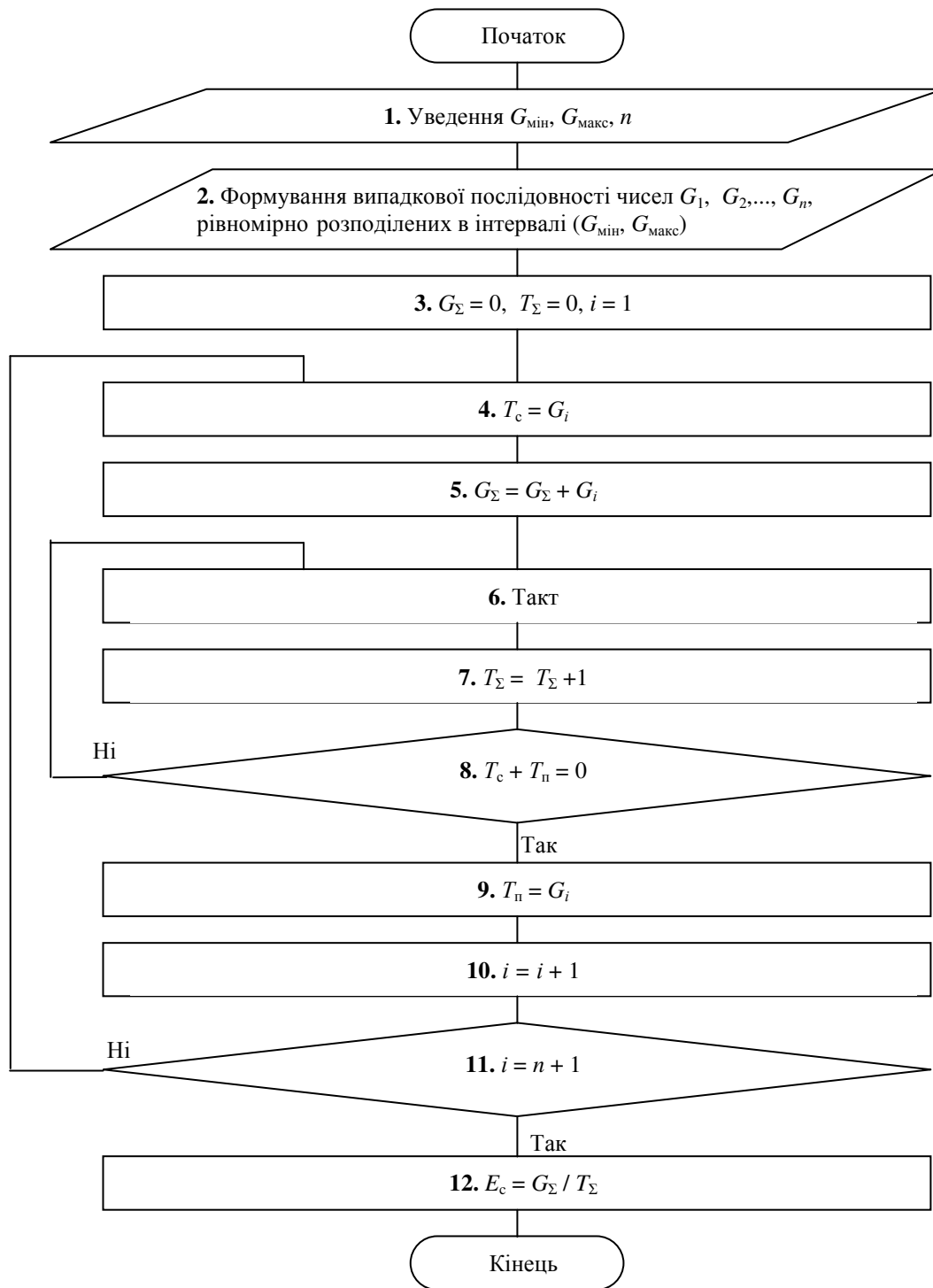


Рисунок 3.13 – Алгоритм моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць

Алгоритм містить 12 блоків.

У блоці 1 виконується уведення 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, за великих значень G_i робота алгоритму займає багато часу, а графічна інтерпретація результатів стає практично неможливою.

На рис. 3.14 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. 3.14 ті ж самі, що і на рис. 3.13.

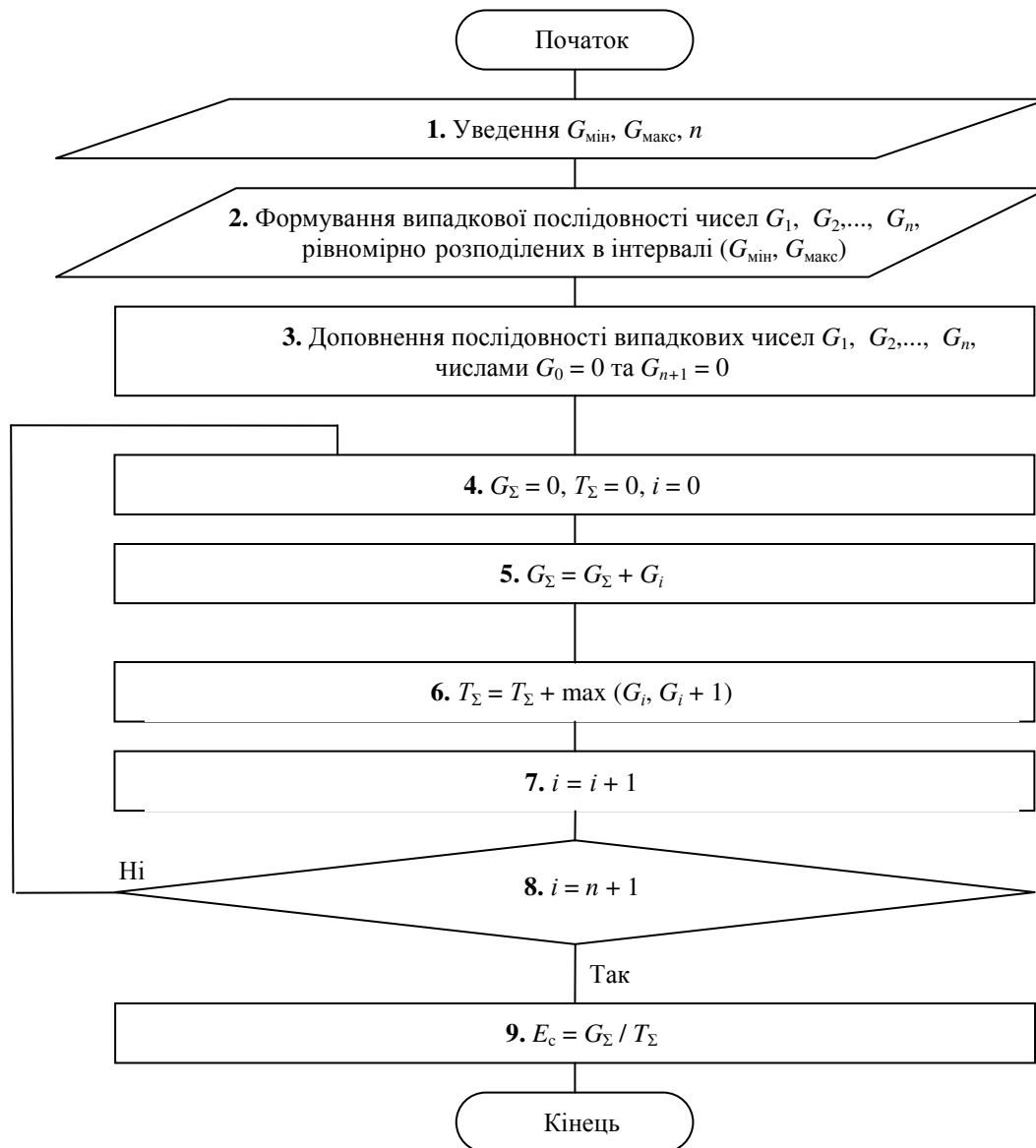


Рисунок 3.14 – Алгоритм швидкого моделювання процесів сортування та пакування поштових одиниць

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.

3.7. Оптимізація кількості та ємності накопичувачів ЛСМ

Як вже зазначалось, кількість n накопичувачів ЛСМ, кількість m напрямів сортування і кількість k етапів сортування пов'язані залежностями

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

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 напрямку 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.

Сьогодні 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

$$D_1 = \frac{C_1}{BT} = \frac{A}{B} + m \text{ і } D_k = \frac{C_k}{BT} = k\left(\frac{A}{B} + \sqrt[k]{m}\right).$$

У табл. 3.18 наведено залежності вартості сортування D_1 , D_2 , D_3 та кількості накопичувачів n від m при $A/B = 100$, а на рис. 3.15 – графіки цих залежностей.

Таблиця 3.18 – 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

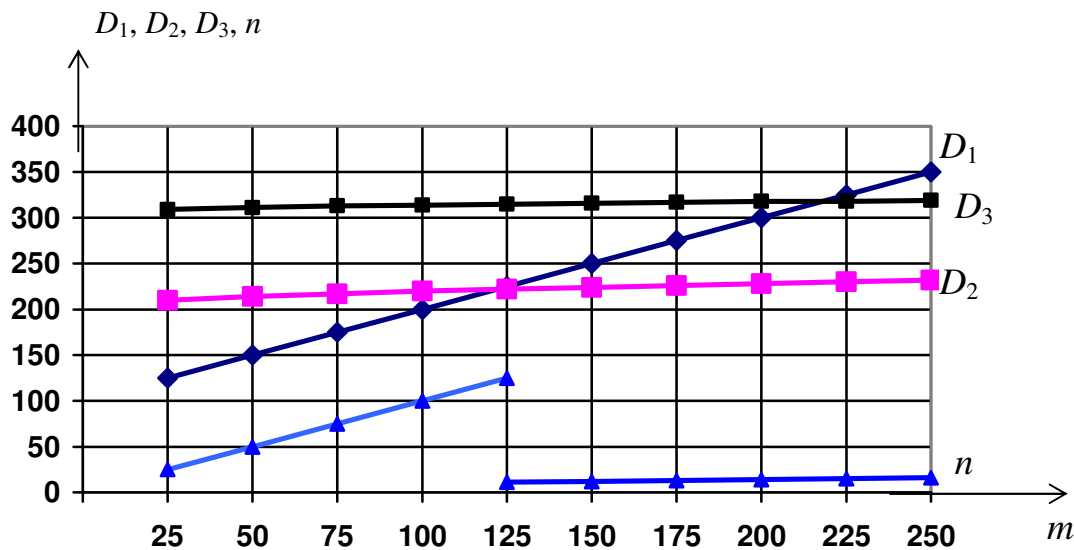


Рисунок 3.15 – Графіки залежностей D_1 , D_2 , D_3 та n від m при $A/B = 100$

Точка перетину графіків $D_1(m)$ і $D_2(m)$ знаходиться як рішення рівняння $D_1(m) = D_2(m)$, тобто $\frac{A}{B} + m = 2\left(\frac{A}{B} + \sqrt{m}\right)$, 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 $\frac{A}{B} + m = 3\left(\frac{A}{B} + \sqrt[3]{m}\right)$, 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 $2\left(\frac{A}{B} + \sqrt{m}\right) = 3\left(\frac{A}{B} + \sqrt[3]{m}\right)$, яке при $A/B = 100$ складає $m = 5990$ (знаходиться поза межами рис. 3.15).

Оскільки критерієм оптимізації кількості накопичувачів є 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:

- за одноетапного сортування $1 \leq n = m < 122$;
- за двоетапного сортування $122 \leq n = \sqrt{m} < 5990$;
- за триетапного сортування $5990 \leq n = \sqrt[3]{m} < 252436$.

Звідси випливає, що за реальних умов кількість етапів сортування не повинна перевищувати двох.

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 у 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 багатооборотними або одноразовими.

При використанні багатооборотних 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 наявністю 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. 3.16 зображені два накопичувачі ЛСМ різної ємності.

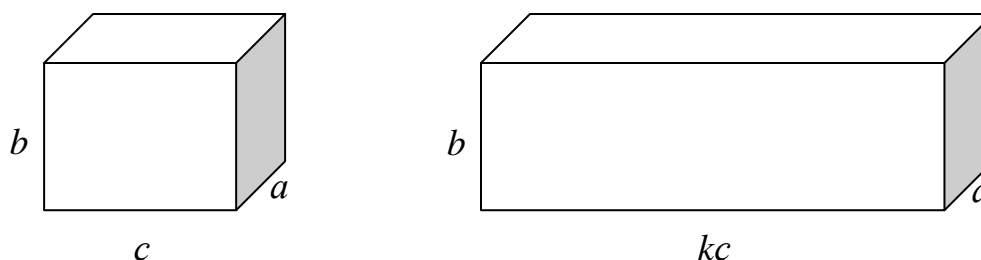


Рисунок 3.16 – Накопичувачі ЛСМ різної ємності

Як випливає з рис. 3.16, 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

$$\frac{S_{k\text{відкр}}}{S_{1\text{відкр}}} = \frac{2ab + k(ac + 2bc)}{2ab + ac + 2bc} < k;$$

$$\frac{S_{k\text{закр}}}{S_{1\text{закр}}} = \frac{ab + k(ac + bc)}{ab + ac + bc} < k.$$

У табл. 3.19 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 3.19 – 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 випливає з табл. 3.19, 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 $S_{\text{квідкр}} / k$ і $S_{\text{кзакр}} / k$ 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 $\left\lceil \frac{P_i}{V_k} \right\rceil$ – значення $\frac{P_i}{V_k}$, округлене до найближчого більшого цілого числа.

Враховуючи, що

$$\left\lceil \frac{P_i}{V_k} \right\rceil \approx \left\lfloor \frac{P_i}{V_k} \right\rfloor + 1,$$

де $\left\lfloor \frac{P_i}{V_k} \right\rfloor$ – ціла частина $\frac{P_i}{V_k}$, а $m \gg 1$,

$$M_k \approx \left\lfloor \frac{P_1}{V_k} + \frac{P_2}{V_k} + \dots + \frac{P_n}{V_k} \right\rfloor + m \approx \left\lfloor \frac{P}{V} \right\rfloor + m \approx \frac{P}{V_k}.$$

Сумарна вартість D_{Σ} усіх M_k змінних накопичувачів ЛСМ складає:

– при використанні відкритих накопичувачів

$$D_{\Sigma\text{відкр}} = M_k S_{\text{квідкр}} = \left(\frac{P}{kabc} + m \right) (2ab + k(ac + 2bc));$$

– при використанні закритих накопичувачів

$$D_{\Sigma\text{закр}} = M_k S_{\text{кзакр}} = 2 \left(\frac{P}{kabc} + m \right) (ab + k(ac + bc)).$$

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:

$$k = \sqrt{\frac{2P}{3m}} \text{ і } k = \sqrt{\frac{P}{2m}}.$$

Зокрема, при $P = 10000$, $m = 100$ ці значення складуть $k = 8,16$ і $k = 7,07$.

У табл. 3.20 наведено залежність значень $D_{\Sigma\text{відкр}}$ і $D_{\Sigma\text{закр}}$ від k при $a = b = c = 1$; $P = 10000$; $m = 100$.

Таблиця 3.20 – 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. 3.20 підтверджують наявність мінімальних значень $D_{\Sigma\text{відкр}} = 35100$ при $k = 8$ і $D_{\Sigma\text{закр}} = 45857$ при $k = 7$.

3.8. Оптимізація кількості та розташування робочих місць з оброблення поштових одиниць

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. 3.21).

Таблиця 3.21 – 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. 3.17).

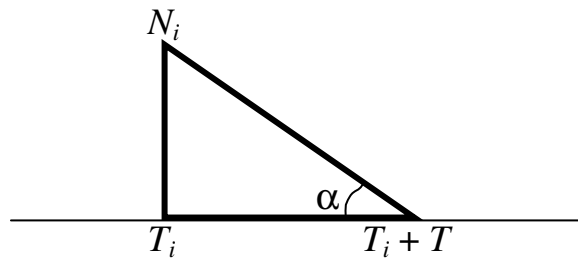


Рисунок 3.17 – Графік оброблення поштових одиниць

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 у 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. 3.18.

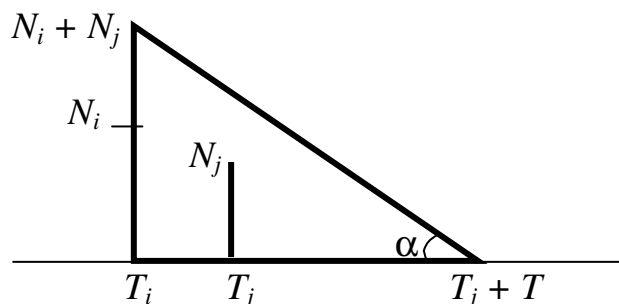


Рисунок 3.18 – Визначення необхідної продуктивності оброблення поштових одиниць

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

Кількість робочих місць R з оброблення поштових одиниць дорівнює

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

де Q_{\max} – 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 3.22 – 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. 3.19 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 $T = 3$.

