

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

На правах рукопису

Луханін Микола Іванович

УДК 656.222.3

**МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ
КОРИДОРІВ НА БАЗІ ПОШИРЕНИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ**

Спеціальність 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація

на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник
доктор технічних наук
Загарій Г.І.

Харків, 2003

ЗМІСТ

Дисертація	1
ЗМІСТ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ І МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Стан залізничних перевезень у Європі, США, Японії та Росії	10
1.2. Реструктуризація і нові технології на залізницях (на прикладі Європи)	15
1.3. Стан ПП на залізницях України	20
1.4. Обґрунтування методу моделювання процесу перевезень на залізницях	23
1.5. Обґрунтування критерію оптимізації при моделюванні на основі мереж Петрі	31
1.6. Постановка задачі дослідження	41
Висновки	43
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ.....	45
2.1. Технологічні особливості ПП	45
2.2. Аналіз застосування мереж Петрі	49
2.3. Опис математичного апарату мереж Петрі	51
2.4. Розробка технологічної мови для моделювання ПП	64
2.5. Побудова програми моделювання	76
Висновки	83
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ НА МОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ	84
3.1. Загальні положення і визначення	84

	3
3.2. Побудова макромоделі ТК	87
3.3. Моделювання перевезень на залізницях України	90
3.4. Розробка моделі транспортного коридору	108
3.5 Розробка моделі багатоканального транспортного коридору.....	117
Висновки.....	120
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА	
ОСНОВІ ПММП	122
4.1. Евристичний (гіпотетичний) транспортний коридор.....	122
4.2. Дослідження моделі спрощеного ТК	126
4.3. Спрощена модель сортувальної станції	130
4.4. Задача автоматичного розвантаження бункерів сипучих матеріалів	133
4.5. Модель дозатора.....	138
Висновки.....	140
ВИСНОВКИ	142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	144
Додаток А.....	154
Програма Winpet*	154
Додаток Б.....
Акт впровадження
Додаток В.....	164
Акт впровадження	164
Додаток Г
Акт впровадження

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЗТ – залізничний транспорт

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа

МП – мережа Петрі

ПЕОМ – персональна обчислювальна машина

ПММП – поширена мова мереж Петрі

ПП – процес перевезень по залізницях

ТК – транспортний коридор

УЗ – залізниці України

i – позиція графа Петрі, запам'ятовує (зберігає), приймає та видає мітки

j – перехід графа Петрі, може бути у закритому чи відкритому стані

m_i – мітка (ресурс) мережі Петрі

I – множина позиції графа Петрі

J – множина переходів графа Петрі

$^+k(i, j)$ – цілочисельна вага транспортної дуги, що виходить з позиції

$^+k(j, i)$ – цілочисельна вага транспортної дуги, що виходить з переходу

$^-k(j, i)$ – цілочисельна вага стримуючої дуги

$^0k(i, j), ^0k(j, i)$ – нульова вага конвеєрної дуги

$K(i, j)$ – число транспортних дуг, що входять у перехід

$K(j, i)$ – число транспортних дуг, що входять у позицію

M_1 – масив вхідних у переходи дуг

M_2 – масив вихідних з переходів дуг

$M_{i,0}$ – вектор початкової розмітки позицій

M' – вектор позицій, що розглядаються

ВСТУП

У сучасних умовах процес перевезень (ПП) на залізницях України (УЗ) є складним логіко-динамічним об'єктом.

Керування перевезеннями вимагає маршрутизації потоків вантажів, удосконалення експлуатації, раціональної організації залізничних транспортних коридорів (ТК), а значить - скоординованої роботи всіх підприємств і ділянок. Ці задачі повинні вирішуватися на основі прогнозування спланованого раціональним чином ПП. Ефективним засобом вирішення цих задач є побудова математичних моделей ПП у поєднанні з використанням нових інформаційних технологій, бо існуючі технології не відображають: просторової розподіленості ПП; експлуатаційних особливостей УЗ; комп'ютерного представлення цих процесів у динаміці.

