

УДК 656.8.001

Л. О. ЯЩУК, доктор техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України,
Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова**Застосування решітчастих поштових маршрутів — шлях до радикального підвищення живучості мережі поштового зв'язку України****Розглянуто переваги застосування магістральних поштових маршрутів (ПМ) у вигляді прямокутних решіток, що дозволяють радикально підвищити живучість мережі поштового зв'язку (МПЗ) України, скоротити загальну кількість і загальну протяжність ПМ.****Ключові слова:** МПЗ; живучість МПЗ; об'єкти поштового зв'язку (ОПЗ); ПМ; горизонтальні ПМ (ГПМ); вертикальні ПМ (ВПМ); схема магістральних перевезень пошти (СМПП); поштові одиниці (ПО); поштові потоки (ПП); транзитні вузли (ТВ); нормативні строки (НС) пересилання ПО; показники тонно-кілометрів (ТКМ) пересилання ПО; шляхи пересилання пошти (ШПП); відновлення ОПЗ; відновлення РПМ; відновлення ШПП.**Вступ**

Для здійснення магістральних перевезень ПО найчастіше застосовуються радіально-вузлові ПМ (РВПМ) або кільцеві ПМ (КПМ). Пропонується доповнити ці ПМ *решітчастими ПМ (РПМ)*. Використання ПМ у вигляді прямокутних решіток не тільки природно поєднується з поданням міжвузлових ПП у матричній формі, а й дозволяє радикально підвищити живучість МПЗ у надзвичайних ситуаціях, скоротити сумарну кількість і сумарну протяжність ПМ, а також спростити їх синхронізацію.

Схема магістральних перевезень пошти із РПМ

Зобразимо СМПП у вигляді матриці вузлів розміром $n \times m = 6 \times 4 = 24$ (рис. 1). Ця матриця може наближено подавати 24 обласні вузли, з'єднані з використанням $n = 6$ двосторонніх (12 односторонніх) ВПМ і $m = 4$ двосторонніх (8 односторонніх) ГПМ, за допомогою яких пересилаються $nm(nm - 1) = 24 \cdot 23 = 552$ міжобласні ПП в Україні.

За умов застосування РПМ поштові потоки між парами вузлів із початковими координатами (x_p, y_p) і кінцевими координатами (x_k, y_k) може пересилатися одним із трьох способів:

- одним ГПМ при $y_k = y_p$;
- одним ВПМ при $x_k = x_p$;
- одним ГПМ і одним ВПМ через ТВ із координатами (x_p, y_k) або через ТВ із координатами (x_k, y_p) .

Приклади з'єднання вузлів СМПП:

- вузли (2,2) і (2,4) з'єднуються одним ГПМ 3;
- вузли (2,4) і (2,2) з'єднуються одним ГПМ 4;
- вузли (2,3) і (3,3) з'єднуються одним ВПМ 5;
- вузли (3,3) і (2,3) з'єднуються одним ВПМ 6;
- вузли (2,2) і (3,4) з'єднуються одним ГПМ 3 і одним ВПМ 7 через ТВ (2,4) або одним ВПМ 3 і одним ГПМ 5 через ТВ (3,2);
- вузли (3,4) і (2,2) з'єднуються одним ГПМ 6 і одним ВПМ 4 через ТВ (3,2) або одним ВПМ 8 і одним ГПМ 4 через ТВ (2,4).

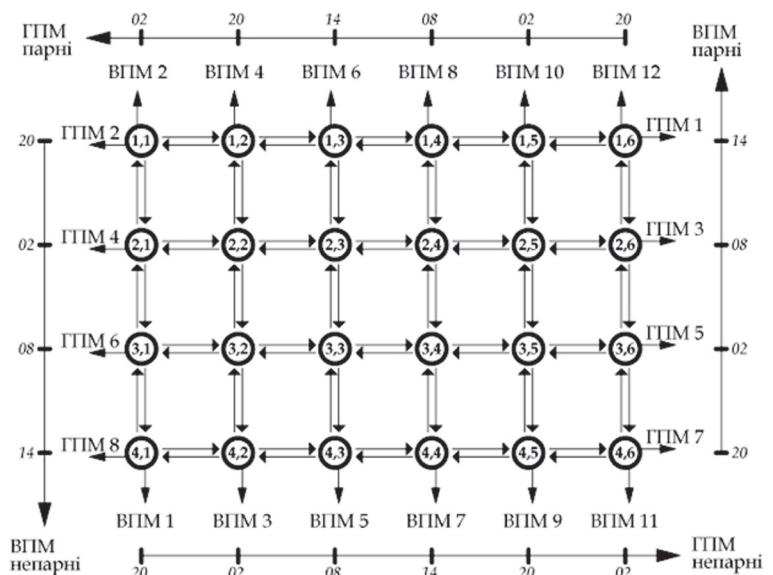


Рис. 1. СМПП із РПМ

Нормативні строки пересилання ПО і показники ТКМ у СМПП із РПМ

Розраховані значення НС пересилання ПО і показників ТКМ у пропонованій СМПП наведено відповідно в табл. 1 і 2.