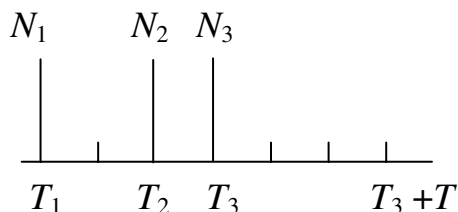


Рисунок 3.19 – Приклад надходження навантажень N_1, N_2, N_3

У табл. 3.23 надані значення навантажень, які визначають максимальні значення продуктивності оброблення поштових одиниць (виділені жирним шрифтом).

Таблиця 3.23 – 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 випливає з табл. 3.23, 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. 3.20.

Алгоритм містить 15 блоків.

У блоці 1 виконується уведення 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_p .

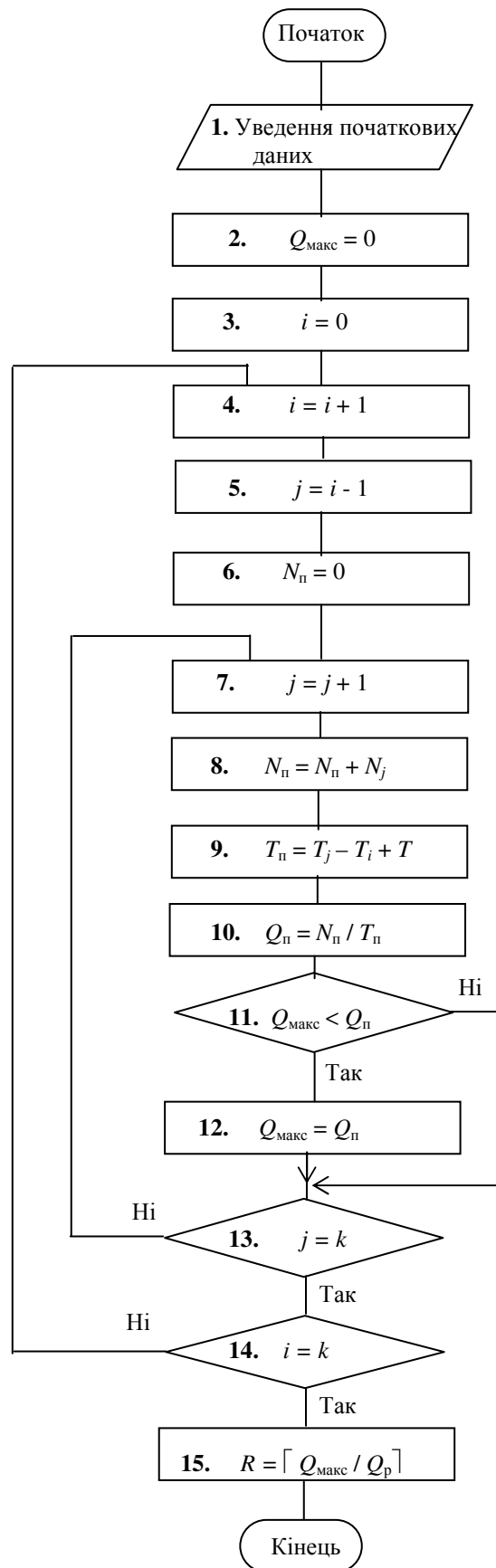


Рисунок 3.20 – Алгоритм розрахунку кількості робочих місць з оброблення поштових одиниць

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. 3.20.

Кількість надходжень поштового навантаження – 4.

Значення поштового навантаження (тис. листів), що надходить у вузол, наведено у табл. 3.24.

Таблиця 3.24 – 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. 3.25 наведено послідовність розрахованих значень продуктивності сортування поштових одиниць відповідно до даних табл. 3.24.

Таблиця 3.25 – 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 випливає 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.

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 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. 3.21.

На рис. 3.21 позначені:

a – схема оброблення поштових одиниць з перевезенням укрупнених поштових одиниць між робочими місцями;

b – 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 А₁ зони обслуговування А - Б);

А₇ - А₁₂ – накопичувачі РМА₂ (частини А₂ зони обслуговування А - Б);

Б₁ - Б₄ – накопичувачі РМБ₁ (частини Б₁ зони обслуговування А - Б);

Б₅ - Б₈ – накопичувачі РМБ₂ (частини Б₂ 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, 2, ..., 12 позначені визначені заздалегідь напрями пересилання укрупнених поштових одиниць між накопичувачами РМА₁, РМА₂ (частин А₁ і А₂ зони обслуговування А - Б) і накопичувачами РМБ₁, РМБ₂ (частин Б₁ і Б₂ зони обслуговування А - Б).

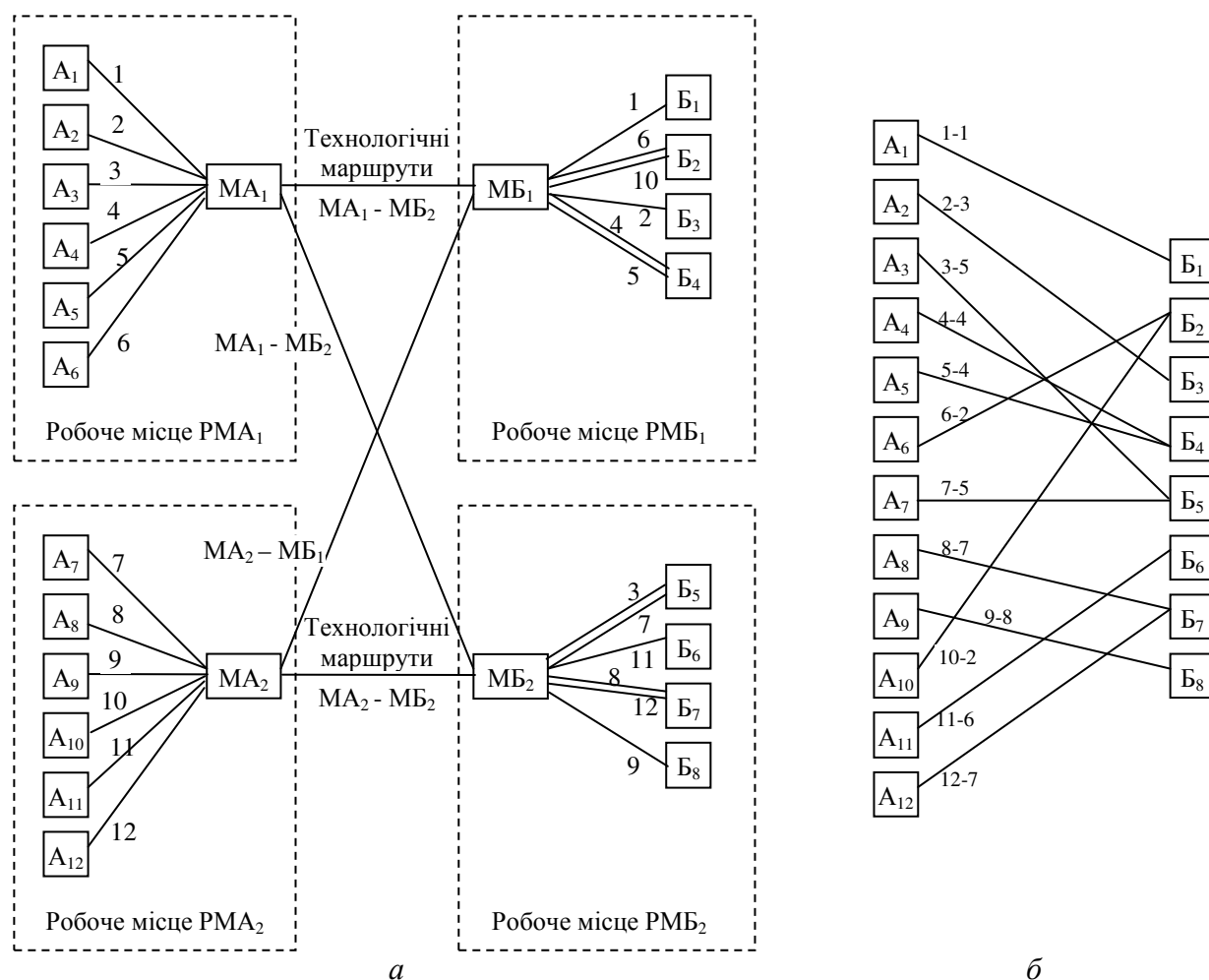


Рисунок 3.21 – Принцип переходу від оброблення поштових одиниць на локальних робочих місцях до оброблення в розподіленій зоні обслуговування

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. 3.22 наведений фрагмент графа розташування накопичувачів постпакетів 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.

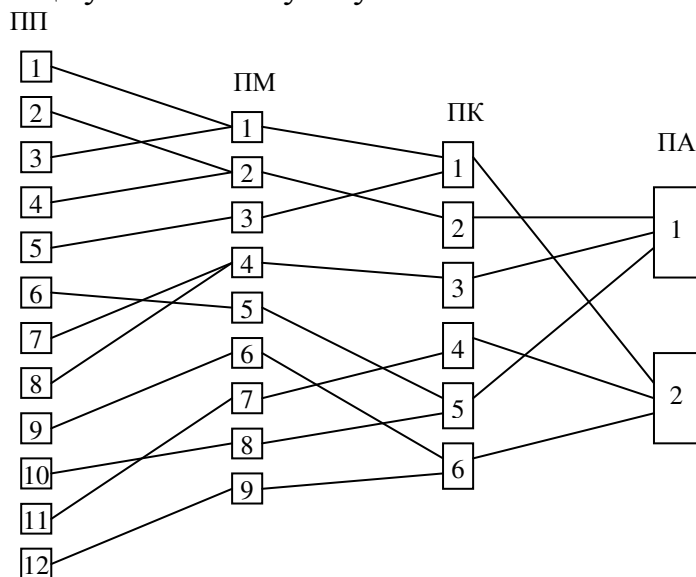


Рисунок 3.22 – Фрагмент графа розташування накопичувачів

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. 3.22, зручно подавати у виді трьох матриць:

– матриці A_1 зв’язків PPP - PM між накопичувачами постпакетів і накопичувачами мішків;

– матриці B_1 зв’язків PM - PK між накопичувачами мішків і накопичувачами контейнерів;

– матриці C_1 зв’язків PK - PA між накопичувачами контейнерів і накопичувачами автомобілів (напівпричепів, причепів).

У зазначених матрицях, поданих на рис. 3.23, 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 3.23 – 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. 3.24.

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 3.24 – 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 –

рядок 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} пов'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. 3.25 наведений плоский граф розташування накопичувачів укрупнених поштових одиниць, який відповідає матрицям A_2 , B_2 , C_2 .

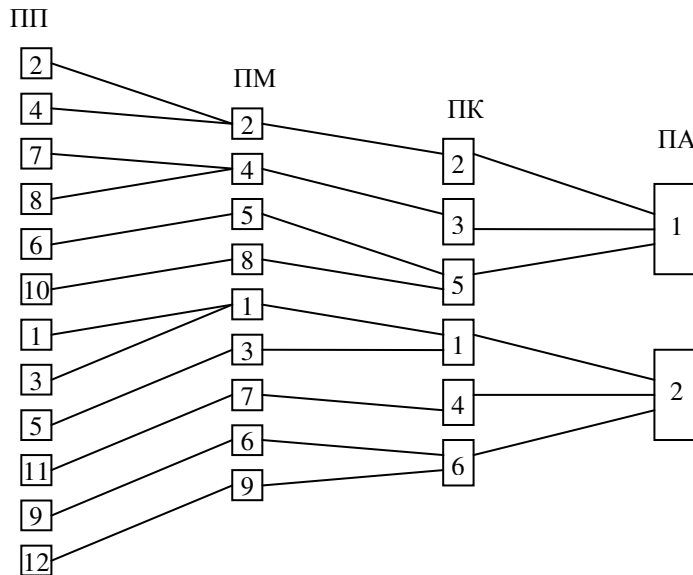


Рисунок 3.25 – Плоский граф розташування накопичувачів

З рис. 3.25 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.

Контрольні питання

1. Наведіть постановку задачі сортування поштових одиниць.
2. У чому полягає оптимальна стратегія сортування поштових одиниць?
3. Як визначається загальний об'єм сортування поштових одиниць?
4. Як визначається середня кількість сортувань поштових одиниць?
5. Назвіть основні фактори, що визначають кількість сортувань письмової кореспонденції.
6. Як пов'язані кількість напрямів сортування і кількість накопичувачів ЛСМ з мінімальною кількістю етапів сортування?
7. Чому мінімально можлива кількість етапів сортування може бути реалізована за умов його виконання лише в одному об'єкті поштового зв'язку?
8. Охарактеризуйте основні методи сортування поштових одиниць – метод виділення напрямів і метод групування напрямів.
9. У чому полягає сутність сортування поштових одиниць методом виділення напрямів?
10. У чому полягає сутність сортування поштових одиниць методом групування напрямів?
11. У чому полягає сутність комбінаційного методу сортування поштових одиниць?
12. Чим визначається кількість етапів сортування поштових одиниць методом виділення напрямів?
13. Чим визначається кількість етапів сортування поштових одиниць методом групування напрямів?
14. Чим визначається кількість етапів сортування поштових одиниць комбінаційним методом?
15. Чим визначається середня кількість сортувань поштових одиниць методом виділення напрямів?
16. Чим визначається середня кількість сортувань поштових одиниць методом групування напрямів?
17. Чим визначається середня кількість сортувань поштових одиниць комбінаційним методом?
18. Що являє собою план сортування поштових одиниць?
19. Назвіть види сортування поштових одиниць.
20. У чому полягає сутність правила першого сортування поштових одиниць?

21. У чому полягає сутність правила повторного сортування поштових одиниць?

22. У чому полягає сутність правила зумовленого сортування поштових одиниць?

23. У чому полягає сутність правила направлення несорттованих поштових одиниць?

24. Поясніть кількість і сутність планів сортування поштових одиниць у трирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ ФТ1.

25. Поясніть кількість і сутність планів сортування поштових одиниць в трирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ ФТ2.

26. Поясніть кількість і сутність планів сортування поштових одиниць в чотирирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ АТ1.

27. Поясніть кількість і сутність планів сортування поштових одиниць в чотирирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ АТ2.

28. Обґрунтуйте мінімальну, середню та максимальну кількість сортувань письмової кореспонденції в трирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ ФТ1.

29. Обґрунтуйте мінімальну, середню та максимальну кількість сортувань письмової кореспонденції в трирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ ФТ2.

30. Обґрунтуйте мінімальну, середню та максимальну кількість сортувань письмової кореспонденції в чотирирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ АТ1.

31. Обґрунтуйте мінімальну, середню та максимальну кількість сортувань письмової кореспонденції в чотирирівневій мережі поштового зв'язку МПЗ АТ2.

32. Охарактеризуйте вплив транзитного оброблення на вартість і строки пересилання поштових одиниць.

33. Охарактеризуйте схему низхідного триетапного сортування й упакування поштових одиниць.

34. Охарактеризуйте схему висхідного триетапного сортування й упакування поштових одиниць.

35. Охарактеризуйте метод упакування сортувальних груп після повного завершення їхнього формування.

36. Наведіть приклад низхідного триетапного сортування поштових одиниць з упакуванням сортувальних груп після повного завершення їхнього формування.

37. Охарактеризуйте метод упакування сортувальних груп при чередуванні упакування з формуванням зазначених груп.

38. Наведіть приклад низхідного триетапного сортування поштових одиниць при чередуванні упакування з формуванням зазначених груп.

39. Назвіть недоліки традиційної стратегії багатоетапного низхідного сортування поштових одиниць.

40. У чому полягає стратегія багатоетапного висхідного безупинного сортування поштових одиниць?

41. Охарактеризуйте схему багатоетапного висхідного безупинного сортування й упакування поштових одиниць.

42. Охарактеризуйте загальний порядок сортування й упакування сортувальних груп при здійсненні багатоетапного висхідного безупинного сортування й упакування поштових одиниць.

43. Наведіть приклад триетапного висхідного безупинного сортування поштових одиниць.

44. Охарактеризуйте основні показники низхідного і висхідного сортування поштових одиниць.

45. Чим характеризується віртуальний об'єкт поштового зв'язку?

46. Навіщо слід замінювати сортування письмової кореспонденції до реальних об'єктів поштового зв'язку сортуванням до віртуальних об'єктів поштового зв'язку?

47. Наведіть приклад двоетапного низхідного сортування письмової кореспонденції з використанням сортування до віртуальних об'єктів поштового зв'язку.

48. Наведіть приклад двоетапного висхідного сортування письмової кореспонденції з використанням сортування до віртуальних об'єктів поштового зв'язку.

49. Охарактеризуйте схеми автоматизованого сортування письмової кореспонденції в одному і в декількох автоматизованих сортувальних центрах.

50. Чим визначається необхідна кількість накопичувачів ЛСМ при сортуванні письмової кореспонденції в одному і декількох автоматизованих сортувальних центрах?