Актуальність теми. Значне місце у системі перевезень на УЗ займають ТК, які створюються на основі рішення країн Європейської співдружності про розвиток і розширення мережі міжнародних ТК (з виходом на Балтійське і Чорне моря, а також на країни Азії і Кавказу).

На період 1998 – 2005 рр. прийнята Постанова Кабінету Міністрів України №346 від 20.03.98 р. "Про затвердження програми створення і функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні". Через Україну повинні проходити три "критських коридори" і три коридори Європейської співдружності.

Створення ТК, крім рішення технологічних задач реалізації відповідної будівлі шляху і підтримки підвищених швидкостей руху поїздів, вимагає удосконалення технології роботи при обслуговуванні поїздів. Отже, перед УЗ стоїть задача удосконалення ПП із максимальним задоволенням вимог клієнтів щодо перевезень пасажирів і вантажів з урахуванням нових ринкових економічних умов. Нова інформаційна технологія, що розроблена у дисертації, сприяє здійсненню цього.

Роботи зі створення і дослідження моделей ПП ведуться з кінця 60-х років минулого сторіччя. Суттєвий внесок в розробку різних методів моделювання зробили вчені: Бутько Т.В., Бусленко Н.П., Бобровський В.І., Глушков В.М., Грунтов П.С., Єфіменко Ю.І., Жуковицький І.В., Маміконов А.Г., Михалевич В.С., Нагорний Є.В., Негрей В.Я., Пітерсон Дж., Цвиркун А.Д., Шафіт Є.М. та ін. За цей час вчені створили різні моделі, але ці моделі зорієнтовані на вирішення окремих задач перевезень, побудовані на різних методах і не націлені на вирішення задачі дослідження перевезень по ТК.

Таким чином, з огляду на вище викладене, а також на те, що в Україні відсутня статистична інформація, що характеризує ПП по ТК, для підвищення ефективності експлуатації УЗ **актуальною** є задача удосконалення перевезень, яка може бути вирішена тільки на основі використання сучасних інформаційних технологій, моделювання перевезень і їхнього прогнозування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі "Автоматики і комп'ютерні системи управління" УкрДАЗТ у рамках прийнятих комплексних цільових програм і концепцій: Реструктуризації залізничного транспорту України (затверджена Міністерством транспорту України 18.06.1997 р., протокол №14); Підвищення безпеки руху на залізницях України в 1997 – 2001 рр. (Постанова Кабінету Міністрів України від 22.04.1997 р. №367); Створення і функціонування національної мережі транспортних коридорів України (Постанова Кабінету Міністрів України від 04.08.1997 р. №821), а також у відповідності до НДР, що виконувалися на кафедрі: "Оптимізація алгоритмів управління агрегатами" (№ 0100U000821- 00); "Розробка технічної структури підсистеми автоматичного знімання інформації" (№ NDP0103U000760).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертації є моделювання залізничних транспортних коридорів на базі поширених мереж Петрі, яке адекватно відбиває ПП на залізничних ТК при скороченні часу моделювання та витрат обчислювального ресурсу.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі **задачі**:

- Виконати аналіз стану ПП на УЗ на підставі використання вітчизняного і закордонного досвіду.
- Розробити технологічну мову моделювання ТК на основі аналізу теорії і практики застосування математичного апарату мереж Петрі.
- Формалізувати описання моделей ТК на основі узагальнених мереж Петрі шляхом їх поширення, що дозволяє моделювати ТК на залізницях при скороченні витрат часу і зменшенні обчислювального ресурсу.
- Виконати моделювання і верифікацію перевезень по ТК України на основі поширених мереж Петрі з метою прогнозування і прийняття ефективних управлінських рішень для удосконалення технології роботи УЗ та раціональної організації вагонопотоків.
- Провести комп'ютерне моделювання ТК з використанням отриманих нових теоретичних результатів, яке потребує участі тільки кінцевого користувача - технолога без програмістів.