Зауважимо, що НС і ТКМ пересилання внутрішньообласних ПО, подані діагональними елементами табл. 1 і 2, вважаються невизначеними.

© Л. О. Ящук, 2017

Нормативні строки пересилання ПО, днів

Вузли призначення

	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
1,1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3
1,2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	3	3	3	2	2	2	3	3	3
1,3	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
1,4	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	2	2
1,5	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2	1	2	3	3	3	2	2	2
1,6	2	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	3	3	3	2	2	1	3	3	3	2	2	2
2,1	2	2	2	3	3	3	3	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
2,2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3
2,3	2	2	2	3	3	3	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
2,4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	3	2	1	2	2	3	3	3	2	2	2
2,5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	3	2	2	1	2	3	3	3	2	2	2
2,6	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2	2	1	3	3	3	2	2	2
3,1	2	2	2	3	3	3	1	2	2	2	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
3,2	2	2	2	3	3	3	2	1	2	2	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
3,3	2	2	2	3	3	3	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
3,4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2	2	2
3,5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2	2	2
3,6	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	3	3	3	3	2	2	2
4,1	2	2	2	3	3	3	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
4,2	2	2	2	3	3	3	2	1	2	3	3	3	2	1	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
4,3	2	2	2	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4,4	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1
4,5	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2	1	2	3	3	3	2	1	2	2	2	2	1	1	1
4,6	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2	2	1	3	3	3	2	1	2	2	2	2	1	1	1

Таблиця 1

Таблиця 2

Значення показників ТКМ

		Вузли призначення																								
		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	
1,1			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	8	
1,2		1		1	2	3	4	2	1	2	3	4	5	3	2	3	4	5	6	6	4	5	4	5	6	7
1,3		2	1		1	2	3	3	2	1	2	3	4	4	3	2	3	4	4	5	5	4	4	5	6	
1,4		3	2	1		1	2	4	3	2	1	2	3	5	4	3	2	3	4	4	6	5	4	4	5	
1,5		4	3	2	1		1	5	4	3	2	1	2	6	5	4	3	2	3	7	7	6	5	4	3	4
1,6		5	4	3	2	1		6	5	4	3	2	1	7	6	5	4	3	2	8	8	7	6	5	4	3
2,1		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	
2,2		2	1	2	3	4	5	1		1	2	3	4	2	1	2	3	4	3	3	2	3	4	5	6	
2,3		3	2	1	2	3	4	2	1		1	2	3	3	2	1	2	3	4	4	4	3	2	3	4	5
2,4		4	3	2	1	2	3	3	2	1		1	2	4	3	2	1	2	3	3	5	4	3	2	3	4
2,5		5	4	3	2	1	2	4	3	2	1		1	5	4	3	2	1	2	6	6	5	4	3	2	3
2,6		6	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		6	5	4	3	2	1	7	7	6	5	4	3	2
3,1		2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	
3,2		3	2	3	4	5	6	2	1	2	3	4	5	1		1	2	3	4	2	1	2	3	4	5	
3,3		4	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	2	1		1	2	3	3	3	2	1	2	3	4
3,4		5	4	3	2	3	4	4	3	2	1	2	3	3	2	1		1	2	4	4	3	2	1	2	3
3,5		6	5	4	3	2	3	5	4	3	2	1	2	4	3	2	1		1	5	5	4	3	2	1	2
3,6		7	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		6	6	5	4	3	2	1
4,1		3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	
4,2		4	3	4	5	6	7	3	2	3	4	5	6	2	1	2	3	4	5	1		1	2	3	4	
4,3		5	4	3	4	5	6	4	3	2	3	4	5	3	2	1	2	3	4	2	1		1	2	3	
4,4		6	5	4	3	4	5	5	4	3	2	3	4	4	3	2	1	2	3	3	2	1		1	2	
4,5		7	6	5	4	3	4	6	5	4	3	2	3	5	4	3	2	1	2	4	3	2	1		1	
4,6		8	7	6	5	4	3	7	6	5	4	3	2	6	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		