51. На чому заснована можливість суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ?

52. Чим визначається ефективність суміщення в часі сортування письмової кореспонденції з проходженням траси і розвантаженням накопичувачів ЛСМ?

53. Чим визначається продуктивність ручного сортування письмової кореспонденції?

54. На чому заснована можливість підвищення продуктивності ручного сортування письмової кореспонденції?

55. Як залежить продуктивність ручного сортування письмової кореспонденції від місцерозташування накопичувачів сортувальної шафи?

56. Чим визначається співвідношення часу сортування та упакування груп письмової кореспонденції?

57. Охарактеризуйте можливі шляхи скорочення часу упакування письмової кореспонденції.

58. Охарактеризуйте можливі шляхи скорочення часу простоювання ЛСМ під час упакування письмової кореспонденції.

59. Як залежить вартість ЛСМ від кількості її накопичувачів?

60. Чим визначається оптимальна кількість накопичувачів ЛСМ?

61. Чим визначається оптимальна ємність накопичувачів ЛСМ?

62. Поясніть типовий хід графіка оброблення поштових одиниць.

63. Поясніть визначення необхідної продуктивності оброблення поштових одиниць.

64. У чому полягає оптимізація розміщення робочих місць?

65. Поясніть принцип побудови плоского графа розміщення накопичувачів поштових одиниць.

4. ТРАНСПОРТНА ЛОГІСТИКА ПОШТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

4.1. Принципи побудови поштових маршрутів

Перевезення поштових вантажів – ключова функція транспортної логістики поштового зв'язку.

Однією з основних задач транспортної логістики поштового зв'язку є побудова поштових маршрутів.

Основними показниками поштових маршрутів є:

- кількість поштових маршрутів (од.);
- протяжність поштових маршрутів (км);
- кількість транспортних засобів (од.);
- вантажопідйомність транспортних засобів (т);
- об'єм перевезень поштових вантажів (тонно-кілометрів, ткм);
- пробіг транспортних засобів (машино-кілометрів, мкм).

Показник тонно-кілометри використовується за умов великих поштових потоків, коли на всіх або на декількох поштових маршрутах використовується більше одного транспортного засобу; показник машино-кілометри використовується за умов малих поштових потоків, коли на всіх або на декількох поштових маршрутах використовується один транспортний засіб.

Принципи побудови поштових маршрутів визначаються структурами мереж поштового зв'язку.

У залежності від кількості рівнів ієрархії мережі поштового зв'язку поділяються на:

- однорівневі;
- багаторівневі з одним об'єктом поштового зв'язку вищого рівня ієрархії;
- багаторівневі з кількома об'єктами поштового зв'язку вищого рівня ієрархії.

В однорівневих мережах поштового зв'язку кожний об'єкт поштового зв'язку з'єднаний з кожним об'єктом поштового зв'язку або кожна група об'єктів поштового зв'язку з'єднана з кожною групою об'єктів поштового зв'язку окремим поштовим маршрутом, або всі об'єкти поштового зв'язку з'єднані між собою одним поштовим маршрутом.

У багаторівневих мережах поштового зв'язку об'єкти поштового зв'язку більш низьких рівнів ієрархії з'єднуються між собою через об'єкти поштового зв'язку більш високих рівнів ієрархії, тому будь-яка пара об'єктів поштового зв'язку з'єднується між собою за допомогою декількох радіальних або кільцевих поштових маршрутів.

На рис. 4.1 наведено приклади одно-, дво- і трирівневих ієрархічних структур мереж поштового зв'язку.

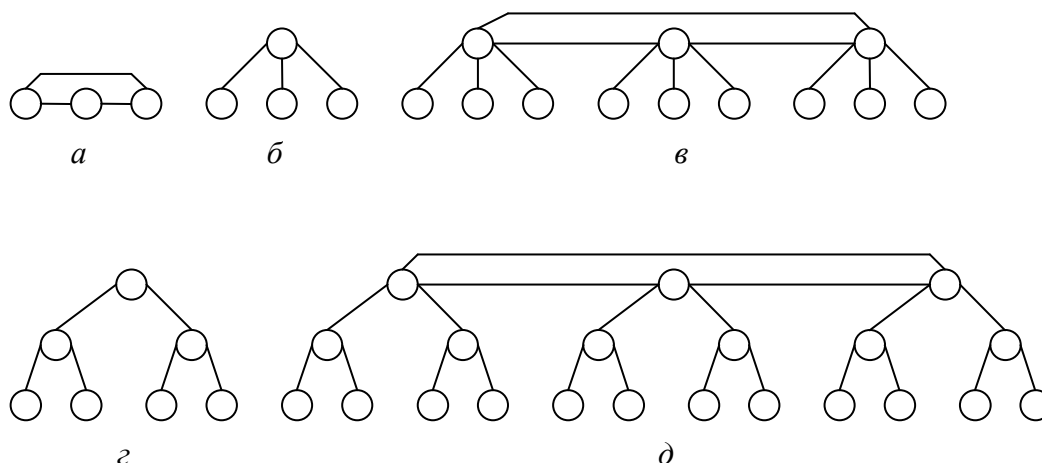


Рисунок 4.1 – Приклади однорівневих (а), дворівневих (б, в) і тривірневих (г, д) ієрархічних структур мереж поштового зв'язку

Як випливає з рис. 4.1, структури мереж поштового зв'язку, починаючи з дворівневих, можуть містити один (б, г) або декілька (в, д) об'єктів поштового зв'язку вищого рівня ієрархії, з'єднаних між собою за принципом «кожний з кожним».

Кількість поштових маршрутів, що потрібні для з'єднання будь-якої пари об'єктів у k -рівневій мережі поштового зв'язку в найбільш несприятливому випадку, складає:

- в однорівневій мережі поштового зв'язку – 1;
- у багаторівневій мережі з одним об'єктом поштового зв'язку вищого рівня ієрархії – $2k - 2$;
- у багаторівневій мережі з кількома об'єктами поштового зв'язку вищого рівня ієрархії – $2k - 1$;

Зазначимо, що мережі з одним об'єктом поштового зв'язку вищого рівня ієрархії характерні для країн з невеликою територією, а мережі з кількома об'єктами поштового зв'язку вищого рівня ієрархії – для країн з великою територією. Щодо країн з середньою територією, то в них можуть застосовуватися як мережі поштового зв'язку з одним, так і мережі поштового зв'язку з кількома об'єктами поштового зв'язку вищого рівня ієрархії.

На рис. 4.2 наведено приклади з'єднання 12 об'єктів поштового зв'язку в однорівневих і дворівневих мережах поштового зв'язку. В усіх прикладах об'єкти поштового зв'язку розташовані у вершинах правильних 12-кутників, вписаних у кола одиничного радіуса. Нумерація об'єктів поштового зв'язку збігається з нумерацією годин на циферблаті годинника і на рис. 4.2 не зазначена. Всі потоки між кожною парою об'єктів поштового зв'язку прийняті рівними одиниці. Для коректності порівняння показників мереж поштового зв'язку вважається, що центральні об'єкти поштового зв'язку в дворівневих мережах поштового зв'язку не мають власного навантаження. Числами між об'єктами поштового зв'язку зазначено кількість поштових потоків, що пере-

силаються між цими об'єктами поштового зв'язку. У мережі *A* зазначені з'єднання лише одного об'єкта поштового зв'язку з рештою об'єктів поштового зв'язку.

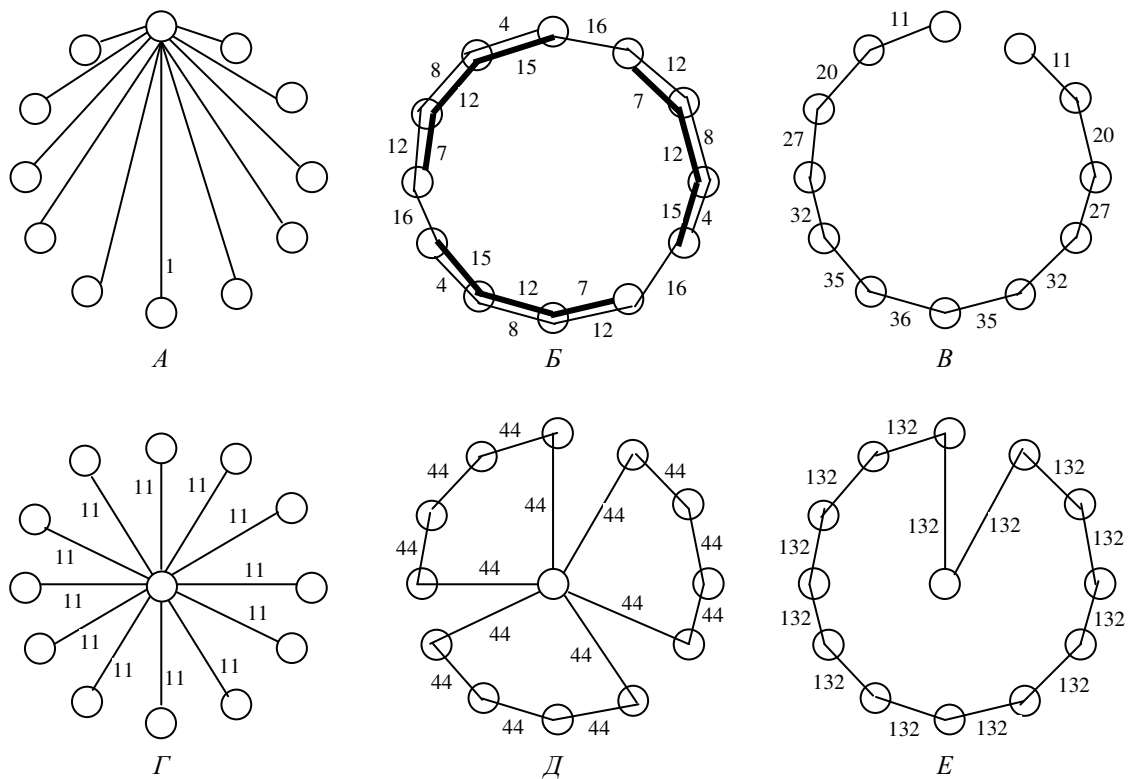


Рисунок 4.2 – Приклади з'єднання 12 об'єктів поштового зв'язку в однорівневих (*A, B, V*) і дворівневих (*Gamma, D, E*) мережах поштового зв'язку

У табл. 4.1 наведено основні показники поштових маршрутів мереж поштового зв'язку рис. 4.2. Сумарна протяжність односторонніх поштових маршрутів, сумарна кількість потоківідстаней та навантаження транспортних засобів зазначені у відносних одиницях.

Таблиця 4.1 – Основні показники поштових маршрутів мереж поштового зв'язку

Показники	Мережі поштового зв'язку					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>Gamma</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
Кількість рівнів ієрархії	1	1	1	2	2	2
Кількість односторонніх поштових маршрутів	132	6	2	24	3	1
Сумарна кількість поштових потоків, що перевозяться усіма маршрутами	132	444	572	264	132	132

Продовження таблиці 4.1

Сумарна протяжність односторонніх поштових маршрутів	181,92	21,84	11,44	24,00	10,68	7,72
Сумарна кількість потоковідстаней	181,92	230,88	297,44	264,00	469,92	1019,04
Навантаження транспортних засобів	1	16	36	11	44	132

Дані рис. 4.2 і табл. 4.1 потребують певних пояснень.

У мережі А об'єкти поштового зв'язку з'єднані за принципом «кожний об'єкт з кожним об'єктом», згідно з яким кожний з 12 об'єктів поштового зв'язку з'єднаний окремими поштовими маршрутами з рештою 11 об'єктами поштового зв'язку, отже, загальна кількість односторонніх поштових маршрутів складає $12 \cdot 11 = 132$.

Протяжність кожного з зазначених маршрутів визначається протяжністю відповідної хорди і дорівнює

$$L = 2 \sin \frac{\alpha}{2},$$

де α - центральний кут зазначеної хорди.

На рис. 4.2 значенням $\alpha = 30^\circ; 60^\circ; 90^\circ; 120^\circ; 150^\circ; 180^\circ$ відповідають значення $L = 0,52; 1,00; 1,41; 1,73; 1,92; 2,00$.

Загальна протяжність усіх хорд, що виходять з однієї вершини, складає 15,16, отже, сумарна протяжність усіх поштових маршрутів складає $12 \cdot 15,16 = 181,92$.

Оскільки кожним маршрутом перевозиться один потік, сумарна кількість потоковідстаней дорівнює сумарній протяжності поштових маршрутів і складає 181,92, а навантаження транспортних засобів на усіх маршрутах дорівнюють одиниці.

У мережі Б об'єкти поштового зв'язку (ОПЗ) поділені на 3 групи по 4 ОПЗ в кожній (група 1: ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4; група 2: ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8; група 3: ОПЗ-9, ОПЗ-10, ОПЗ-11, ОПЗ-12), з'єднані між собою за принципом «кожна група з кожною групою» за допомогою 6 односторонніх поштових маршрутів (маршрут 1: ОПЗ групи 1 – ОПЗ групи 2; маршрут 2: ОПЗ групи 2 – ОПЗ групи 1; маршрут 3: ОПЗ групи 2 – ОПЗ групи 3; маршрут 4: ОПЗ групи 3 – ОПЗ групи 2; маршрут 5: ОПЗ групи 3 – ОПЗ групи 1; маршрут 6: ОПЗ групи 1 – ОПЗ групи 3).

Протяжність кожного з зазначених маршрутів складає $7 \cdot 0,52 = 3,64$; загальна протяжність усіх маршрутів складає $6 \cdot 3,64 = 21,84$.

Кожним з 6 маршрутів здійснюються перевезення поштових потоків між 8 ОПЗ груп, які вони з'єднують, і між 4 ОПЗ однієї групи, закріпленої за даним маршрутом (на рис. 4.2, Б виділені жирними лініями).

Так, маршрутом 1, що з'єднує ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4 групи 1 з ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8 групи 2, перевозяться наступні потоки:

– між ОПЗ-1 і ОПЗ-2 – 7 потоків (4 міжгрупові потоки між ОПЗ-1 і ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8; 3 внутрішньогрупові потоки між ОПЗ-1 і ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4);

– між ОПЗ-2 і ОПЗ-3 – 12 потоків (8 міжгрупових потоків між ОПЗ-1, ОПЗ-2 і ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8; 4 внутрішньогрупові потоки між ОПЗ-1, ОПЗ-2 і ОПЗ-3, ОПЗ-4);

– між ОПЗ-3 і ОПЗ-4 – 15 потоків (12 міжгрупових потоків між ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3 і ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8; 3 внутрішньогрупові потоки між ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3 і ОПЗ-4);

– між ОПЗ-4 і ОПЗ-5 – 16 міжгрупових потоків між ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4 і ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8;

– між ОПЗ-5 і ОПЗ-6 – 12 міжгрупових потоків між ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4 і ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8;

– між ОПЗ-6 і ОПЗ-7 – 8 міжгрупових потоків між ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4 і ОПЗ-7, ОПЗ-8;

– між ОПЗ-7 і ОПЗ-8 – 4 міжгрупові потоки між ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4 і ОПЗ-8.

Загальна кількість потоків, що перевозиться транспортним засобом одного маршруту, складає 74.

Загальна кількість потоків, що перевозяться транспортними засобами всіх маршрутів, складає $6 \cdot 74 = 444$.

Протяжність кожного з зазначених маршрутів складає $7 \cdot 0,52 = 3,64$; загальна протяжність усіх маршрутів складає $6 \cdot 3,64 = 21,84$.

Сумарна кількість потоковідстаней складає $444 \cdot 0,52 = 230,88$.

Навантаження транспортних засобів визначається максимальним навантаженням між сусідніми ОПЗ на маршруті, яке дорівнює 16.

У мережі В усі об'єкти поштового зв'язку з'єднані двома односторонніми маршрутами.

Кількість потоків, що перевозяться між сусідніми ОПЗ- i й ОПЗ- $(i+1)$, дорівнює $i(12-i)$ ($i = 1, 2, \dots, 11$), наприклад, між ОПЗ-8 і ОПЗ-9 перевозиться $8(12-8) = 32$ потоки.

Загальна кількість потоків, що перевозиться транспортним засобом одного маршруту, складає 286.

Загальна кількість потоків, що перевозяться обома маршрутами, складає $2 \cdot 286 = 572$.

Протяжність кожного з зазначених маршрутів складає $11 \cdot 0,52 = 5,72$; загальна протяжність обох маршрутів складає $2 \cdot 5,72 = 11,44$.

Сумарна кількість потоковідстаней складає $572 \cdot 0,52 = 297,44$.

Навантаження транспортних засобів визначається максимальним навантаженням між ОПЗ-6 і ОПЗ-7, яке дорівнює 36.

У мережі Г усі об'єкти поштового зв'язку з'єднані через центральний ОПЗ-0 за допомогою 24 односторонніх маршрутів одиначної протяжності, кожним з яких перевозиться по 11 потоків між даним ОПЗ і рештою 11 ОПЗ.