Об'єкт дослідження – процес перевезень на залізницях України.

Предмет дослідження – моделі процесу перевезень, виконані на основі використання географічного опису залізниць України.

Метод дослідження – теорія графів, математичний апарат дводольних мереж Петрі, поширений автором для моделювання процесу перевезень по залізничних транспортних коридорах з урахуванням його технологічних особливостей і динаміки.

Наукова новизна отриманих результатів, полягає у тому, що:

- Удосконалено технологію моделювання експлуатаційних характеристик ПП на основі використання узагальненого класу математичного апарату мереж Петрі, який поширено для реалізації особливостей ТК на УЗ. Вперше: для моделювання затримок часу розроблено структурну модель обслуговування; деяким дугам надано властивість конвеєрності; всім стримуючим дугам надано властивість мати вагу ≥ 1 .

- Вперше розроблено технологічну мову моделювання ТК на основі поширення мереж Петрі, що дозволило враховувати близький до географічного принцип описання Уз, існуючі та перспективні ПП на залізницях. При цьому збільшуються відображуючі можливості моделювання як у статичному описі, так і у динаміці із завданням потрібної кількості тактів роботи моделі.
- Доопрацьовано списковий метод введення інформації, зрозумілий технологам, бо він використовує описання мережі Петрі у трьох термінах: "звідки" (позиція чи перехід), "куди" (перехід чи позиція), "з вагою" (нульовою або цілочисельною зі знаком плюс чи мінус).
- Запропоновано критерій оптимізації, що забезпечує скорочення витрат часу і ресурсів на здійснення моделювання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вони представляють наукові, методичні та прикладні основи для побудови якісно нової методології моделювання ПП на Уз.

Розробка нової технологічної мови моделювання на основі поширення МП, введеного автором, дає змогу значно зменшити обсяг даних, необхідних для опису технологічних процесів, спростити процедуру введення інформації, необхідної для моделювання, скоротити час моделювання та відобразити процеси у динаміці.

Використання результатів дисертації особливо важливе при моделюванні складних ситуації, які виникають у ПП.

Розроблені в дисертації наукові положення і результати використані при створенні автоматизованої інформаційно-довідкової системи про стан ПП по ТК та інших ділянках Уз: в інформаційно-довідковій підсистемі на Одеській залізниці (акт впровадження від 07.11.2002 р.); в динамічній моделі підсистеми контролю і прогнозування ПП на Південно-Західній залізниці (акт впровадження від 20.12.2002 р.); в навчальному процесі УкрДАЗТ при курсовому і дипломному проектуванні.

Особистий внесок автора. Усі положення і результати, що виносяться на захист, зроблені автором самостійно. В наукових працях, які опубліковані автором у співавторстві, йому належать: формулювання задачі дослідження локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) як складової частини системи управління ПП [16]; розробка вимог до моделі системи [17]; використання методу декомпозиції для побудови графивої моделі [33]; узагальнення математичного апарату мереж Петрі з метою обґрунтування напрямків їх поширення [65]; розробка структури ТК та математичний опис моделі [38]; основи використання розробленої в інших роботах методики для моделювання технологічних процесів [39]; формулювання задачі подальшого удосконалення моделей з використанням сучасних інформаційних технологій [13].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися й одержали схвалення на: 13 - 15-й міжнародних школах-семінарах "Перспективні системи керування на залізничному, промисловому і міському транспорті" (м. Алушта, 2000 - 2002 рр.); 63-й і 64-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту і фахівців залізничного транспорту (м. Харків, 2001 р., 2002 р.); 2-й міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми інформатики і моделювання" (м. Харків, 2002 р.); розширених засіданнях кафедри АКСУ УкрДАЗТ.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано вісім статей у наукових виданнях, затверджених ВАК України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (112 найменувань) і 4 додатків. Робота містить 112 сторінок основного тексту, 31 рисунок, 55 таблиць, додатки на 11 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ І МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

У цьому розділі проаналізований стан залізничних перевезень у розвинутих країнах Європи, США, Японії і Росії.