Вузли відправлення

Для розрахунку НС пересилання ПО використано схему проходження ГПМ і ВПМ, наведену на рис. 1. Нормативні строки пересилання ПО розраховано відповідно до реальних відстаней між сусідніми обласними центрами (ОЦ), що становлять близько 250 км. Для проходження такої відстані із середньою швидкістю 50 км/год потрібно 5 год, і ще 1 год знадобиться на обмінювання ПО в обласних вузлах, усього 6 год. Прийнятий час відправлення пошти з обласних вузлів — 20^{00} , що забезпечує повернення всіх внутрішньообласних ПМ в обласні вузли і проведення вечірнього виймання ПО з поштових скриньок в ОЦ. До того ж ураховано, що за чинними нормативами ПО доставляються в ОЦ у день прибуття ПМ, якщо вони надходять в обласні вузли до 10^{00} . Для надійності цей норматив включає в себе резерв 2 год, тобто вважається, що ПО доставляються в ОЦ у день прибуття ПМ, якщо вони надходять в обласні вузли до 08^{00} .

Із двох можливих шляхів, що з'єднують обласні вузли з координатами $(x_{\text{п}}, y_{\text{п}})$ і $(x_{\text{к}}, y_{\text{к}})$ через транзитні вузли з координатами $(x_{\text{п}}, y_{\text{к}})$ або $(x_{\text{к}}, y_{\text{п}})$, обрано той, що забезпечує менший НС або більш раннє надходження до $(x_{\text{к}}, y_{\text{к}})$.

Наприклад, шлях пересилання пошти

В (4,1) (Д+0, 20⁰⁰) – ГПМ 7 – ТВ (4,6) (Д+2, 02⁰⁰ – Д+2, 20⁰⁰) – ВПМ 12 – В (1,6) (Д+3, 14⁰⁰)

забезпечує НС Д+4; натомість ШПП

В (4,1) (Д+0, 20⁰⁰) – ВПМ 2 – ТВ (1,1) (Д+1, 14⁰⁰ – Д+1, 20⁰⁰) – ГПМ 1 – В (1,6) (Д+3, 02⁰⁰)

— НС Д+3; отже, обрано ШПП через ТВ (1,1); так само ШПП

В (1,3) (Д+1, 14⁰⁰) – ГПМ 2 – ТВ (1,1) (Д+2, 02⁰⁰ – Д+2, 20⁰⁰) – ВПМ 1 – В (3,1) (Д+3, 08⁰⁰)

забезпечує НС Д+3; що ж до ШПП

В (1,3) (Д+0, 20⁰⁰) – ВПМ 5 – ТВ (3,3) (Д+2, 08⁰⁰ – Д+2, 14⁰⁰) – ГПМ 6 – В (3,1) (Д+3, 02⁰⁰),

то він також забезпечує НС Д+3, але з більш пізнім надходженням до вузла (3,1).

Проаналізуємо наведені в табл. 1 НС пересилання ПО за допомогою $8 + 4 = 12$ двосторонніх ($16 + 8 = 24$ односторонніх) РПМ і порівняємо їх із НС пересилання ПО за допомогою РВПМ, що з'єднують ОЦ України з Києвом в існуючій СМПП. Серед НС пересилання ПО між усіма 552 парами обласних вузлів, наведених у табл. 1, 87 НС = 1; 310 НС = 2; 155 НС = 3, а середній НС пересилання ПО (математичне сподівання) становить $(87 \cdot 1 + 310 \cdot 2 + 155 \cdot 3) / 552 = 2,123$ дні, тоді як в існуючій СМПП за допомогою 23 двосторонніх (46 односторонніх) РВПМ, що з'єднують обласні вузли між собою через Київ, установлений НС пересилання ПО становить 3 дні. Отже, завдяки застосуванню РПМ кількість ПМ скорочується в $46/24 = 1,917$ раза, а НС пересилання ПО — в $3/2,123 = 1,413$ раза, і це при тому, що норматив часу надходження ПМ до обласних вузлів, за яким забезпечується доставляння ПО в день надходження ПМ, зменшено з 10^{00} до 08^{00} . Більш того, застосування РПМ забезпечує незрівнянно вищу живучість МПЗ у надзвичайних ситуаціях за рахунок можливості створення величезної кількості обхідних шляхів перевезення ПО між обласними вузлами України.

Незалежно від виду СМПП, значення показників ТКМ визначаються як

$$\text{ТКМ} = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m p_{ij} l_{ij},$$

де p_{ij} і l_{ij} — значення відповідно міжвузлових потоків і міжвузлових відстаней між відповідними парами вузлів СМПП.