Загальна кількість потоків, що перевозяться усіма 24 маршрутами, складає $24 \cdot 11 = 264$.

Протяжність кожного з зазначених маршрутів складає 1; загальна протяжність всіх маршрутів складає $24 \cdot 1 = 24$.

Сумарна кількість потоковідстаней складає $264 \cdot 1 = 264$.

Навантаження транспортних засобів визначається максимальним навантаженням, яке дорівнює 11.

У мережі Д усі об'єкти поштового зв'язку з'єднані через центральний ОПЗ-0 за допомогою трьох кільцевих маршрутів, кожний з яких з'єднує з центральним ОПЗ-0 чотири ОПЗ (ОПЗ-1, ОПЗ-2, ОПЗ-3, ОПЗ-4; ОПЗ-5, ОПЗ-6, ОПЗ-7, ОПЗ-8; ОПЗ-9, ОПЗ-10, ОПЗ-11, ОПЗ-12).

Кожний з ОПЗ приймає і відправляє з відповідним поштовим маршрутом по 11 потоків, внаслідок чого на всіх ділянках кожного з трьох кільцевих маршрутів перевозиться по 44 потоки, а усього трьома маршрутами $3 \cdot 44 = 132$ потоки.

Протяжність кожного з зазначених маршрутів складає $1 + 3 \cdot 0,52 + 1 = 3,56$; загальна протяжність усіх маршрутів складає $3 \cdot 3,56 = 10,68$.

Сумарна кількість потоковідстаней складає $44 \cdot 10,68 = 469,92$.

Навантаження транспортних засобів визначається максимальним навантаженням, яке дорівнює 44.

У мережі Е всі об'єкти поштового зв'язку з'єднані через центральний ОПЗ-0 за допомогою одного кільцевого маршруту.

Кожний з ОПЗ приймає і відправляє з поштовим маршрутом по 11 потоків, внаслідок чого на всіх ділянках маршруту перевозиться по 132 потоки.

Загальна протяжність маршруту складає $1 + 11 \cdot 0,52 + 1 = 7,72$.

Сумарна кількість потоковідстаней складає $132 \cdot 7,72 = 1019,04$.

Навантаження транспортних засобів визначається максимальним навантаженням, яке дорівнює 132.

З аналізу даних табл. 4.1 випливає, що скороченню загальної протяжності поштових маршрутів у мережах поштового зв'язку з однаковою кількістю рівнів ієрархії відповідає зростання сумарної кількості потоковідстаней, тобто, зростання об'ємів перевезення поштових вантажів за одночасного зростання навантаження транспортних засобів.

4.2. Визначення кількості транспортних засобів для перевезень поштових вантажів

Перевезення поштових вантажів здійснюються, як правило, власним автомобільним транспортом оператора поштового зв'язку за установленими поштовими маршрутами.

За умов малих поштових потоків перевезення поштових вантажів здійснюються однією відправкою за добу поштовими автомобілями великої вантажопідйомності на магістральних маршрутах, поштовими автомобілями се-

редньої вантажопідйомності на регіональних маршрутах, поштовими автомобілями малої вантажопідйомності на територіальних маршрутах.

Необхідна кількість транспортних засобів визначається тим, що при щоденному курсуванні через кожні 24 години за всіма магістральними, регіональними, територіальними, а в майбутньому і доставними маршрутами повинні відправлятися відповідні транспортні засоби.

Внаслідок цього, повний часовий цикл проходження будь-якого маршруту в обох напрямках, який включає час руху, час стоянок, час відстою у вузлах маршруту та час поточного технічного обслуговування поштових автомобілів, завжди кратний 24 годинам.

Звідси випливає, що кількість транспортних засобів, потрібних для перевезень поштових вантажів на будь-якому маршруті без урахування резерву, дорівнює кількості 24-годинних інтервалів у повному часовому циклі проходження цього маршруту.

Розглянемо, наприклад, визначення кількості транспортних засобів на магістральних поштових маршрутах, що з'єднують Київ з обласними центрами України та забезпечують нормативний строк пересилання письмової кореспонденції $D + 2$ між усіма обласними центрами України.

За відстанями від Києва обласні центри поділяються на три зони:

- ближню, до 300 км від Києва;
- середню, від 300 до 600 км від Києва;
- дальню, від 600 до 900 км від Києва.

У табл. 4.2 наведено розподіл обласних центрів України, включаючи м. Севастополь, яке має статус обласного центру, за зонами з зазначенням відстаней від Києва по магістральних автошляхах України (км).

Таблиця 4.2 – Розподіл обласних центрів України за зонами

Ближня зона		Середня зона		Дальня зона	
Обласний центр	Відстань	Обласний центр	Відстань	Обласний центр	Відстань
Київ	-	Кіровоград	317	Донецьк	710
Житомир	131	Хмельницький	317	Ужгород	764
Чернігів	140	Рівне	318	Луганськ	784
Черкаси	185	Суми	332	Сімферополь	822
Вінниця	211	Полтава	337	Севастополь	897
		Луцьк	388		
		Тернопіль	420		
		Дніпропетровськ	457		
		Миколаїв	464		
		Чернівці	465		
		Харків	478		
		Одеса	487		
		Херсон	526		
		Івано-Франківськ	528		
		Львів	537		
		Запоріжжя	554		

На рис. 4.3 наведено дещо спрощену схему магістральних перевезень поштових вантажів в Україні, розроблену в ОНАЗ ім. О.С. Попова і впроваджену в УДППЗ «Укрпошта» з 2000 р.

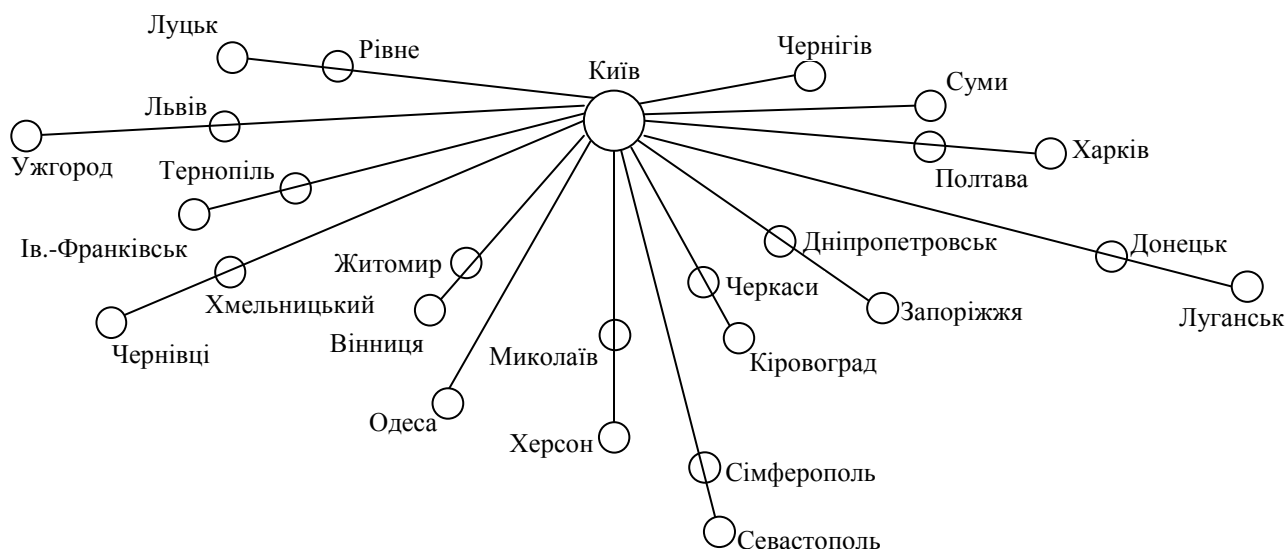


Рисунок 4.3 – Схема магістральних перевезень поштових вантажів в Україні

У табл. 4.3 наведено перелік магістральних поштових маршрутів з зазначенням їхньої протяжності в обох напрямках.

Таблиця 4.3 – Перелік магістральних поштових маршрутів

№ маршруту	Маршрут	Загальна протяжність, км
1/2	Київ – Рівне – Луцьк – Рівне – Київ	776
3/4	Київ – Львів – Ужгород – Львів – Київ	1560
5/6	Київ – Тернопіль – Ів.-Франківськ – Тернопіль – Київ	1108
7/8	Київ – Хмельницький – Чернівці – Хмельницький – Київ	986
9/10	Київ – Житомир – Вінниця – Житомир – Київ	512
11/12	Київ – Одеса – Київ	974
13/14	Київ – Миколаїв – Херсон – Миколаїв – Київ	1060
15/16	Київ – Сімферополь – Севастополь – Сімферополь – Київ	1794
17/18	Київ – Черкаси – Кіровоград – Черкаси – Київ	660
19/20	Київ – Дніпропетровськ – Запоріжжя – Дніпропетровськ – Київ	1108
21/22	Київ – Донецьк – Луганськ – Донецьк – Київ	1716
23/24	Київ – Полтава – Харків – Полтава – Київ	974
25/26	Київ – Суми – Київ	664
27/28	Київ – Чернігів – Київ	280
Усього		14172

Як впливає з рис. 4.3 і табл. 4.3, схема магістральних перевезень поштових вантажів складається з 14 двосторонніх (28 односторонніх) поштових маршрутів, кожний з яких з'єднує з Києвом один або два обласні центри.

Загальна протяжність магістральних поштових маршрутів складає 14172 км. Середня протяжність одного маршруту складає $14172 : 14 = 1012,3$ км.

Слід зауважити, що з урахуванням проїзду в Києві та обласних центрах фактичні протяжності поштових маршрутів на 1-2 % перевищують зазначені у табл. 4.3.

При середній швидкості автомобільного транспорту на магістральних маршрутах 60 км/год. час проходження маршрутів ближньої, середньої, дальньої зон в одному напрямку складає відповідно 5, 10, 15 год.

На рис. 4.4 наведено часові графіки проходження маршрутів ближньої, середньої, дальньої зон.

Цифрами позначені:

1 – прямий маршрут;

2 – зворотний маршрут;

3 – поточне технічне обслуговування в Києві;

4 – поточне технічне обслуговування в обласних центрах середньої та дальньої зон.

Поточне технічне обслуговування включає миття автомобіля, підкачку шин, ремонт або заміну шин, перевірку і регулювання світлових пристроїв, перевірку рівня і, за необхідності, доливання рідини в системи гальмування й зчеплення та в акумуляторну батарею, заливання рідини в систему склоочищення та деякі інші перевірки перед виходом автомобілів на маршрут. Як свідчить практика, для здійснення зазначеного технічного обслуговування достатньо 4 год.

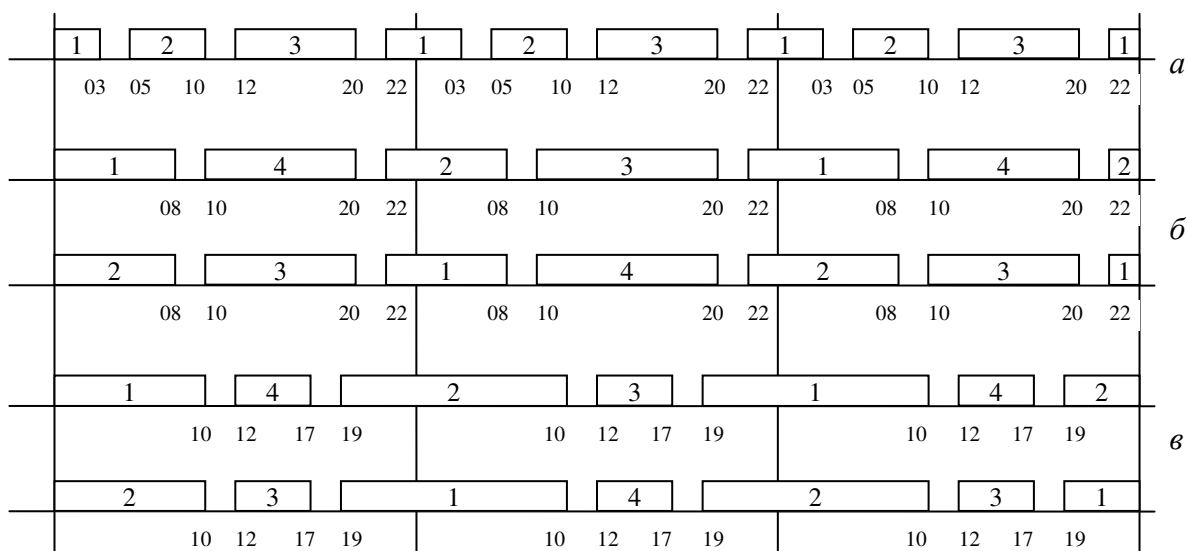


Рисунок 4.4 – Часові графіки проходження маршрутів ближньої (а), середньої (б), дальньої (в) зон

Як впливає з рис. 4.4, середньодобовий пробіг одного автомобіля складає:

– до 600 км на маршрутах ближньої зони;

- до 600 км на маршрутах середньої зони;
- до 900 км на маршрутах дальньої зони.

Для здійснення перевезень пошти на маршрутах ближньої зони використовується по одному автомобілю, а на маршрутах середньої та дальньої зон – по два автомобілі.

Час, що виділяється щоденно на поточне технічне обслуговування автомобілів на маршрутах ближньої, середньої, дальньої зон, складає відповідно 8, 10, 5 год., що достатньо для проведення технічного обслуговування. Втім, для вирівнювання пробігу автомобілів і часу поточного технічного обслуговування, доцільно чередувати використання автомобілів на маршрутах ближньої або середньої та дальньої зон.

Час готовності письмової кореспонденції до відправлення на маршрутах ближньої, середньої, дальньої зон складає відповідно 22, 22, 19 год. Зниження часу готовності письмової кореспонденції до відправлення з Києва й з обласних центрів України на маршрутах дальньої зони обумовлює можливість зменшення частки письмової кореспонденції, що пересилається між обласними центрами України з нормативним строком Д + 2.

Проте слід враховувати, що Міністерством інфраструктури України установлені уповільнені нормативні строки пересилання письмової кореспонденції між обласними центрами України Д + 3, що дає змогу виконувати прямі й зворотні магістральні маршрути всіх зон у єдиному розширеному інтервалі часу, скажімо з 00 до 16 год., завдяки чому забезпечується можливість здійснення сортування письмової кореспонденції як у Києві, так і в обласних центрах, та створюється значний резерв часу проходження магістральних поштових маршрутів.

Для визначення резерву автомобільного транспорту необхідно виходити з періодичності ремонтів автомобіля. Зазначена періодичність суттєво залежить від строку експлуатації автомобіля.

Якщо в середньому малий ремонт (2 дні) виконується після 20 тис. км пробігу, середній (6 днів) – після 100 тис., капітальний (30 днів) – після 500 тис., що при середньому пробігу 750 км за добу відповідає 26,7; 133,3; 666,7 днів, то виведення автомобіля в ремонт становитиме 2 дні після 26,7 днів експлуатації; 6 днів після 133,3 днів експлуатації; 30 днів після 666,7 днів експлуатації, усього

$$\frac{666,7}{26,7} 2 + \frac{666,7}{133,3} 6 + \frac{666,7}{666,7} 30 = 25 + 30 + 30 = 85 \text{ днів протягом } 666,7 \text{ днів, тобто } 0,127$$

усього часу. Отже, середній резерв автомобілів повинен складати 12,7 % автомобільного парку. Реально цей резерв складає близько 15 %, що обумовлено несподіваними поломками автомобілів, значними затримками повернення автомобілів у Київ, дорожньо-транспортними пригодами, неправильною експлуатацією автомобілів тощо.

4.3. Визначення об'ємів перевезення поштових вантажів у 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 транспортних засобів для перевезення поштових вантажів поштовими маршрутами, а, отже, і загальні витрати на перевезення поштових вантажів, обґрунтування значень об'ємів міжвузлових поштових потоків, які слід враховувати при визначенні навантаження транспортних засобів, набуває суттєвого значення.

Визначення навантаження транспортних засобів виходячи з максимальних об'ємів міжвузлових поштових потоків призведе до вкрай низької ефективності використання транспортних засобів, а їх визначення виходячи з середніх об'ємів міжвузлових поштових потоків – до значних затримок пересилання поштових вантажів або до повного порушення поштового зв'язку.

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

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

На практиці для визначення навантаження транспортних засобів 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 вантажів між вузлами мережі поштового зв'язку.

За наявності зазначених затримок поштові маршрути, відправлені з вузлів відправлення в день D , прибувають 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 вантажів значення навантаження транспортних засобів 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.

Аналогічно, навантаження поштових маршрутів також буде вирівнюватися за рахунок того, що воно буде визначатися вихідними потоками не лише дня D відправлення цих маршрутів з вузлів відправлення, а й вихідними потоками наступних днів $D + k$ ($k = 0, 1, \dots$) проходження зазначеними маршрутами проміжних вузлів.