Керування перевезеннями на залізницях України (УЗ) дотепер в основному будується на основі АСУ ЗТ, основні ідеї і положення якої були реалізовані ще в колишньому СРСР [68, 74, 76]. В умовах ринкових відносин, що народжуються, спаду обсягу перевезень, росту обсягу інформації, підвищення вимог до якості перевезень вимагаються принципово нові підходи до керування залізничним транспортом (ЗТ). Необхідне обґрунтування, розробка і удосконалення методів і технологій для організації міжнародних та інших перевезень пасажирів та вантажів.

Тому нижче розглянута задача моделювання ПП на ЗТ України й обґрунтований критерій оптимізації, який дає змогу скоротити час моделювання, з метою удосконалення технології роботи та раціональної організації вагопотоків на мережі залізниць.

1.1. Стан залізничних перевезень у Європі, США, Японії та Росії

У ведучих країнах Західної Європи і США в 1995-2000 р. показники вантажних перевезень перевершили прогнози. Майже по усіх видах вантажів відзначався ріст обсягів перевезень приблизно на 10%. Наприклад, 1995р. характеризувався як ростом обсягів перевезень, так і доходів. Перевезення вугілля і сталі зросли відповідно на 19.7% і 17.9%, а автомобілів - на 10%. У міжнародних перевезеннях, на які у даний час приходиться 45% усіх вантажних перевезень, обсяг однорідних перевезень збільшився на 13%, а змішаних - на 24% [48, 70, 72].

Успішно розвиваються змішані перевезення, які здійснюються, наприклад, залізничним і автомобільним транспортом. Тому західні країни інвестують розвиток вузлових станцій і збільшують кількість потягів для змішаних перевезень.

У Європі активно розвиваються міждержавні зв'язки, створюються міжнародні транспортні коридори (ТК). Завдяки чому перевезення в міждержавних напрямках ростуть у 2-3 рази швидше, ніж у внутрішніх [98, 99, 105].

Наприклад, на транспіренейському напрямку обсяг змішаних перевезень зріс на 22%, а традиційних повагонних відправлень - на 33%.

За 1995-2000 рр. обсяг вантажних перевезень зріс на 5%. Плановані капітальні вкладення не враховували реальну ситуацію, а орієнтувалися на помилкові прогнози різкого росту пасажирських перевезень.

Розвиток на ЗТ Європейських країн йде по шляху масштабної реструктуризації, що включає диверсифікованість в межах діяльності, що доповнюють перевезення [56, 59, 112].

Дані по перевезеннях у Німеччині в порівнянні з великими залізницями ряду європейських країн показані на рис. 1.1. У Німеччині за роки проведення реформ з початку 90-х років 20-го століття досягнуті помітні результати. Чисельність службовців скорочена з 331 тис. чоловік у 1994 р. до 214 тис. у 2001 р., при цьому продуктивність праці більш, ніж подвоїлася.

Вантажні перевезення на ЗТ США з 1994 р. ростуть приблизно на 3% у рік. Сумарний вантажообіг США перевищує обсяг перевезень усіх залізниць Європи в 5 разів (1700 млрд. ткм). Ріст перевезень за три останніх роки склав 8.5%, що втричі перевищило прогнози.

За останні 10 років 20-го століття зростання змішаних перевезень складало 14.5% з перспективою подвоєння вантажообігу до 2010 р. [15, 28, 45, 89].

Досвід вантажних перевезень у Північній Америці не може бути безпосередньо перенесений на Європу, але позитивні результати, що досягнуті великими американськими залізницями, заслуговують на увагу.