Для спрощення розрахунків прийнято $p_{ij} = 1$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; j \neq i$). За розрахункову одиницю протяжності ПМ взято відстань між двома сусідніми вузлами, тобто відстань між двома заданими вузлами з координатами $(x_{\text{п}}, y_{\text{п}})$ і $(x_{\text{к}}, y_{\text{к}})$ вимірюється кількістю ділянок ПМ, що входять у шляхи пересилання ПО між цими вузлами.

Розподіл значень ТКМ між парами вузлів СМПП наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розподіл значень ТКМ між парами вузлів СМПП

Значення ТКМ	1	2	3	4	5	6	7	8	Усього
Кількість пар вузлів СМПП	76	116	124	104	72	40	16	4	552

Середнє значення (математичне сподівання) показника ТКМ

$$\text{ТКМ}_{\text{ср}} = (76 \cdot 1 + 116 \cdot 2 + 124 \cdot 3 + 104 \cdot 4 + 72 \cdot 5 + 40 \cdot 6 + 16 \cdot 7 + 4 \cdot 8) / 552 = 3,333;$$

сумарне його значення

$$\text{ТКМ}_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m l_{ij} = 522 \quad \text{ТКМ}_{\text{ср}} = 1840.$$

Ураховуючи, що фактична відстань між сусідніми вузлами СМПП становить близько 250 км, знаходимо фактичне значення ТКМ між двома довільними вузлами: $3,333 \cdot 250 = 833,25$; далі обчислюємо фактичне значення сумарного ТКМ, що дорівнює $1840 \cdot 250 = 460\,000$.

В існуючій СМПП загальна кількість односторонніх РВПМ, що з'єднують 23 ОЦ із Києвом, дорівнює 46, а середня протяжність одного одностороннього ПМ, тобто середня відстань між ОЦ і Києвом, становить 435 км. Кожним із цих ПМ у кожному напрямі перевозиться по 23 ПП (по одному ПП від даного ОЦ до кожного з решти 23 ОЦ на прямому ПМ і по одному ПП від кожного з решти 23 ОЦ до даного ОЦ на зворотному ПМ). Звідси сумарне значення ТКМ в існуючій СМПП дорівнює $46 \cdot 23 \cdot 435 = 460\,230$, тобто практично збігається зі значенням сумарного ТКМ у СМПП із використанням РПМ.

Проблеми живучості мереж поштового зв'язку з решітчастими поштовими маршрутами

Живучість — одна з найважливіших властивостей МПЗ, яка визначає можливість функціонування МПЗ за умов виникнення надзвичайних ситуацій.

До надзвичайних ситуацій належать природні (повені, підтоплення, землетруси, ожеледиці, снігопади, зсуви) та техногенні (радіоактивне забруднення, викиди горючих, отруйних та вибухових речовин, аварії, катастрофи) катаклізми, навмисні дії (перекриття шляхів демонстрантами та страйкарями, терористичні акти), реконструкція і ремонт шляхів, ДТП, «завали» ОПЗ, зумовлені несвоєчасним вивезенням із них поштових посилок, які безсистемно укладаються в багаторядні штабелі, що займають усі основні та допоміжні приміщення, унеможлиблюючи доступ до окремих посилок, а отже, їх оброблення та відправлення.

Як впливає з наведених далі міркувань, найвищою живучістю характеризуються МПЗ із РПМ.

Основними методами підвищення живучості МПЗ із РПМ виступають:

- відновлення ОПЗ;
- відновлення РПМ;
- відновлення ШПП.

Відновлення ОПЗ передбачає введення в дію законсервованих резервних ОПЗ, використання мобільних і пересувних ОПЗ, передавання зон обслуговування ушкоджених ОПЗ розташованим поблизу неушкодженим ОПЗ (наприклад, Миколаїв — Херсон, Рівне — Луцьк, Дніпро — Запоріжжя), застосування авіатранспорту для перевезень пошти.

Відновлення РПМ передбачає створення обхідних напрямів перевезення пошти, наприклад заміну перевезення пошти на ушкодженій ділянці горизонтального РПМ обхідними шляхами зверху чи знизу (рис. 2, а), або заміну перевезення пошти на ушкодженій ділянці вертикального РПМ обхідними шляхами ліворуч чи праворуч (рис. 2, б).

Відновлення РПМ доцільно проводити при ушкодженні незначної частини РПМ.