Підкреслимо, що навантаження транспортних засобів для перевезення поштових вантажів за такого вирівнювання об'ємів міжвузлових поштових потоків будуть зменшуватися, що, безумовно, сприятиме зниженню витрат на перевезення поштових вантажів.

Розглянемо в узагальненому виді пересилання поштових вантажів між вузлами мережі поштового зв'язку.

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 цілими числами $0, 1, \dots, C - 1$, а, отже, операції додавання $D + k$ або операції 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:

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

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

Так, за наявності тижневих змін об'ємів міжвузлових поштових потоків, дням тижня надаються числові значення, наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – 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 перевезення поштових вантажів за наявності циклічних змін міжвузлових потоків розглянемо умовний приклад.

Граф мережі поштового зв'язку наведено на рис. 4.5.

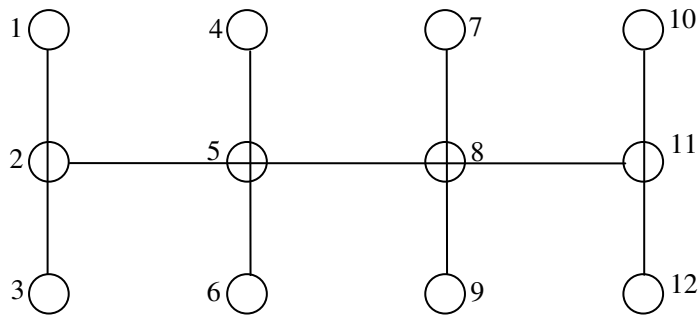


Рисунок 4.5 – Граф мережі поштового зв'язку

Граф містить 12 вузлів (1, 2, ..., 12), з'єднаних між собою за допомогою 5 поштових маршрутів:

$$M1/2: 2 - 5 - 8 - 11 - 8 - 5 - 2;$$

$$M3/4: 1 - 2 - 3 - 2 - 1;$$

$$M5/6: 4 - 5 - 6 - 5 - 4;$$

$$M7/8: 7 - 8 - 9 - 8 - 7;$$

$$M9/10: 10 - 11 - 12 - 11 - 10.$$

Для спрощення розрахунків будемо вважати, що час проходження будь-яким поштовим маршрутом будь-якої ділянки між двома сусідніми вузлами схеми рис. 4.5 з урахуванням часу, що витрачається на оброблення поштових вантажів у цих вузлах, складає 24 години, тобто, що при проходженні кожної такої ділянки поштові вантажі 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. 4.6, який більш адекватно відбиває реальні зміни об'ємів міжвузлових поштових потоків за днями тижня.

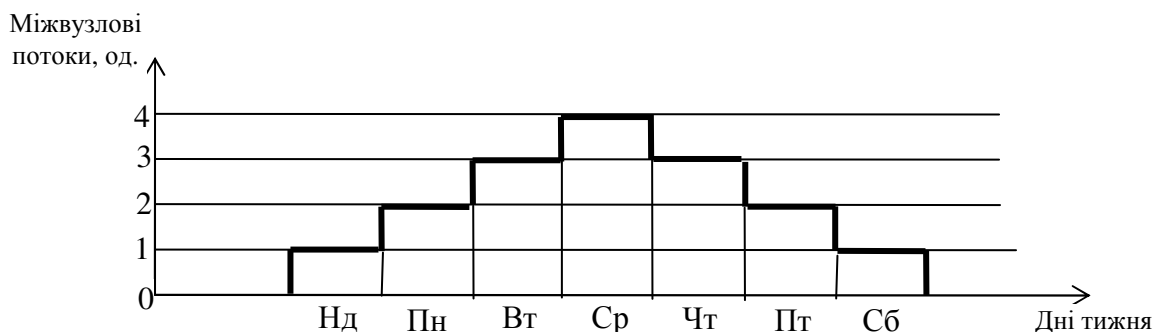


Рисунок 4.6 – Графік змін об'ємів міжвузлових поштових потоків за днями тижня

У табл. 4.5 наведено значення днів відправлення поштових вантажів з вузлів відправлення, за яких забезпечується їхнє надходження в день D у вузли призначення.

Таблиця 4.5 – Значення днів відправлення поштових вантажів з вузлів відправлення, за яких забезпечується їхнє надходження в день D у вузли призначення

Вузли відправлення	Вузли 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. 4.5 випливає, що для забезпечення надходження поштових вантажів у 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. 4.6 наведено значення об'ємів поштових потоків у вузлах мережі (відправлення/надходження) за днями тижня.

Таблиця 4.6 – Об'єми поштових потоків у вузлах мережі за днями тижня

Вузли	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. 4.6 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 неділі ($5 \cdot 1 = 5$) та вихідних потоків 1 – 8, 3 – 8 суботи ($2 \cdot 1 = 2$).

У табл. 4.7 наведено значення об'ємів поштових потоків, що перевозяться по ділянках мережі (прямий напрямок/зворотний напрямок).

Таблиця 4.7 – Значення об'ємів поштових потоків на ділянках маршрутів

Ділянки маршрутів	Дні тижня							
	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Усього
1 – 2/2 – 1	11/26	22/19	33/17	44/21	33/28	22/33	11/32	176/176
2 – 3/3 – 2	26/11	19/22	17/33	21/44	28/33	33/22	32/11	176/176
2 – 5/5 – 2	27/48	36/36	63/42	90/63	99/84	72/87	45/72	432/432
4 – 5/5 – 4	11/20	22/14	33/16	44/25	33/34	22/37	11/30	176/176
5 – 6/6 – 5	20/11	14/22	16/33	25/44	34/33	37/22	30/11	176/176
5 – 8/8 – 5	48/48	42/42	66/66	102/102	126/126	114/114	78/78	576/576
7 – 8/8 – 7	11/20	22/14	33/16	44/25	33/34	22/37	11/30	176/176
8 – 9/9 – 8	20/11	14/22	16/33	25/44	34/33	37/22	30/11	176/176
8 – 11/11 – 8	48/27	36/36	42/63	63/90	84/99	87/72	72/45	432/432
10 – 11/11 – 10	11/26	22/19	33/17	44/21	33/28	22/33	11/32	176/176
11 – 12/12 – 11	26/11	19/22	17/33	21/44	28/33	33/22	32/11	176/176
Усього	259/259	268/268	369/369	523/523	565/565	501/501	363/363	2848/2848
Разом	518	536	738	1046	1130	1002	726	5696

З табл. 4.7 випливає, що об'єми потоків, що перевозяться по ділянках мережі, за окремими днями тижня не збігаються, а за тиждень – збігаються.

Потік, що перевозиться по певній ділянці, визначається сумами відповідних міжвузлових потоків. Наприклад, потік 11 – 8 середи (90) визначається сумами потоків від вузла 11 до вузлів 1, 2, ..., 9 середи ($9 \cdot 4 = 36$) і потоків від вузлів 10, 12 до вузлів 1, 2, ..., 9 вівторка ($18 \cdot 3 = 54$).

Вантажопідйомності транспортних засобів поштових маршрутів визначаються максимальними навантаженнями на ділянках цих маршрутів.

Значення навантажень на ділянках поштових маршрутів визначаються з табл. 4.7.

У табл. 4.8 наведено значення навантажень на ділянках маршруту М1/2 з зазначенням відповідних днів тижня.

Таблиця 4.8 – Навантаження на ділянках маршруту М1/2

Ділянки маршруту	Дні тижня/навантаження на ділянках маршруту						
2 – 5	0/27	1/36	2/63	3/90	4/99	5/72	6/45
5 – 8	1/42	2/66	3/102	4/126	5/114	6/78	0/48
8 – 11	2/42	3/63	4/84	5/87	6/72	0/48	1/36
11 – 8	3/90	4/99	5/72	6/45	0/27	1/36	2/63
8 – 5	4/126	5/114	6/78	0/48	1/42	2/66	3/102
5 – 2	5/87	6/72	0/48	1/36	2/42	3/63	4/84
Максимальне навантаження	4/126	5/114	3/102	4/126	5/114	6/78	3/102

З табл. 4.8 випливає, що максимальне навантаження (126) мають маршрути, що відправляються в неділю (день мінімального загального навантаження) та в середу (день максимального загального навантаження), причому максимальне навантаження маршруту, що відправляється в неділю, створюється на ділянці 8 – 5 у четвер, а максимальне навантаження маршруту, що відправляється в середу, – на ділянці 5 – 8 у четвер.

Підкреслимо, що при визначенні максимального навантаження зазначеного поштового маршруту тільки для дня максимального загального навантаження вона складала б $36 \cdot 4 = 144$.

4.4. Визначення вантажопідйомності транспортних засобів

Визначення вантажопідйомності транспортних засобів полягає у знаходженні мінімальної вантажопідйомності, достатньої для перевезень поштових вантажів в установлені Міністерством інфраструктури України нормативні строки їхнього пересилання між об'єктами поштового зв'язку.

Мінімальна вантажопідйомність транспортних засобів для перевезень поштових вантажів в мережі поштового зв'язку довільної структури, що містить n вузлів, визначається наступними даними:

- матрицею міжвузлових потоків $L(P, S)$, елемент (P, S) якої ($P = 1, 2, \dots, n; S = 1, 2, \dots, n; P \neq S$) дорівнює значенню потоку, що прямує від вузла P до вузла S ;

- таблицею маршрутів M_k ($k = 1, 2, \dots, m$), в якій зазначені всі маршрути, що використовуються для перевезень поштових вантажів з переліком усіх вузлів, через які кожний з цих маршрутів проходить;

- матрицею планів прямування поштових вантажів $N(P, S)$, елемент (P, S) якої ($P = 1, 2, \dots, n; S = 1, 2, \dots, n; P \neq S$) зазначає поштовий маршрут M_k , яким відправляються поштові вантажі з вузла P до вузла S , та вузол R , в якому ці поштові вантажі здаються.

У загальному випадку пересилання поштових вантажів між вузлами P і S здійснюється l маршрутами через $l - 1$ транзитних вузлів, тому потік (P, S) завантажує всі ділянки всіх маршрутів, через які він прямує.

Оскільки навантаження транспортних засобів на різних ділянках поштових маршрутів є різним, необхідна вантажопідйомність цих засобів визначається максимальним навантаженням, яке існує на одній із ділянок кожного з зазначених маршрутів.

Виходячи з цього, необхідно знайти всі потоки, що прямують по кожній ділянці кожного маршруту, підсумувати ці потоки та обрати максимальні значення зазначених сум за кожним з цих маршрутів. При цьому максимальні навантаження на прямому (непарному) і зворотному (парному) маршрутах визначають один транспортний засіб.

Алгоритм визначення вантажопідйомності транспортних засобів наведено на рис. 4.7.

Алгоритм містить 22 блоки.

У блоках 1 – 4 здійснюється уведення вихідних даних:

- числа вузлів мережі n ;
- матриці міжвузлових потоків $M(P, S)$;
- таблиці маршрутів M_k ;
- матриці планів прямування поштових вантажів $N(P, S)$.

У блоках 5 – 10 здійснюється формування чергових значень номерів вузлів P, S , за якого зазначені змінні набувають значення $P = 1, 2, \dots, n$; $S = 1, 2, \dots, n$; $P \neq S$, тобто від 1, 2 до $n, n - 1$. При формуванні наступного (неіснуючого) значення $P = n + 1$ здійснюється перехід від блока 7 до блока 19.

У блоці 11 змінній V надається значення P .

У блоках 12, 13 з матриці $N (P, S)$ визначається маршрут M_k , яким прямують поштові вантажі з V в S і номер транзитного вузла R , в якому ці поштові вантажі здаються.

У блоці 14 з переліку вузлів маршруту M_k визначається номер вузла W , наступного після вузла V .

У блоці 15 номери вузлів P, S і значення потоку (P, S) заносяться в масив ділянки V, W маршруту M_k .

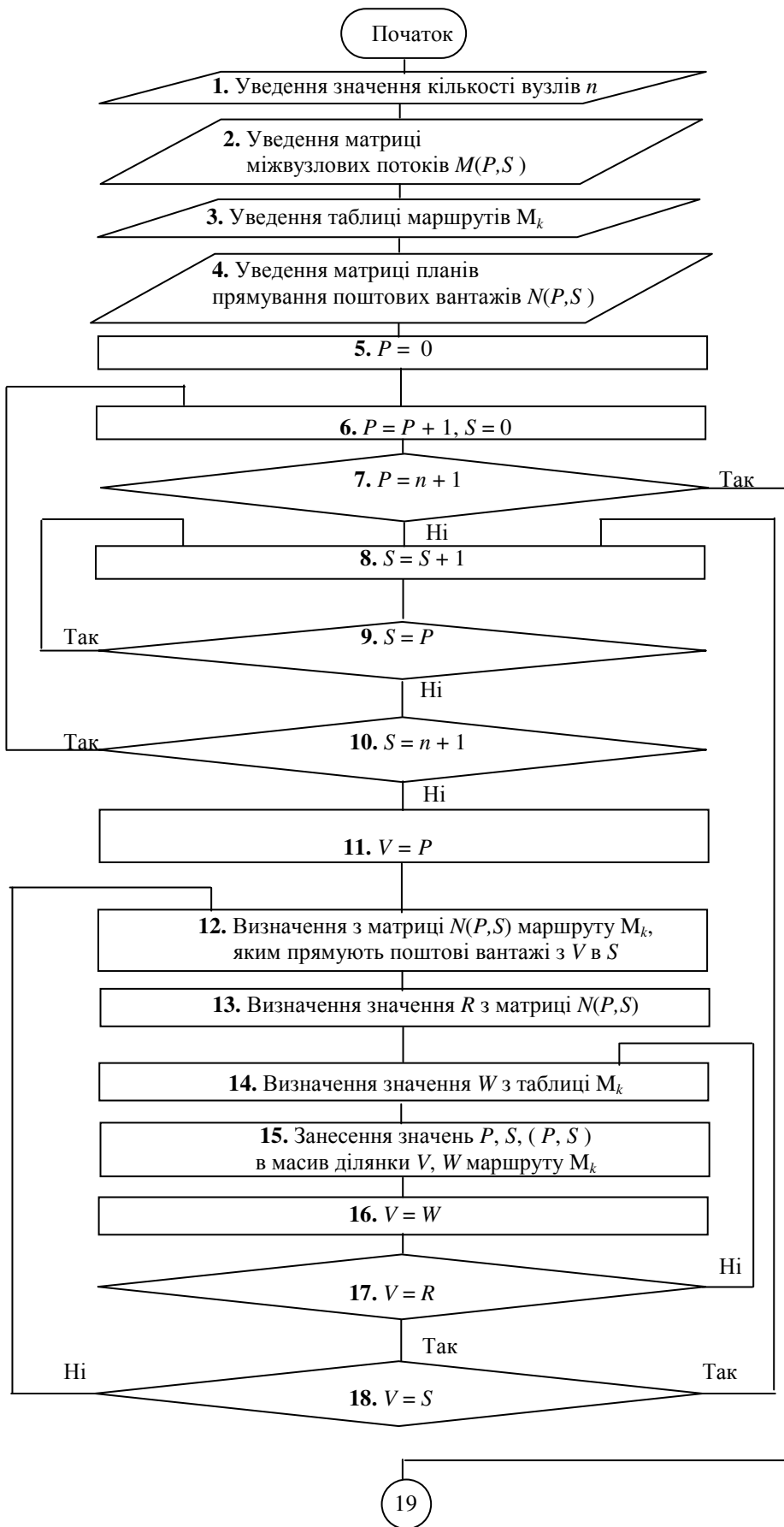
У блоці 16 змінній V надається значення W .

У блоці 17 перевіряється виконання умови $V = R$, тобто перевіряється, чи пройдений маршрут M_k до вузла здавання поштових вантажів R . Якщо “Ні” – повторне виконання блоків 14, 15, 16 з черговими значеннями змінних V і W , якщо “Так” – перехід до блока 18.

У блоці 18 перевіряється виконання умови $V = S$, тобто перевіряється, чи пройдені всі маршрути M_k , що з’єднують вузли P і S . Якщо “Ні” – повторне виконання блоків 12, 13, 14, 15, 16 з черговим маршрутом M_k , черговим вузлом здавання поштових вантажів R і черговими значеннями змінних V і W , якщо “Так” – повернення до блока 8 і формування нових значень P і S .

У блоках 19, 20 здійснюється підсумовування значень потоків (P, S) , що прямують через всі ділянки V, W усіх маршрутів M_k , і визначення максимальних значень цих сум.

У блоках 21, 22 здійснюється виведення значень $P, S, (P, S)$, що прямують через всі ділянки V, W усіх маршрутів M_k , й усіх максимальних сум потоків (P, S) , що прямують цими маршрутами.