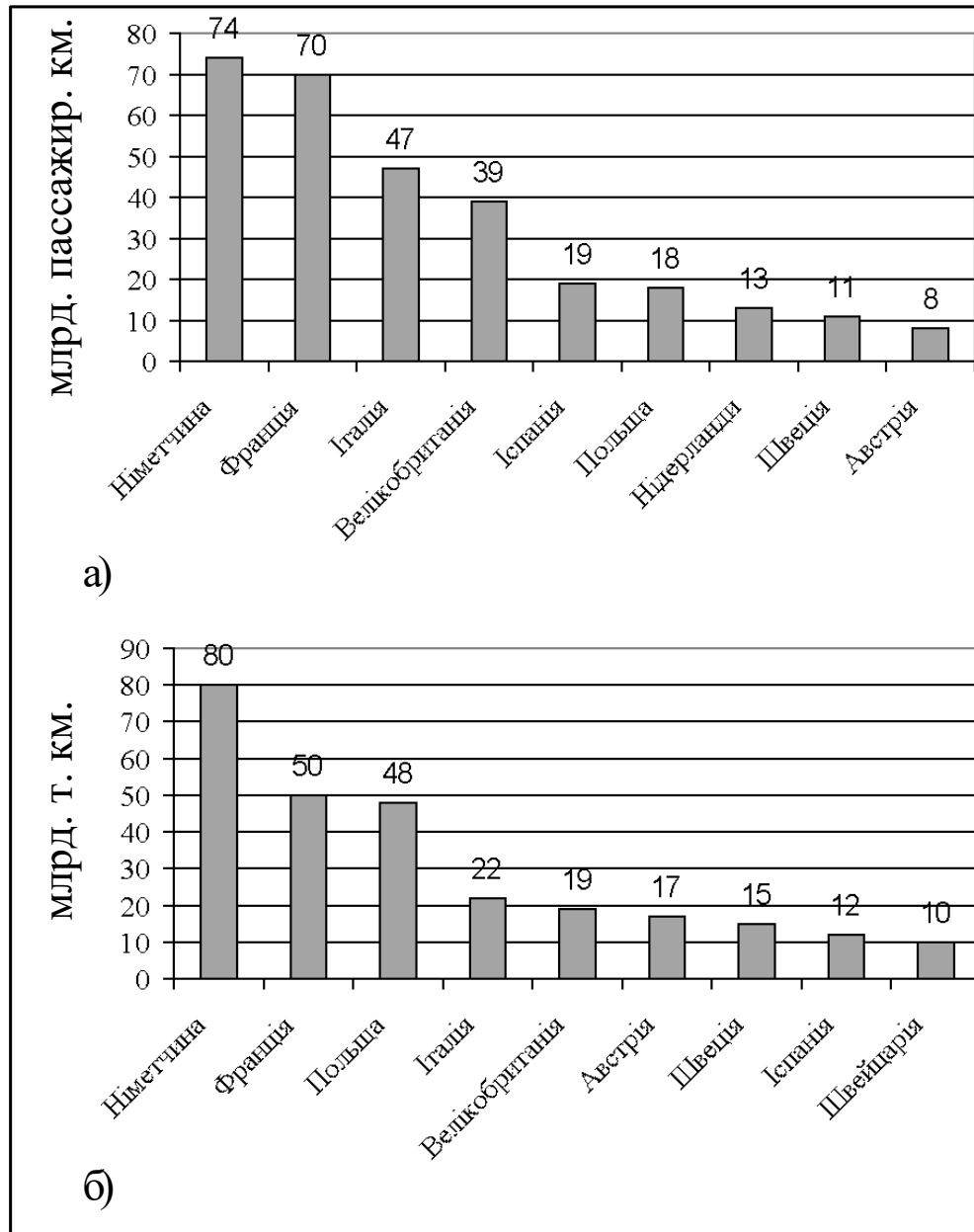


Рис. 1.1. Вантажо- і пасажирообігу великих залізниць Європи

Розглядаючи діяльність ЗТ 22 європейських країн, включаючи Латвію і республіки колишньої СФРЮ (без країн СНД), за 1995-2000 рр., можна підвести деякі підсумки [7]. Аналіз цієї діяльності дозволяє привести діаграму (рис 1.2), побудовану нами за статистичними даними, що наводяться в періодичній літературі. Поряд з погіршенням кількісних показників роботи ЗТ країн СНД погіршилися і якісні показники. За 1995 р. продуктивність праці залізничників країн СНД зменшилася на 6.6%, у той же час у Західній Європі