Відновлення ШПП передбачає аналіз усіх можливих шляхів з'єднання визначених вузлів МПЗ між собою і пошук серед них неушкоджених шляхів.

Відновлення ШПП доцільно проводити при ушкодженні значної частини РПМ.

Можливість з'єднання всіх вузлів МПЗ навіть при повному вилученні *трьох із чотирьох горизонтальних* або *п'яти з шести вертикальних* РПМ ілюструє рис. 3, а і 3, б.

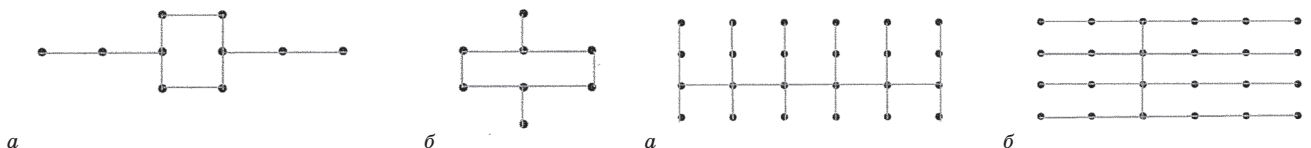


Рис. 2. Приклади створення обхідних РПМ

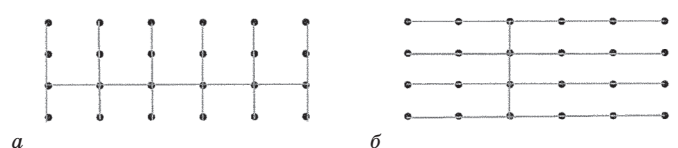


Рис. 3. Ілюстрації можливості з'єднання вузлів МПЗ при ушкодженні значної частини РПМ

Живучість МПЗ тісно пов'язана з поняттям *розрізу графа* МПЗ — ненадмірного переліку його ребер, вилучення яких, скажімо через їх ушкодження, поділяє його на два не зв'язані між собою підграфи.

Сформулюємо три твердження стосовно поняття розрізу графа.

Твердження 1. Кожне з ушкоджених ребер, які потрапили в розріз графа, належить обом підграфам розрізаного графа.

Твердження 2. Межі підграфів розрізаних графів у місцях їх розрізів проходять по їхніх ушкоджених ребрах.

Твердження 3. Наявність ушкоджених ребер, які не відповідають твердженням 1 і 2, свідчить про надмірність переліку ушкоджених ребер графа, а через це такий перелік не може розглядатися як сукупність ребер, що становить розріз графа.

Оскільки існуючу МПЗ побудовано за радіально-вузловим принципом і з міркувань зменшення витрат на перевезення пошти виконано у вигляді графа-дерева, то вилучення будь-якого ребра цього

графа поділяє його на два не зв'язані між собою підграфи, а отже, структурна живучість такої МПЗ мінімальна.

При застосуванні кільцевих поштових маршрутів (КПМ) для перевезень пошти поділ графа МПЗ на два не зв'язані між собою підграфи потребує вилучення двох ребер у одному кільці, а отже, структурна живучість такої МПЗ значно вища.

При застосуванні РПМ для перевезень пошти кількість ребер, які необхідно вилучити для поділу графа МПЗ на два не зв'язані між собою підграфи, залежить від місць розташування відповідних вузлів МПЗ.

Слід особливо наголосити, що з'єднання вузлів МПЗ при ушкодженні значної частини РПМ відбувається не за рахунок уведення нових РПМ, а за рахунок використання існуючих РПМ, тобто за рахунок структурної надмірності існуючих МПЗ із РПМ. До того ж загальна кількість РПМ (4 горизонтальні і 6 вертикальних) значно менша, ніж сумарна кількість поштових маршрутів в існуючій МПЗ (23 поштові маршрути, що з'єднують обласні центри України з Києвом, і 13 поштових маршрутів, що з'єднують їх з регіональними сортувальними центрами).

Пов'яжемо ймовірності ушкодження МПЗ з імовірностями ушкодження відповідних ребер.

Згідно з відомою схемою Бернуллі, якщо при проведенні n незалежних випробувань імовірність p події A постійна, то ймовірність того, що подія A відбудеться рівно k разів, подається виразом

$$P_{k,n} = C_n^k p^k (1-p)^{n-k},$$

де $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ — кількість сполучень з n по k , що визначає сумарну кількість випадків появи k подій A в процесі проведення n незалежних випробувань.