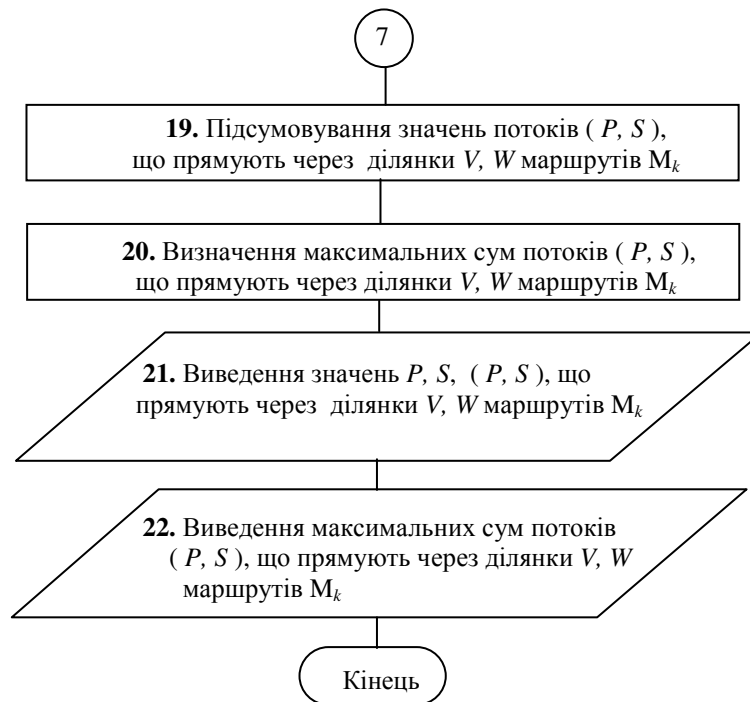


Рисунок 4.7 – Алгоритм визначення вантажопідйомності транспортних засобів

Значення міжвузлових потоків визначаються в періоди їхнього обстеження (як правило, окремо по кожному з видів поштових вантажів по кожному з днів обстеження).

Аналіз проведених обстежень свідчить про багаторазові зміни величин поштових потоків за днями тижня, місяцями, періодами.

При цьому спостерігається зростання поштових потоків від початку тижня до його середини і падіння поштових потоків від середини тижня до його закінчення.

Суттєві зміни величин поштових потоків за днями тижня потребують відповідних змін вантажопідйомності транспортних засобів для перевезень поштових вантажів.

Значні перспективи багаторазових змін вантажопідйомності транспортних засобів відкриває використання для перевезень поштових вантажів автомобілів з причепами.

Розглянемо зазначені зміни на прикладі регіонального маршруту, що з'єднує регіональний вузол РВ з двома територіальними вузлами ТВ-1 і ТВ-2, для орієнтовного графіка змін об'ємів поштових потоків протягом тижня, наведеного на рис. 4.6.

У табл. 4.9 наведено значення вантажопідйомності транспортних засобів на маршруті РВ – ТВ-1 – ТВ-2 за днями тижня, які відповідають графіку змін об'ємів поштових потоків за цими днями.

Таблиця 4.9 – Значення вантажопідйомності транспортних засобів за днями тижня

Дні тижня	Транспортні засоби	Кількість контейнерів		
		Загальна	РВ – ТВ-1	РВ – ТВ-2
Неділя	1 автомобіль без причепа	18	9	9
Понеділок	1 автомобіль з причепом	36	18	18
Вівторок	1 автомобіль з причепом, 1 автомобіль без причепа	54	36	18
Середа	2 автомобілі з причепами	72	36	36
Четвер	1 автомобіль без причепа, 1 автомобіль з причепом	54	18	36
П'ятниця	1 автомобіль з причепом	36	18	18
Субота	1 автомобіль без причепа	18	9	9
У середньому за день	1,57 автомобіля з 1,14 причепа	41, 14	20, 57	20,57
Усього за тиждень	10 автомобілів з 6 причепами	288	144	144

Як впливає з табл. 4.9, за рахунок варіації вантажопідйомностей автомобілів з причепами досягається певна економія транспортних засобів (10 автомобілів з 6 причепами за тиждень замість 14 автомобілів з 14 причепами при визначенні вантажопідйомностей транспортних засобів за їхніми максимальними значеннями).

4.5. Визначення допустимої затримки відправлень поштових вантажів з вузлів мережі поштового зв'язку

На практиці зміни вантажопідйомностей транспортних засобів не завжди повною мірою відповідають змінам величин поштових потоків, внаслідок чого можливі випадки затримок відправлень поштових вантажів з вузлів мережі поштового зв'язку, обумовлених відсутністю в поштових автомобілях вільних місць для їх перевезень.

З економічної точки зору відсутність затримок відправлень поштових вантажів з вузла поштового зв'язку за умов нерівномірності поштових потоків свідчить про те, що вантажопідйомність поштового транспорту перевищує максимальне добове вихідне поштове навантаження вузла, тобто про низьку середню ефективність використання поштового транспорту. Саме така картина мала місце при використанні для перевезень поштових вантажів поштових вагонів, вантажопідйомність яких багаторазово перевищувала маси цих поштових вантажів.

І навпаки, наявність затримки відправлень поштових вантажів за умов, що вона не призводить до порушення нормативних строків їх пересилання, свідчить про високу ефективність використання поштового транспорту, оскільки для перевезень поштових вантажів використовуються транспортні засоби меншої вантажопідйомності.

Враховуючи, що оптимізація вантажопідйомності транспортних засобів передбачає знаходження мінімальної вантажопідйомності, яка забезпечує пе-

ревеження усіх видів поштових вантажів в установлені нормативні строки їх пересилання, важливо виключити не будь-які затримки відправлень поштових вантажів, а лише ті з них, які призводять до порушення нормативних строків їх пересилання.

Для визначення затримок відправлень поштових вантажів можна застосувати простий графічний метод. Розглянемо конкретний приклад.

Нехай вихідне поштове навантаження вузла протягом тижня змінюється в широких межах і складає 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 відносних одиниць (в.о.) за добу. Загальне вихідне навантаження вузла за тиждень складе $1 + 2 + \dots + 7 = 28$ в.о., а середньодобове – $28 : 7 = 4$ в.о.

Отже, для перевезень поштових вантажів без затримки потрібні транспортні засоби вантажопідйомністю 7 в.о., а з затримкою – лише 4 в.о.

Визначимо величину затримки відправлень поштових вантажів у вузлі. Для цього пронумеруємо всі відносні одиниці в порядку їх надходження і в порядку їх відправлення та зіставимо дні надходження з днями відправлення.

На рис. 4.8 наведено визначення затримок відправлення поштових вантажів у найбільш несприятливому (7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 в.о.), найбільш типовому (1, 3, 5, 7, 6, 4, 2 в.о.) і найбільш сприятливому (7, 1, 6, 2, 5, 3, 4 в.о.) варіантах розподілу вихідного навантаження за днями тижня.

Добове навантаження (варіант 1)

7						
6	13					
5	12	18				
4	11	17	22			
3	10	16	21	25		
2	9	15	20	24	27	
1	8	14	19	23	26	28
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове відправлення (варіант 1)

4	8	12	16	20	24	28
3	7	11	15	19	23	27
2	6	10	14	18	22	26
1	5	9	13	17	21	25
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове навантаження (варіант 2)

			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 відправлення (варіант 2)

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 навантаження (варіант 3)

7						
6			14			
5			13	21		
4			12	20		28
3			11	19	24	27
2			10	18	23	26
1	8	9	15	17	22	25
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Добове відправлення (варіант 3)

4	8	12	16	20	24	28
3	7	11	15	19	23	27
2	6	10	14	18	22	26
1	5	9	13	17	21	25
Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб

Рисунок 4.8 – Визначення затримок відправлення поштових вантажів

Зауважимо, що внаслідок циклічності за варіантом 2 у неділю відправляються поштові вантажі 25, 26 минулої п'ятниці і поштові вантажі 27, 28

минулої суботи. Зауважимо також, що відправлення поштових вантажів за варіантами 1 і 3 збігаються.

У табл. 4.10 наведені значення затримок відправлення кожної з відносних одиниць поштових вантажів в усіх варіантах розподілу вихідного навантаження за днями тижня.

Таблиця 4.10 – Значення затримок відправлення поштових вантажів

Відносні одиниці		Усього	Затримка відправлення, діб
Номери			
Варіант 1			
1, 2, 3, 4, 8, 28		6	0
5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 20, 23, 24, 26, 27		16	1
13, 17, 18, 21, 22, 25		6	2
Варіант 2			
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12		10	0
1, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 28		14	1
21, 22, 25, 26		4	2
Варіант 3			
1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28		22	0
5, 6, 7, 13, 14, 21		6	1

Як впливає з табл. 4.10, у варіанті 1 без затримки відправляються 6 з 28 в.о., з затримкою на одну добу – 16 з 28 в.о., з затримкою на дві доби – 6 з 28 в.о.; середня затримка складає $(6 \cdot 0 + 16 \cdot 1 + 6 \cdot 2) / 28 = 1$ добу; у варіанті 2 без затримки відправляються 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 $(10 \cdot 0 + 14 \cdot 1 + 4 \cdot 2) / 28 = 0,786$ доби; у варіанті 3 без затримки відправляються 22 з 28 в.о., з затримкою на одну добу – 6 з 28 в.о.; середня затримка складає $(22 \cdot 0 + 6 \cdot 1) / 28 = 0,214$ доби.

Таким чином, затримка відправлень поштових вантажів з вузла суттєво залежить як від нерівномірності значень вихідних добових навантажень, так і від розподілу цих значень за днями тижня.

Виходячи з призначення різних видів поштових вантажів визначені допустимі строки затримки їх відправлення, значення яких наведені у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Допустимі строки затримки відправлення поштових вантажів

Види поштових вантажів	Допустимі строки затримки відправлення, діб
Письмова кореспонденція	0
Посилочна пошта	0
Щоденні періодичні видання	0
Щотижневі періодичні видання	1
Щомісячні періодичні видання	2
Продукція технологічного забезпечення	2
Товари для продажу	2
Інші вантажі	2

Нині сумарна маса письмової кореспонденції, посилочної пошти та щоденних періодичних видань не перевищує 50 % маси всіх поштових вантажів, отже може бути гарантована відсутність затримки відправлень цих видів поштових вантажів, а затримка відправлень інших видів поштових вантажів не перевищує однієї доби, що менше відповідних значень табл. 4.11.

Таким чином, схема магістральних перевезень поштових вантажів не тільки забезпечує перевезення всіх видів поштових вантажів за умов діючих поштових потоків, але й має достатні резерви для забезпечення пересилання всіх видів поштових вантажів за умов зростання цих потоків.

Зі зростанням міжвузлових поштових потоків виникає питання про доцільність або недоцільність уведення прямих поштових маршрутів між відповідними вузлами.

Сьогодні розрахунок вартості магістральних перевезень поштових вантажів в мережі поштового зв'язку УДППЗ „Укрпошта” провадиться виходячи з інтегральних показників вартості перевезень поштових вантажів на один км пробігу поштових автомобілів різних марок незалежно від ступеня їх фактичного завантаження.

Такий спрощений розрахунок, будучи зручним для практичного використання, не відбиває фактичних витрат на перевезення поштових вантажів, оскільки робота, яку виконує двигун поштового автомобіля, а, отже, і витрати пального, пропорційні сумарній масі власне автомобіля і поштових вантажів, що ним перевозяться.

Наслідком такого становища є те, що впровадження прямого поштового маршруту M_{AB} між вузлами A і B , з'єднаними через транзитний вузол C поштовими маршрутами M_{AC} і M_{CB} , вважається економічно недоцільним, якщо вантажопідйомності P_{AC} і P_{CB} поштових автомобілів, що здійснюють перевезення по маршрутах M_{AC} і M_{CB} , достатні для перевезення міжвузлового потоку P_{AB} , хоча насправді впровадження прямого поштового маршруту M_{AB} може виявитися економічно доцільним.

Зазначене твердження ілюструється на рис. 4.9.

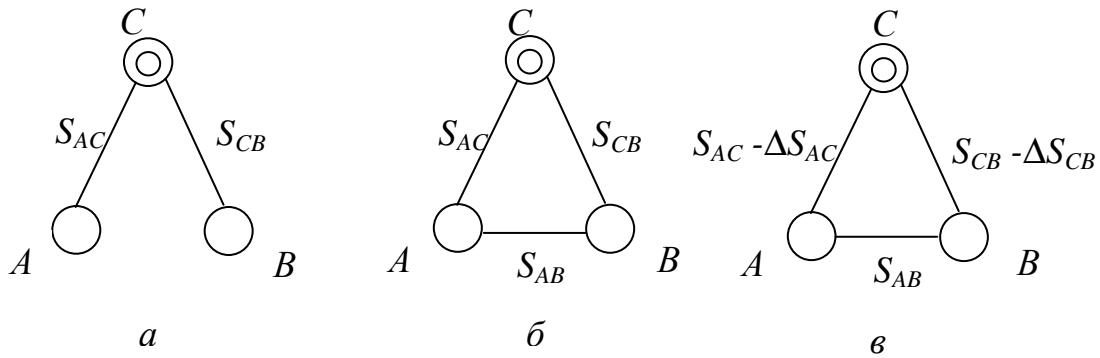


Рисунок 4.9 – Визначення вартості перевезення потоку P_{AB}

На рис. 4.9, *а* наведено існуючу схему перевезення потоків P_{AC} і P_{CB} , до складу яких входить потік P_{AB} . Вартість перевезення зазначених потоків складається з вартості S_{AC} перевезення потоку P_{AC} і вартості S_{CB} перевезення потоку P_{CB} . Вартість перевезення потоку P_{AB} окремо не враховується.

Сумарна вартість перевезень за рис. 4.9, *а* складає $S_1 = S_{AC} + S_{CB}$.

На рис. 4.9, *б* наведено схему перевезення потоків P_{AC} , P_{CB} і P_{AB} при упровадженні прямого маршруту M_{AB} для перевезення міжвузлового потоку P_{AB} з визначенням сумарної вартості перевезень за існуючою методикою, яка не враховує зменшення потоків P_{AC} і P_{CB} .

Сумарна вартість перевезень за рис. 4.9, *б* складає $S_2 = S_{AC} + S_{CB} + S_{AB}$.

Оскільки $S_2 > S_1$, впровадження маршруту M_{AB} завжди вважається недоцільним.

На рис. 4.9, *в* наведено схему перевезення потоків P_{AC} , P_{CB} і P_{AB} при упровадженні прямого маршруту M_{AB} для перевезення міжвузлового потоку P_{AB} з визначенням сумарної вартості перевезень за методикою, яка враховує зменшення потоків P_{AC} і P_{CB} .

Сумарна вартість перевезень за рис. 4.9, *в* складає

$$S_3 = (S_{AC} - \Delta S_{AC}) + (S_{CB} - \Delta S_{CB}) + S_{AB} = S_1 + S_{AB} - (\Delta S_{AC} + \Delta S_{CB}).$$

У залежності від співвідношення витрат S_{AB} і $(\Delta S_{AC} + \Delta S_{CB})$ упровадження прямого маршруту M_{AB} доцільне, якщо $S_{AB} \leq (\Delta S_{AC} + \Delta S_{CB})$, і недоцільне, якщо $S_{AB} > (\Delta S_{AC} + \Delta S_{CB})$.

При цьому ще не враховане додаткове зниження сумарної вартості перевезень потоків за рис. 4.9, *в*, обумовлене зниженням вартості транзитного оброблення потоків P_{AC} і P_{CB} у транзитному вузлі C внаслідок вилучення зі складу цих потоків потоку P_{AB} .

Як свідчать попередні розрахунки, доцільність упровадження прямого маршруту M_{AB} між вузлами A і B настає значно раніше, ніж недостатня вантажопідйомність поштових автомобілів на маршрутах M_{AC} і M_{CB} , що з'єднують ці вузли через транзитний вузол C .

Таким чином, можливості зменшення витрат на перевезення поштових вантажів, скорочення нормативних строків пересилання поштових вантажів і зменшення ймовірностей створення залишків невідправлених поштових ван-

тажів у транзитних вузлах мережі, у діючій мережі поштового зв'язку УДППЗ „Укрпошта” залишаються невикористаними.

4.6. Визначення парку поштових контейнерів

Контейнерні перевезення – один з найбільш ефективних методів перевезення поштових вантажів.

Серед переваг контейнерних перевезень слід зазначити:

- суттєве скорочення часу і витрат на завантаження й розвантаження контейнеровозів;

- значне скорочення часу стоянки контейнеровозів у пунктах обмінювання контейнерів;

- забезпечення високої схоронності й цілісності поштових вантажів;

- можливість використання контейнерів як технологічної тари в об'єктах поштового зв'язку, а, отже, суміщення технологічних операцій з оброблення поштових одиниць і технологічних операцій з їхнього завантаження у контейнери.

Проте контейнерним перевезенням властиві також певні недоліки, основними з яких є:

- зниження коефіцієнтів використання вантажопідйомностей і об'ємів кузовів контейнеровозів як внаслідок необхідності перевезення мас власне контейнерів, тобто, тари, так і внаслідок наявності пустот над контейнерами, під ними, між ними та всередині них;

- необхідність забезпечення повернення порожніх контейнерів у початковий пункт маршруту контейнеровозу.