ріст продуктивності праці склав 10.3%. Однак в абсолютних цифрах, продуктивність праці на залізницях країн СНД залишається помітно більш високою, ніж у країнах Західної Європи (846 тис. і 385 тис. приведених ткм/люд. відповідно), що пояснюється набагато більшою дальністю перевезень і перевагою частки вантажних перевезень над пасажирськими (84 і 16% відповідно для країн СНД проти 47 і 53% у Західній Європі).

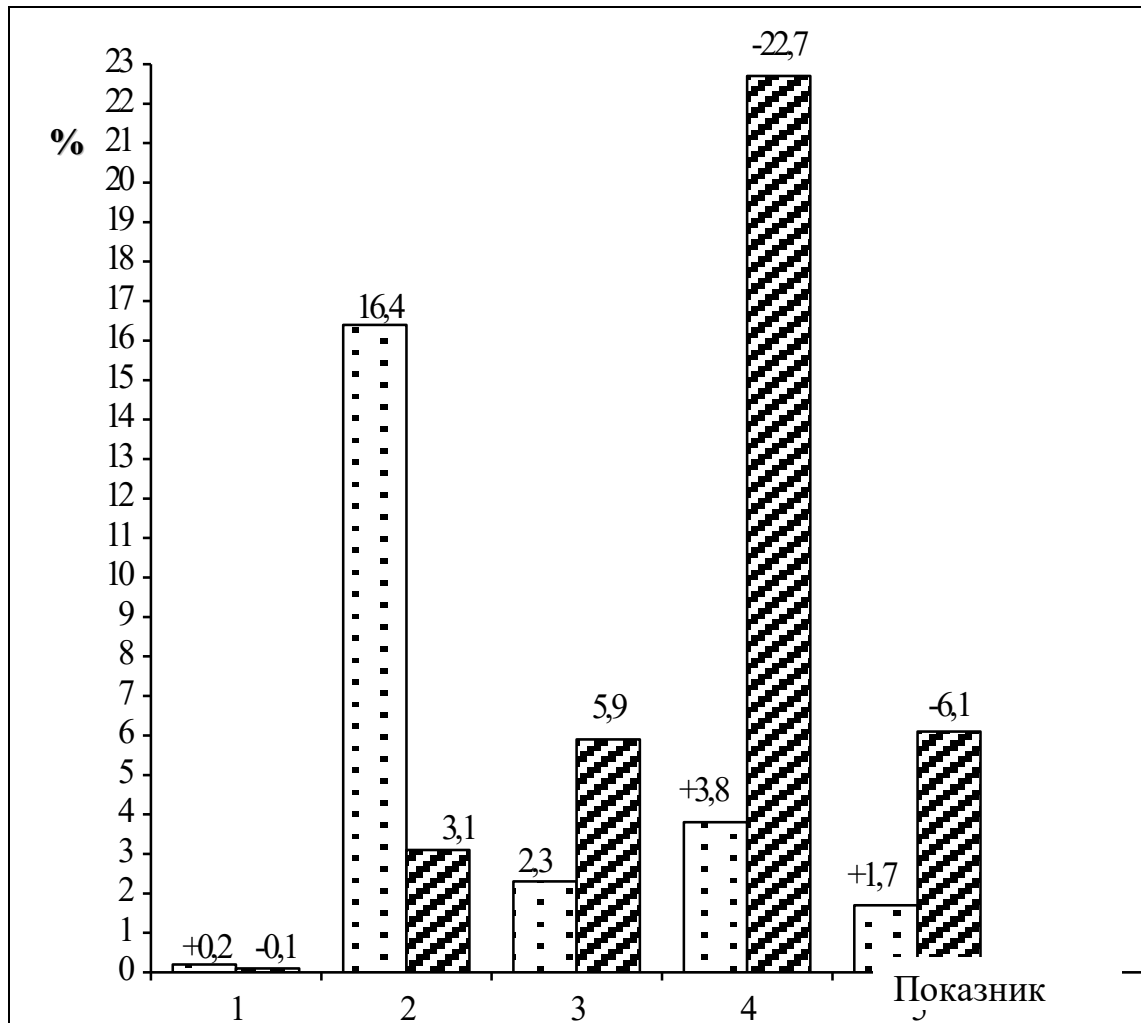


Рис. 1.2. Показники діяльності залізниць Європи і країн СНД за період 1995-2000 рр. Тут: 1 - збільшення (+) і зменшення (-) довжини залізниць; 2 - зменшення чисельності працюючих; 3 - зниження обсягу пасажирських перевезень; 4 - ріст (+) і зниження (-) обсягу вантажних перевезень (по кількості вантажу); 5 - збільшення (+) і зменшення (-) середньої дальності пасажирських і вантажних перевезень

До того ж вихідна продуктивність праці на ЗТ західноєвропейських країн була порівняно невисокою, що обумовило досить швидке її відносне збільшення. Крім того, і в країнах СНД помітна тенденція переходу від перевезень масових, але дешевих вантажів на великі відстані, до перевезень малооб'ємних, але більш коштовних вантажів на менші відстані з підвищенням якості обслуговування (фірмове транспортне обслуговування - ФТО) [25, 27, 29], що поряд з абсолютним зменшенням валової продуктивності праці поліпшує економічні показники.