Увівши змінну i , що набуває значень від одиниці до k ($i = 1, 2, \dots, k$), дістанемо сумарну ймовірність ушкодження МПЗ, обчислену за схемою Бернуллі:

$$P_{\Sigma,n} = \sum_{i=1}^k C_n^i p^i (1-p)^{n-i}.$$

Утім серед ушкоджень МПЗ слід ураховувати лише ті, за яких відповідний граф поділяється на два не зв'язані між собою підграфи, а тому кількість відповідних сполучень

$$B_n^k \ll C_n^k.$$

Так, $C_n^1 = C_{24}^1 = 24$, тоді як $B_{24}^1 = 0$ (ушкодження одного ребра не призводить до ушкодження МПЗ із РПМ);

$C_n^2 = C_{24}^2 = 276$, тоді як $B_{24}^2 = 8$, коли ушкоджено такі ребра:

(1,1) – (1,2), (1,1) – (2,1); (4,1) – (3,1), (4,1) – (4,2);
(4,6) – (4,5), (4,6) – (3,6); (1,6) – (2,6), (1,6) – (1,5);

$C_n^3 = C_{24}^3 = 2024$, тоді як $B_{24}^3 = 60$, коли ушкоджено такі ребра:

(1,2) – (1,1), (1,2) – (2,2), (1,2) – (1,3); (1,3) – (1,2), (1,3) – (2,3), (1,3) – (1,4);
(1,4) – (1,3), (1,4) – (2,4), (1,4) – (1,5); (1,5) – (1,4), (1,5) – (2,5), (1,5) – (1,6);
(4,2) – (4,1), (4,2) – (3,2), (4,2) – (4,3); (4,3) – (4,2), (4,3) – (3,3), (4,3) – (4,4);
(4,4) – (4,3), (4,4) – (3,4), (4,4) – (4,5); (4,5) – (4,4), (4,5) – (3,5), (4,5) – (4,6);
(2,1) – (1,1), (2,1) – (2,2), (2,1) – (3,1); (3,1) – (2,1), (3,1) – (3,2), (3,1) – (4,1);
(2,6) – (1,6), (2,6) – (2,5), (2,6) – (3,6); (3,6) – (2,6), (3,6) – (3,5), (3,6) – (4,6);
(1,1) – (2,1), (1,2) – (2,2), (1,2) – (1,3); (1,1) – (1,2), (2,1) – (2,2), (2,1) – (3,1);
(3,1) – (2,1), (3,1) – (3,2), (4,1) – (4,2); (4,1) – (3,1), (4,2) – (3,2), (4,2) – (4,3);
(4,5) – (4,4), (4,5) – (3,5), (4,6) – (3,6); (3,6) – (2,6), (3,6) – (3,5), (4,6) – (4,5);
(2,6) – (3,6), (2,6) – (2,5), (1,6) – (1,5); (1,6) – (2,6), (1,5) – (2,5), (1,5) – (1,4).

Розглянемо докладніше можливості відновлення ШПП на прикладі ШПП найбільшої протяжності між вузлами (1, 1) (верхній лівий) і (4, 6) (нижній правий).

Зазначимо, що загальна кількість ШПП між двома довільними вузлами з початковими координатами (x_{Π}, y_{Π}) і кінцевими координатами (x_K, y_K) визначається згідно зі співвідношенням

$$C_{x+y}^x = C_{x+y}^y,$$

де $x = |x_K - x_{\Pi}|$, $y = |y_K - y_{\Pi}|$.

У розглядуваному прикладі

$$x = |4 - 1| = 3, y = |6 - 1| = 5,$$

$$C_{x+y}^x = C_{x+y}^y = C_8^3 = C_8^5 = 56.$$

Для аналізу ШПП скористаємось ілюстраціями, наведеними на рис. 4.