Висока вартість контейнерів, витрати на їхнє складування, зберігання та повернення, необхідність систематичного технічного обслуговування і ремонту, ряд інших факторів роблять актуальною задачу мінімізації парку контейнерів.

Основну частину парку контейнерів складають контейнери, що знаходяться в обороті; крім них до парку контейнерів входять резервні контейнери, призначені для заміни несправних або несвоєчасно повернутих контейнерів, а також для забезпечення перевезення зростаючих об'ємів поштових вантажів.

Задача мінімізації парку контейнерів 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 контейнери, 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 контейнери, строки обертання (повернення) контейнерів D_1, D_2, \dots, D_m (діб) за кожним напрямом

перевезення, а також кількість контейнерів $M_{\text{відпр } ij}$, що відправляються за напрямками B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) у дні тижня d_j ($j = 1$ (пн), 2 (вт), \dots , 7 (нд)).

Значення $M_{\text{відпр } ij}$ подаються у виді матриці розміром $m \times 7$, приклад якої наведений у табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Приклад матриці значень кількості $M_{\text{відпр } ij}$ відправлених контейнерів

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	28
Разом		10	17	10	15	11	16	8	87

Необхідно знайти мінімальну сумарну кількість контейнерів, що знаходяться в обороті, достатню для забезпечення перевезення об'ємів поштових вантажів, поданих матрицею $M_{\text{відпр } ij}$.

Для розв'язання задачі необхідно, перш за все, побудувати матрицю значень кількості контейнерів $M_{\text{надх } ij}$, що надходять (повертаються) з напрямків 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 напрямків B_1, B_2, \dots, B_m із нижчих об'єктів до вищого об'єкта надходять контейнери, 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. 4.12 значень $M_{\text{відпр } ij}$ і строків обороту контейнерів D_1, D_2, \dots, D_m матриця значень $M_{\text{надх } ij}$ набуде виду, що наведений у табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Приклад матриці значень кількості $M_{\text{надх } ij}$ повернених контейнерів

Напрямок	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. 4.12 і табл. 4.13, за нульового балансу кількості контейнерів за тиждень (87 відправлених і 87 повернених контейнерів), добові баланси контейнерів 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. 4.12 із вищого об'єкта до нижчих відправляється 17 контейнерів – відповідно 5, 3, 2, 7 за напрямками B_1, B_2, B_3, B_4 . Цього ж дня згідно з табл. 4.13 з нижчих об'єктів з напрямків B_1, B_2, B_3, B_4 до вищого об'єкта надходить 7 контейнерів, 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 контейнери; $d_2 = R((100-4)/7) = 5$ (п'ятниця) – 3 контейнери; $d_3 = R((100-8)/7) = 1$ (понеділок) – 1 контейнер; $d_4 = R((100-2)/7) = 0$ (неділя) – 1 контейнер.

Для знаходження сумарної кількості контейнерів M_{\min} , що знаходяться в обороті, доцільно застосувати пряме моделювання процесу переходу від звичайних перевезень поштових вантажів до їх перевезень у контейнерах, яке включає:

– знаходження щоденних балансів $\Delta M_D = M_{\text{відпр}\Sigma D} - M_{\text{надх}\Sigma D}$ сумарної кількості контейнерів, відправлених із вищого об'єкта до нижчих об'єктів по всіх календарних днях $D = 1, 2, \dots, D_{\max} + 7$, де $D_{\max} = \max(D_1, D_2, \dots, D_m)$ – максимальний строк повернення контейнерів, і сумарної кількості контейнерів, повернених із нижчих об'єктів до вищого об'єкта через відповідні строки повернення D_1, D_2, \dots, D_m ;

– знаходження суми балансів контейнерів 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 контейнерів

$$M_{\min} = \max\left(\sum_{D=1}^1 \Delta M_D, \sum_{D=1}^2 \Delta M_D, \dots, \sum_{D=1}^{D_{\max} + 7} \Delta M_D\right),$$

що дорівнює мінімальному сумарному значенню кількості контейнерів, що знаходяться в обороті.

У табл. 4.14 наведено приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, за даними табл. 4.12 і 4.13.

Як впливає з табл. 4.14, мінімальна сумарна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті, для розглядуваного прикладу складає $M_{\min} = 60$.

У табл. 4.15 наведено приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, при зміненому відліку днів тижня.

Як впливає з табл. 4.15, відлік днів тижня, починаючи з четверга, не змінює ні мінімальної сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, 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. 4.16 наведено приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, при перестановці кількості відправ-

лених контейнерів за днями тижня за схемою: пн – чт; вт – сб; ср – пн; чт – ср; пт – нд; сб – вт; нд – пт.

Як впливає з табл. 4.16, перестановка кількості відправлених контейнерів за днями тижня призводить до зміни мінімальної сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті (в наведеному прикладі – до зростання з $M_{\text{мін}} = 60$ до $M_{\text{мін}} = 64$).

У табл. 4.17 наведено приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, за рівномірного розподілу відправлених контейнерів за днями тижня.

Як впливає з табл. 4.17, за рівномірного розподілу відправлених контейнерів за днями тижня сумарна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті, сягає мінімального значення (в наведеному прикладі – $M_{\text{мін}} = 58$) з одночасним наближенням до нульового балансу відправлених і повернених контейнерів за днями тижня.

Наприкінці зазначимо, що мінімізація парку контейнерів пов'язана зі зменшенням кількості резервних контейнерів. Ця обставина спонукає оператора поштового зв'язку до виконання установлених нормативних строків пересилання поштових вантажів, що, в свою чергу, призводить до підвищення якості послуг поштового зв'язку.

Таблиця 4.14 – Приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті

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 контейнерів																
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 контейнерів																
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 контейнерів																
		10	17	6	8	7	7	-1	-4	10	0	-1	-3	4	-3	-7
Поточна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті																
		10	27	33	41	48	55	54	50	60	60	59	56	60	57	50

Таблиця 4.15 – Приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, 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 контейнерів																
<i>B</i> ₁	6	1	4	6	2	3	5	2	1	4	6	2	3	5	2	1
<i>B</i> ₂	4	4	3	3	2	2	3	3	4	3	3	2	2	3	3	4
<i>B</i> ₃	8	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
<i>B</i> 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 контейнерів																
<i>B</i> ₁	6	0	0	0	0	0	0	1	4	6	2	3	5	2	1	4
<i>B</i> ₂	4	0	0	0	0	4	3	3	2	2	3	3	4	3	3	2
<i>B</i> ₃	8	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	2	3	1	2	3
<i>B</i> 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 контейнерів																
		15	11	10	5	1	13	2	2	-3	4	-3	-7	10	0	-1
Поточна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті																
		15	26	36	41	42	55	57	59	56	60	57	50	60	60	59

Таблиця 4.16 – Приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, при перестановці кількості відправлених контейнерів 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 контейнерів																
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 контейнерів																
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 контейнерів																
		10	16	13	5	-1	10	4	-5	7	5	-4	-7	3	2	-6
Поточна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті																
		10	26	39	44	43	53	57	52	59	64	60	53	56	58	52

Таблиця 4.17 – Приклад розрахунку сумарної кількості контейнерів, що знаходяться в обороті, при рівномірному розподілі відправлених контейнерів 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 контейнерів																
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 контейнерів																
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 контейнерів																
		12	12	9	8	6	5	3	3	-1	1	-1	0	0	1	0
Поточна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті																
		12	24	33	41	47	52	55	58	57	58	57	57	57	58	58

4.7. Забезпечення повернення порожніх контейнерів

Відома задача повернення порожніх контейнерів заснована на аналізі залишків і недостач порожніх контейнерів у вузлах мережі перевезень та побудові такої сукупності маршрутів перевезення порожніх контейнерів від вузлів, де є залишки цих контейнерів до вузлів, де є їхні недостачі, за якої вартість перевезень порожніх контейнерів мінімальна.

Недоліком застосування такого способу повернення порожніх контейнерів у мережі поштового зв'язку є необхідність постійного аналізу залишків і недостач контейнерів у вузлах мережі та упровадження спеціальних поштових маршрутів перевезення порожніх контейнерів між ними.

Враховуючи, що поштові маршрути звичайно пролягають між початковим пунктом обмінювання контейнерів (ПОК), розташованим у ГВ або ЗВ, та транзитними і кінцевим ПОК, розташованими в ТВ, можлива організація такої схеми обмінювання контейнерів у ПОК, за якою забезпечується не тільки їхнє повернення у початковий ПОК, а й можливість попутного обмінювання контейнерів при проходженні як прямих, так і зворотних поштових маршрутів.

В основу побудови такої схеми обмінювання контейнерів у ПОК покладений принцип розтягнутого обмінювання «контейнер на контейнер», за якого загальна кількість контейнерів, що перевозяться на будь-якій ділянці прямого маршруту, дорівнює загальній кількості контейнерів, що перевозяться на цій ділянці зворотного маршруту.

Слід підкреслити, що при обмінюванні контейнерів за принципом «контейнер на контейнер» між усіма ПОК повинні перевозитися *всі* передбачені планом перевезень контейнери, незалежно від фактичного співвідношення кількості заповнених і кількості порожніх контейнерів. Можна навіть умовно або фактично закріпити ці контейнери за зазначеними ПОК.

Хоча на перший погляд може здатися, що перевезення порожніх контейнерів в обох напрямках поштового маршруту є безглуздим, насправді це не так, оскільки перевезення заповнених і порожніх контейнерів переслідують різні цілі.

Якщо перевезення заповнених контейнерів між ПОК безпосередньо забезпечують вимоги на перевезення поштових вантажів поточним прямим або поточним зворотним маршрутами, то перевезення порожніх контейнерів потрібне для забезпечення перевезень поштових вантажів між зазначеними ПОК відповідно наступним зворотним або наступним прямим маршрутами. Втім, якщо заздалегідь відома мінімальна кількість порожніх контейнерів, що перевозиться на будь-якій ділянці прямого й зворотного маршрутів, то загальна кількість контейнерів, що перевозиться на цих маршрутах, може бути скорочена на зазначену мінімальну величину.

Можливі два варіанти організації обмінювання контейнерів у ПОК за принципом «контейнер на контейнер» – без попутних перевезень контейнерів між ПОК та з попутними перевезеннями контейнерів між ними. В обох

варіантах вважається, що контейнери обладнані індивідуальними системами кріплення до кузова контейнеровоза.

За першим варіантом на прямому маршруті здійснюється лише вивантаження з кузова контейнеровоза контейнерів, що прямують від початкового ПОК до ПОК, розташованих на маршруті, а на зворотному маршруті – лише завантаження у кузов контейнеровоза контейнерів, що прямують від ПОК, розташованих на маршруті, до початкового ПОК. При цьому сумарна кількість контейнерів, що вивантажуються в будь-якому ПОК на прямому маршруті, дорівнює сумарній кількості контейнерів, що завантажуються в цьому ПОК на зворотному маршруті.

Перевагою цього варіанта є відсутність потреби у наявності резерву порожніх контейнерів у ПОК i , як наслідок, мінімальна загальна кількість контейнерів, що використовуються для перевезень поштових вантажів.

Недоліком варіанта є зростання об'ємів перевезень і строків пересилання поштових вантажів між ПОК, розташованими на маршруті, внаслідок здійснення обмінювання контейнерів, що прямують між ними, в початковому ПОК.

Задругим варіантом на прямому маршруті в поточному ПОК здійснюється вивантаження з кузова контейнеровоза контейнерів, що прямують у попутному напрямі від попередніх (ближніх) ПОК до поточного ПОК; вивантаження з кузова контейнеровоза контейнерів, що прямують до нього від початкового ПОК; завантаження у кузов контейнеровоза контейнерів, що прямують у попутному напрямі від поточного ПОК до наступних (дальніх) ПОК; а на зворотному маршруті – вивантаження з кузова контейнеровоза контейнерів, що прямують у попутному напрямі від попередніх (дальніх) ПОК до поточного ПОК; завантаження у кузов контейнеровоза контейнерів, що прямують у попутному напрямі від поточного ПОК до початкового ПОК; завантаження у кузов контейнеровоза контейнерів, що прямують у попутному напрямі від поточного ПОК до наступних (ближніх) ПОК.

Перевагою цього варіанту є скорочення об'ємів перевезень і строків пересилання поштових вантажів між ПОК, розташованими на маршруті, обумовлене упровадженням прямого обмінювання контейнерів між ними.

Недоліками варіанта є необхідність наявності резерву контейнерів у ПОК, кількість яких визначається об'ємами попутних перевезень контейнерів між зазначеними ПОК; суттєве ускладнення обмінювання контейнерів у ПОК на прямому і зворотному маршрутах; значне зростання часу, що витрачається на обмінювання контейнерів у ПОК.

На рис. 4.10 наведено діаграми пересилання контейнерів за відсутності (а) і за наявності (б) попутних перевезень контейнерів. Позначення K_{ij} означає кількість контейнерів, що прямують від ПОК $_i$ до ПОК $_j$ на кожній ділянці прямого й зворотного маршрутів.

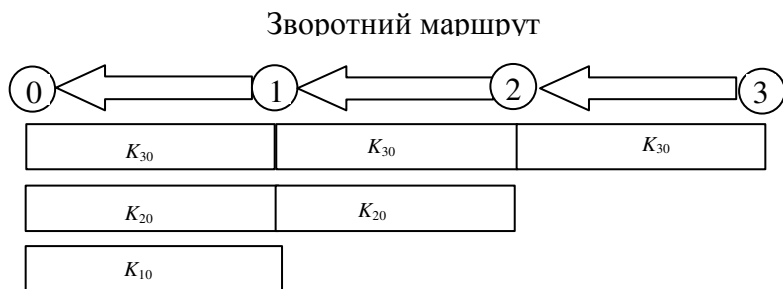
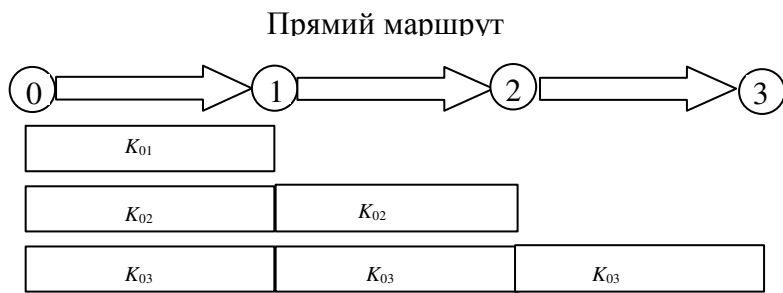


Рисунок 4.10 – Діаграми пересилання контейнерів за відсутності (а) і за наявності (б) попутних перевезень контейнерів

Максимальна сумарна кількість попутних контейнерів, що можуть бути відправлені з поточного ПОК до наступних ПОК, розташованих на маршруті, дорівнює максимальній сумарній кількості контейнерів, що надходять до цього ПОК від усіх попередніх ПОК, розташованих на зазначеному маршруті.

У табл. 4.18 наведено приклад матриці вимог на перевезення контейнерів за варіантом рис. 4.10, б. Передбачено використання для перевезень контейнерів потужного контейнеровоза *Volvo* сумарною вантажопідйомністю 20 т, здатного перевозити 42 контейнери (по 14 контейнерів у кожному з 3 поздовжніх рядів).

Таблиця 4.18 – Приклад матриці вимог на перевезення контейнерів

Відправлення	Надходження			
	ПОК-0	ПОК-1	ПОК-2	ПОК-3
ПОК-0	-	16	12	14
ПОК-1	16	-	4	3
ПОК-2	12	4	-	5
ПОК-3	14	3	5	-

Усього з ПОК-0 відправляються і до ПОК-0 надходять 42 контейнери.

У табл. 4.19 наведено баланс і дані про резерв контейнерів у ПОК-0, ПОК-1, ПОК-2, ПОК-3 відповідно до матриці вимог табл. 4.16 при проходженні прямого й зворотного маршрутів. Буквою К позначено слово «Контейнер».