У випадку успішного здійснення економічної реформи в країнах СНД спад у роботі їх ЗТ буде зупинений і вони здатні поступово вийти на західноєвропейський рівень транспортних послуг.

Основним напрямком науково-технічного прогресу на ЗТ є використання новітніх інформаційних технологій (обчислювальної техніки і телекомунікації), а також удосконалення ПП для підвищення якості обслуговування клієнтів.

Показовий приклад надає Японія [66, 112], де сучасна обчислювальна техніка і телекомунікації використовуються для моніторингу стану всього ПП, діагностики стану техніки (шлях, рухомий склад, СЦБ, енергопостачання і т.п.).

Операторам постійно видається інформація, що дозволяє вчасно запобігати збоєм у роботі устаткування і швидко відновлювати його працездатність. Ця інформація може бути використана для оптимізації планово-попереджувального технічного обслуговування і ремонту устаткування і шляху. Наприклад, впроваджені системи цілодобового автоматичного спостереження за рівнями напруги і струму перетворювачів частоти і параметрами пристроїв електропривода стрілочних переводів.

У Росії з 1992 по 2000 роки обсяг перевезених вантажів скоротився приблизно в 1.9 рази, кількість перевезених пасажирів впала у 1.85 рази. Прогнозується збільшення в 2003 р. обсягів навантаження і кількості перевезених пасажирів приблизно на 5% у порівнянні з 1998 р. (рис. 1.3).