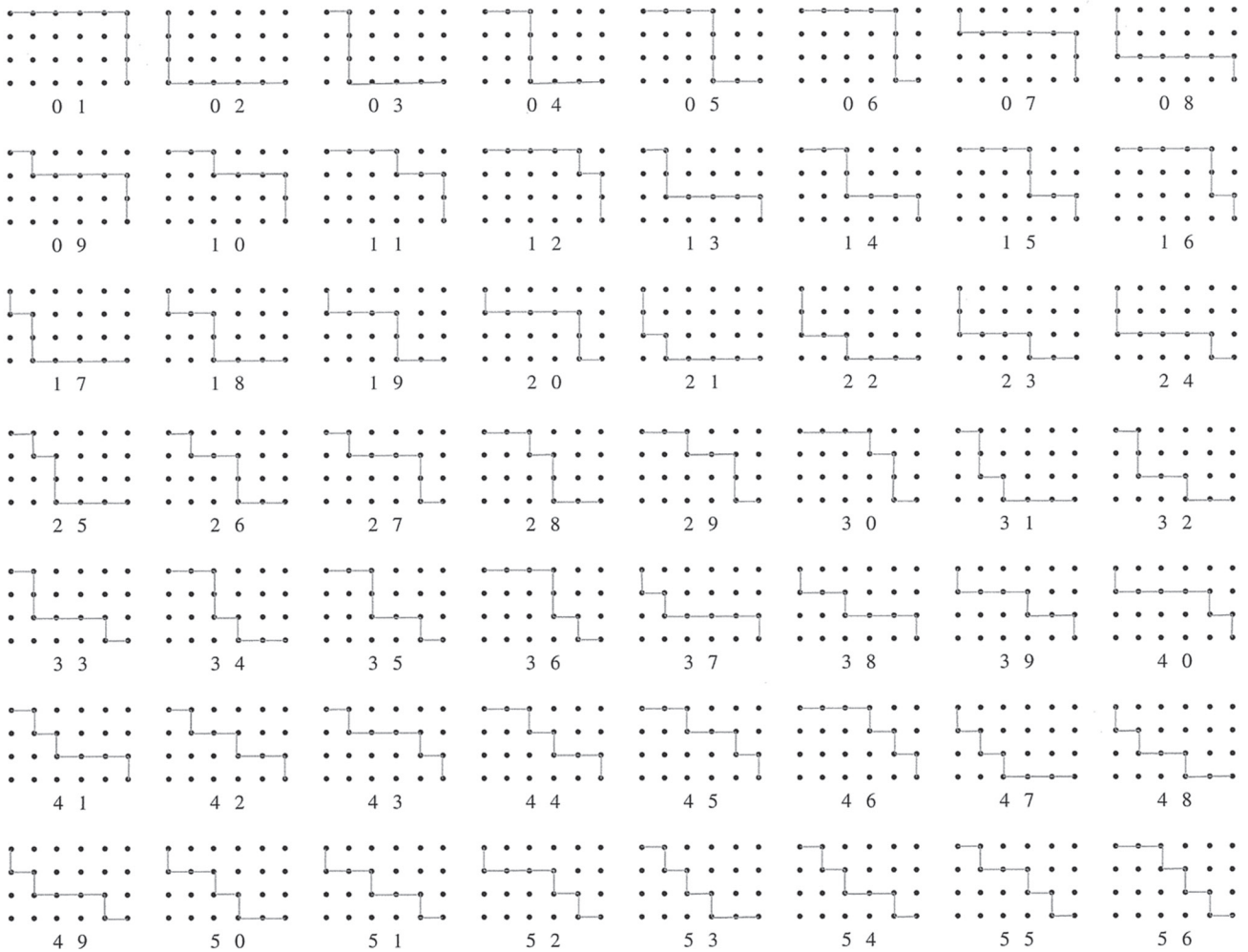


Рис. 4. Ілюстрації ШПП між вузлами (1, 1) і (4, 6)

Основні техніко-економічні показники СМПП із РВПМ, КПМ і РПМ подано в табл. 4. При розрахунку кількості поштових автомобілів (ПА) враховано щоденне курсування ПМ; добовий пробіг ПА — не більш ніж 1 000 км; розподіл ОЦ по зонах СМПП із РВПМ (4 ОЦ близької зони по 1 ПА, 16 ОЦ середньої зони — по 2 ПА, 3 ОЦ далекої зони — по 3 ПА); 6 ПМ одного напрямку (12 ПМ зустрічних напрямів) у СМПП із КПМ; 4 ПА на кожному ГПМ і 2 ПА на кожному ВПМ у СМПП із РПМ.

Таблиця 4

Техніко-економічні показники СМПП

Показник	РВПМ	КПМ	РПМ
Структура СМПП	46 ПМ, що з'єднують ОЦ між собою через Київ	Сукупність кількох КПМ	Решітка 6 × 4 РПМ
Протяжність ПМ, км	$46 \cdot 435 = 100\,010$	1 КПМ — $1 \cdot 6\,000 \cdot 6 = 36\,000$ 2 КПМ — $2 \cdot 3\,000 \cdot 3 = 18\,000$ 3 КПМ — $3 \cdot 2\,000 \cdot 2 = 12\,000$	$6 \cdot 1\,500 \cdot 2 + 4 \cdot 2\,500 \cdot 4 = 28\,000$
Кількість ПА без урахування ТО і ремонту, од.	$4 \cdot 1 + 16 \cdot 2 + 3 \cdot 3 = 45$	6 (в односторонніх), 12 (у двосторонніх) КПМ	$6 \cdot 2 + 4 \cdot 4 = 28$
НС пересилання ПО	Д + 3, Д + 2	1 КПМ — Д + 6 (Д + 3) 2 КПМ — Д + 6 (Д + 3) 3 КПМ — Д + 4 (Д + 2)	Д + 3, Д + 2, Д + 1
Живучість СМПП	Мінімальна	Низька	Висока