Таблиця 4.19 – Баланс і дані про резерв контейнерів у ПОК-0, ПОК-1, ПОК-2, ПОК-3

ПОК-0 Резерв 42 К	ПОК-1 Резерв 7 К	ПОК-2 Резерв 5 К	ПОК-3 Резерв 8 К
Прямий маршрут			
Приймання 14 К до ПОК-3	Здавання 16 К з ПОК-0	Здавання 4 К з ПОК-1	Здавання 5 К з ПОК-2
Приймання 12 К до ПОК-2	Приймання 3 К до ПОК-3	Здавання 12 К з ПОК-0	Здавання 3 К з ПОК-1
Приймання 16 К до ПОК-1	Приймання 4 К до ПОК-2	Приймання 5 К до ПОК-3	Здавання 14 К з ПОК-0
Усього $14+12+16 = 42$ К	Усього $42-16+3+4 = 33$ К	Усього $33-4-12+5 = 22$ К	Усього $22-5-3-14 = 0$ К
Зворотний маршрут			
Здавання 16 К з ПОК-1	Здавання 4 К з ПОК-2	Здавання 5 К з ПОК-3	Приймання 14 К до ПОК-0
Здавання 12 К з ПОК-2	Здавання 3 К з ПОК-3	Приймання 12 К до ПОК-0	Приймання 3 К до ПОК-1
Здавання 14 К з ПОК-3	Приймання 16 К до ПОК-0	Приймання 4 К до ПОК-1	Приймання 5 К до ПОК-2
Усього $42-16-12-14 = 0$ К	Усього $33-4-3+16 = 42$ К	Усього $22-5+12+4 = 33$ К	Усього $14+3+5 = 22$ К

4.8. Мінімізація переміщень контейнерів у кузові контейнеровоза під час обмінювання контейнерів у ПОК

Обмінювання контейнерів у поточному ПОК включає дві фази:

- вивантаження з кузова контейнеровоза заповнених або порожніх контейнерів, що прямують до зазначеного поточного ПОК від усіх попередніх ПОК, розташованих на маршруті;
- завантаження у кузов контейнеровоза заповнених або порожніх контейнерів, що прямують від зазначеного поточного ПОК до всіх наступних ПОК, розташованих на маршруті.

Через технологічні обмеження вивантаження й завантаження контейнерів у ПОК виконується, як правило, лише з боку заднього борту кузова контейнеровоза, тому критерієм оптимального розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза є мінімізація переміщень контейнерів, що обмінюються в поточному ПОК, і відсутність переміщень контейнерів, що в даному поточному ПОК не обмінюються.

Як свідчить аналіз, мінімізація переміщень контейнерів під час обмінювання контейнерів у ПОК можлива за умов виконання наступних вимог:

- максимальна кількість ПОК на маршруті, не враховуючи початкового ПОК, не перевищує кількості поздовжніх рядів контейнерів у кузові контейнеровоза;
- контейнери, що прямують до визначених ПОК, установлені в кузові контейнеровоза в поздовжні ряди, що примикають до заднього борту контейнеровоза, і можуть, за необхідності, займати суміжні з ними поздовжні ряди з боку переднього борту контейнеровоза;
- розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза в початковому ПОК відповідає певним схемам, пов'язаним зі співвідношенням кількості контейнерів, що прямують від початкового ПОК до кожного з ПОК, розташованих на маршруті контейнеровоза ($K_{\text{ПОК}}$), і максимальної кількості контейнерів, що можуть бути розміщені в одному поздовжньому ряді в кузові контейнеровоза ($K_{\text{ряд}}$).

Розглянемо ці схеми. Позначимо буквами М (менше), Р (рівне), Б (більше) три можливі випадки співвідношень:

М, якщо $K_{\text{ПОК}} < K_{\text{ряд}}$;

Р, якщо $K_{\text{ПОК}} = K_{\text{ряд}}$;

Б, якщо $K_{\text{ПОК}} > K_{\text{ряд}}$.

З урахуванням наведених позначень, початкове розміщення контейнерів у кузові згаданого контейнеровоза *Volvo* визначається однією з чотирьох схем:

- початкове розміщення контейнерів за схемою РРР;
- початкове розміщення контейнерів за схемою МБР;
- початкове розміщення контейнерів за схемою МБМ;
- початкове розміщення контейнерів за схемою БМБ.

На рис. 4.11 наведено ілюстрації зазначених схем початкового розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза *Volvo* (*a* – за схемою РРР; *б* – за схемою МБР; *в* – за схемою МБМ; *г* – за схемою БМБ). Жирними лініями виділені контейнери, що прямують від початкового ПОК до кожного з трьох ПОК, розташованих на маршруті.

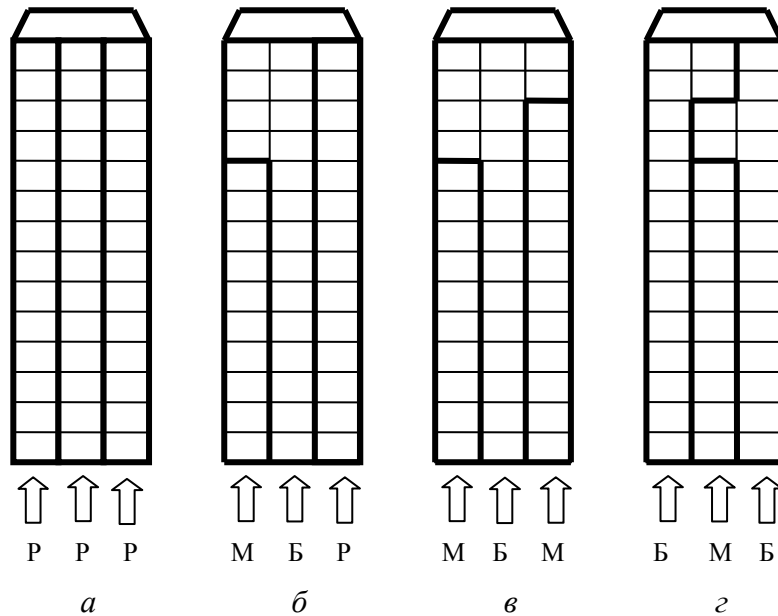


Рисунок 4.11 – Ілюстрації схем початкового розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза *Volvo*

На рис. 4.12 наведено схеми розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза *Volvo* відповідно до матриці вимог на перевезення контейнерів табл. 4.18. Початкове розміщення контейнерів – за схемою МБР. Цифрами позначені номери ПОК відправлення й призначення контейнерів. Жирними лініями виділені контейнери, що вивантажуються й завантажуються в ПОК.

Зауважимо, що попутні контейнери завантажуються в ПОК у порядку від віддалених ПОК до наближених ПОК, завдяки чому контейнери, що розвантажуються у проміжних ПОК, автоматично розташовуються з боку заднього борту контейнеровоза.

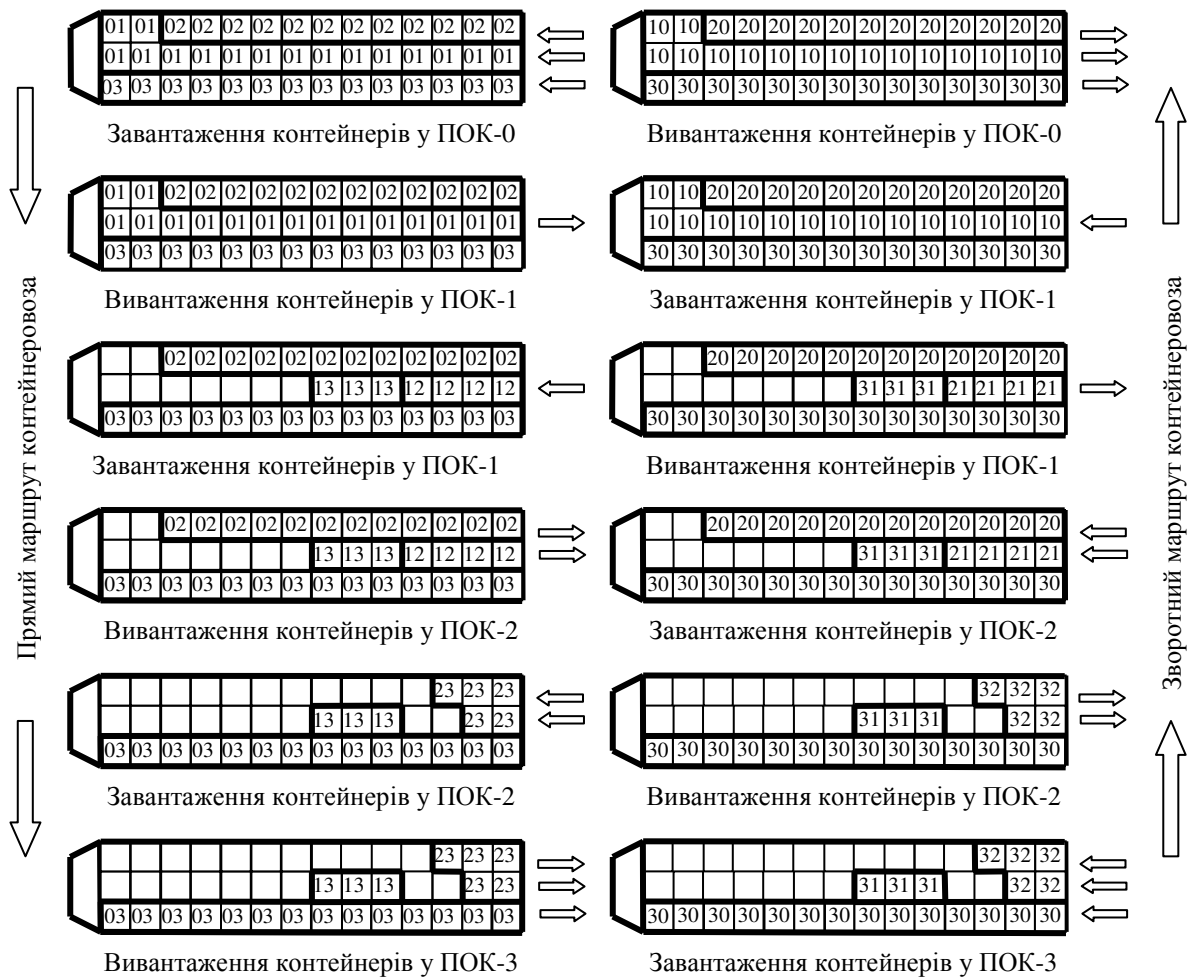


Рисунок 4.12 – Схеми розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза Volvo

Як випливає з рис. 4.12, контейнери, що перевозяться між будь-якою визначеною парою Пок, займають у кузові контейнеровоза на прямому й зворотному маршрутах ті ж самі місця.

При такому закріпленні контейнерів за місцями у кузові контейнеровоза, не тільки спрощується обмінювання контейнерів у Пок, а й відпадає потреба передавати диспетчерам у Пок оперативну інформацію про місця розміщення у кузові контейнеровоза контейнерів, що в цих Пок обмінюються.

Наприкінці зауважимо, що за умов виконання деяких додаткових вимог максимальна кількість Пок на маршруті може бути збільшена на одиницю; при цьому контейнери, що обмінюються в кінцевому Пок, розміщуються в поперечних рядах кузова контейнеровоза з боку його переднього борту.

Контрольні питання

1. Чим відрізняються поштові маршрути однорівневих і багаторівневих мереж поштового зв'язку?
2. Охарактеризуйте поштові маршрути однорівневої мережі поштового зв'язку, об'єкти якої з'єднані за принципом «кожний з кожним».
3. Охарактеризуйте поштові маршрути однорівневої мережі поштового зв'язку, групи об'єктів якої з'єднані за принципом «кожна з кожною».
4. Охарактеризуйте поштовий маршрут однорівневої мережі поштового зв'язку, що з'єднує всі об'єкти поштового зв'язку.
5. Охарактеризуйте радіальні поштові маршрути дворівневої мережі поштового зв'язку, що з'єднують об'єкти поштового зв'язку через центральний об'єкт поштового зв'язку.
6. Охарактеризуйте поштові маршрути дворівневої мережі поштового зв'язку, групи об'єктів якої з'єднані кільцевими поштовими маршрутами через центральний об'єкт поштового зв'язку.
7. Охарактеризуйте кільцевий поштовий маршрут дворівневої мережі поштового зв'язку, що з'єднує всі об'єкти поштового зв'язку через центральний об'єкт поштового зв'язку.
8. Спробуйте довести, що скороченню загальної протяжності поштових маршрутів завжди відповідає зростання об'ємів перевезень поштових вантажів у мережі поштового зв'язку.
9. Охарактеризуйте фактори, що визначають кількість транспортних засобів для перевезень поштових вантажів.
10. Як визначити необхідну кількість транспортних засобів за допомогою часових графіків проходження поштових маршрутів?
11. Охарактеризуйте схему магістральних перевезень поштових вантажів в Україні.
12. Чим відрізняються часові інтервали проходження магістральних поштових маршрутів ближньої, середньої та дальньої зон?
13. Чим визначається необхідний резерв транспортних засобів?
14. Чим визначаються об'єми перевезення поштових вантажів у мережі поштового зв'язку за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків?
15. Як будуються матриці міжвузлових поштових потоків?
16. Як впливають строки пересилання поштових вантажів на необхідну вантажопідйомність транспортних засобів?
17. Чому за наявності циклічних змін міжвузлових поштових потоків операції додавання або віднімання днів проходження поштових маршрутів повинні виконуватися не як арифметичні операції, а як операції додавання або віднімання за певним модулем?
18. Як виконуються операції додавання або віднімання чисел за заданим модулем?

19. Спробуйте пояснити зростання поштових потоків від початку тижня до його середини і падіння поштових потоків від середини тижня до його закінчення.

20. Чим визначається навантаження транспортних засобів для перевезень поштових вантажів за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків?

21. Чим визначається вантажопідйомність транспортних засобів для перевезень поштових вантажів за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків?

22. Охарактеризуйте переваги використання автомобілів з причепами для перевезень поштових вантажів за умов циклічних змін об'ємів міжвузлових поштових потоків.

23. Як впливає затримка відправлення поштових вантажів з об'єктів поштового зв'язку на необхідну вантажопідйомність транспортних засобів?

24. Як визначити допустиму затримку відправлення поштових вантажів з об'єктів поштового зв'язку?

25. Як розраховується середня затримка відправлення поштових вантажів з об'єктів поштового зв'язку?

26. Якими факторами слід керуватися при впровадженні прямих поштових маршрутів між об'єктами мережі поштового зв'язку?

27. Назвіть основні переваги і недоліки контейнерних перевезень поштових вантажів.

28. Які фактори визначають мінімальний парк поштових контейнерів?

29. Як визначається необхідна кількість контейнерів, що знаходяться в обороті?

30. Як впливає зміна відліку днів тижня на значення величини парку поштових контейнерів?

31. Як впливає перестановка кількості поштових контейнерів, що відправляються за днями тижня, на значення величини парку поштових контейнерів?

32. Як впливає рівномірність розподілу поштових контейнерів, що відправляються за днями тижня, на значення величини парку поштових контейнерів?

33. У чому полягає сутність задачі повернення порожніх контейнерів?

34. У чому полягає сутність принципу розтягнутого обмінювання контейнерів «контейнер на контейнер»?

35. Який сенс має перевезення порожніх контейнерів у прямому й зворотному напрямках поштового маршруту при реалізації принципу обмінювання контейнерів «контейнер на контейнер»?

36. Чим визначається необхідна кількість резервних контейнерів при реалізації принципу обмінювання контейнерів «контейнер на контейнер»?

37. Чим відрізняються схеми пересилання контейнерів за відсутності і за наявності попутних перевезень контейнерів?

38. Обґрунтуйте переваги і недоліки пересилання контейнерів за відсутності і за наявності попутних перевезень контейнерів.

39. Як пов'язана вантажопідйомність контейнеровоза з пересиланням контейнерів за відсутності і за наявності попутних перевезень контейнерів?

40. У чому полягає сутність задачі мінімізації переміщень контейнерів у кузові контейнеровоза в пунктах обмінювання контейнерів?

41. Охарактеризуйте чотири можливі схеми початкового розміщення контейнерів у кузові контейнеровоза.

42. Охарактеризуйте основні операції з обмінювання контейнерів у проміжних пунктах поштового маршруту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Окландер М.А. Логістика: Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 346 с.
2. Організація та проектування логістичних систем: Підручник / За ред. проф. М.П. Денисенка, проф. П.Р. Левковця, проф. Л.І. Михайлової. – К.: Центр учбової літератури, 2000. – 336 с.
3. Крикавський Є.В., Чухрай Н.І., Чернописька Н.В. Логістика: Компендіум і практикум. Навчальний посібник. . – К.: Кондор, 2006. – 340 с.
4. Кріль С.С., Ящук Л.О. Мережі та системи поштового зв'язку: Навчальний посібник / За ред. Л.О. Ящука. – Одеса.: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2008. – 224 с.
5. Ящук Л.О. Оптимізація сортування поштових одиниць: Методи, моделі, алгоритми: Монографія. – Одеса.: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 136 с.
6. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и научн. ред. проф. В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 976 с.
7. Основы логистики: Учебник для вузов / Под ред. В.В. Щербакова. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
8. Логистика: Учебник / Под ред. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 368 с.
9. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2005. – 432 с.
10. Гаджинский А.М. Практикум по логистике. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2008. – 304 с.
11. Просветов Г.И. Математические методы в логистике: задачи и решения: Учебно-практическое пособие. – М.: Издательство «Альфа-пресс», 2009. – 304 с.

Навчальне видання

Леонід Омелянович ЯЩУК

Логістика поштового зв'язку

Редактор

Л. А. Кодрул

Комп'ютерне верстання

Є. С. Корнійчук

Здано в набір 28.03.2011 Підписано до друку 7.06.2011
Формат 60/88/16 Зам. № 4579.
Тираж 300 прим. Обсяг: 14,25 ум. друк. арк.
Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO
у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова
ОНАЗ, 2011