Висновки

1. СМПП із РПМ мають істотні переваги порівняно зі схемами на базі РВПМ і КПМ за живучістю і НС пересилання ПО, і мають проміжні характеристики за протяжністю ПМ і необхідною кількістю ПА.

2. Застосування РПМ для магістральних перевезень пошти найдоцільніше на територіях компактного розташування ОЦ.

3. На відміну від СМПП із РВПМ і КПМ, в яких необхідна живучість забезпечується за рахунок уведення додаткових ПМ, у схемах із РПМ необхідна живучість досягається за рахунок структурної надмірності самих цих схем.

4. Маючи високу структурну надмірність, СМПП із РПМ продовжують функціонувати навіть у разі виходу з ладу $m - 1$ з m ВПМ або $n - 1$ з n ГПМ.

5. У СМПП із РПМ забезпечується пересилання ПО прямими маршрутами або маршрутами з одним перевантаженням.

Рецензент: доктор техн. наук, професор **О. В. Барабаш**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Л. Е. Ящук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕШЕЧАТЫХ ПОЧТОВЫХ МАРШРУТОВ — ПУТЬ К РАДИКАЛЬНОМУ ПОВЫШЕНИЮ ЖИВУЧЕСТИ СЕТИ ПОЧТОВОЙ СВЯЗИ УКРАИНЫ

Рассмотрены преимущества использования магистральных почтовых маршрутов (ПМ) в виде прямоугольных решеток, позволяющих существенно повысить живучесть сети почтовой связи (СПС), сократить общее количество и общую протяженность ПМ.

Ключевые слова: СПС, живучесть СПС; объекты почтовой связи (ОПС); ПМ; горизонтальные ПМ (ГПМ); вертикальные ПМ (ВПМ); схема магистральных перевозок почты (СМПП); почтовые единицы (ПЕ); почтовые потоки (ПП); транзитные узлы (ТУ); нормативные сроки (НС) пересылки ПЕ; показатели тонно-километров (ТКМ) пересылки ПЕ; пути пересылки почты (ППП); восстановление ОПС; восстановление РПМ; восстановление ППП.

L. O. Yashchuk

USE OF GRATING MAIL ROUTES — THE WAY TO A RADICAL INCREASE IN THE SURVIVABILITY OF THE UKRAINIAN POSTAL NETWORK

The problems of using the main postal routes (PR) in the form of rectangular, which allow to significantly increase the survivability of the postal communication network (PCN), reduce the total number and total length of the PR.

Keywords: PCN; survivability of PCN; PR; horizontal PR (HPR); vertical PR (VPR); main mail transport scheme (MMTS); postal units (PU); postal flows (PF); transit nodes (TN); normative terms (NT) of forwarding PU; indicators of tonna-kilometers (TKM) forwarding PU; mail forwarding routes (MFR); restoration of PCO; restoration of GPR; restoration of TPR.

УДК 004.055

Ю. В. МЕЛЬНИК, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник;

К. П. СТОРЧАК, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Побудова узагальненої нейромережної моделі ієрархічного управління мережею зв'язку

Визначено узагальнену математичну модель ієрархічного управління, а також модель об'єкта контролю і діагностики в разі нечітких умов щодо впливів і управління.

Ключові слова: критерії управління; модель управління; нечітка множина; система контролю; мережа зв'язку.

Вступ

Математичний аналіз реального явища, процесу чи системи починається з побудови відповідної математичної моделі. Дедалі зростаюча складність сучасних об'єктів дослідження та їх унікальність унеможливають явне відстеження причинно-наслідкових зв'язків у пізнавальному плані, що змушує дослідника при виборі або побудові математичної моделі діяти за умов невизначеності, яка виникає через неповноту вихідних даних (знань) [1].

Для усунення цих труднощів американський математик Л. А. Заде ввів нове математичне поняття — **нечітка множина** як узагальнення поняття звичайної множини [2; 3]. На відміну від традиційної математики та математичної логіки, що на кожному кроці моделювання вимагає точних і однознач-

© Ю. В. Мельник, К. П. Сторчак, 2017