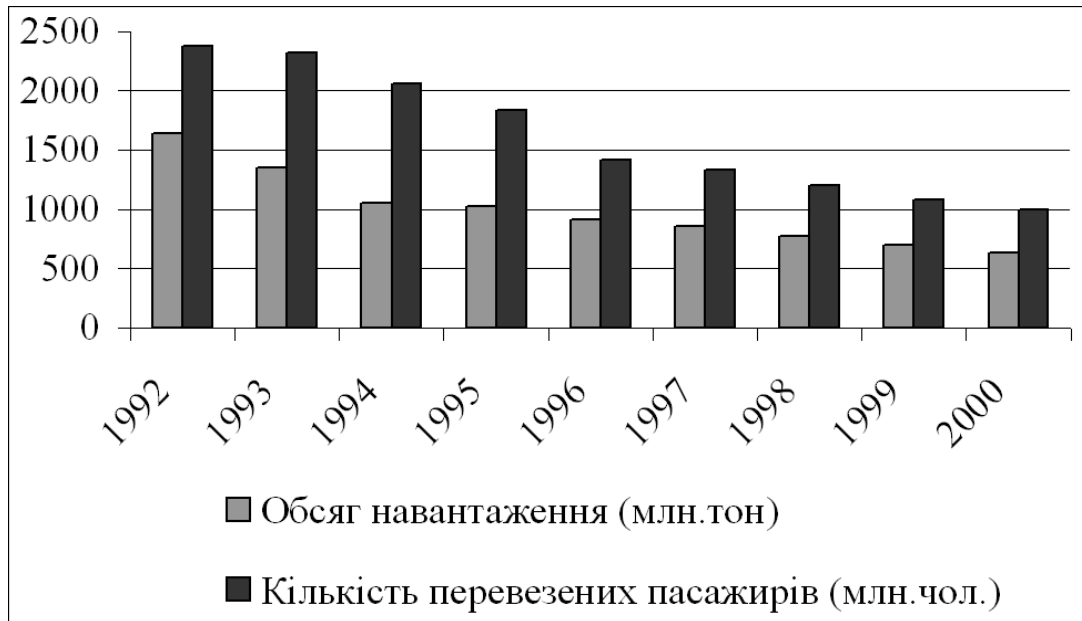


Рис. 1.3. Основні показники роботи мережі залізниць Росії

1.2. Реструктуризація і нові технології на залізницях (на прикладі Європи)

Для підвищення якості обслуговування клієнтів Міжнародний союз залізниць (МСЗ) уживає заходів для забезпечення сумісності мереж і систем передачі й обробки даних, використовуваних на залізницях європейських країн [10]. Ключову роль у цьому будуть грати нові технології в галузі зв'язку й інформатики.

Якість обслуговування клієнтів і економічних результатів експлуатаційної діяльності залізниць все більше визначаються наявністю і ступенем використання інформації. Під впливом швидкого технічного прогресу залізниці почали досліджувати і впроваджувати нові технічні й організаційні заходи для підвищення якості обслуговування клієнтів.

Для рішення цих задач Європейський інститут досліджень з ЗТ (ERR1) висунув "Програму розвитку комунікаційних і інформаційних технологій для гармонізації залізниць Європи" (CITNER), основні характеристики якої наведені в табл. 1.1 [90, 91].

Таблиця 1.1 - Програма CITHER гармонізації систем обробки і передачі даних

Цілі програми	Шляхи удосконалювання міжнародних залізничних сполучень	Функціональні вимоги	Технічні можливості й архітектура	Вартість розробки й ефективність
<ul style="list-style-type: none"> • Забезпечення якості обслуговування вимог клієнтів • Забезпечення доступу до користування послугами ЗТ • Посилення позицій ЗТ на транспортному ринку • Підвищення рівня безпеки на європейських З • Виключення обмежень на перетинання кордонів 	<ul style="list-style-type: none"> • Задоволення потреб пасажирів до, під час і після поїздки • Задоволення відправників вантажу і вантажоодержувачів до, під час і після перевезення • Задоволення потреб інших сторін, що мають відношення до перевезень • Вироблення системних технічних вимог, які б відповідали потребам клієнтів і власників інфраструктури 	<ul style="list-style-type: none"> • Єдиний підхід до вироблення політики, спрямованої на створення загальної обчислювальної і телекомунікаційної мережі • Потреби пасажирів: попередня інформація, зв'язок під час поїздки, резервування місць і продаж квитків, інформація на станціях, позазалізничне обслуговування • Потреби відправників вантажу: місцезнаходження й очікуваний час прибуття вантажів, супровідна документація, фінансова інформація • Маршрутний менеджмент • Інші експлуатаційні вимоги 	<ul style="list-style-type: none"> • Оцінка наявних і знову впроваджуваних засобів і технологій • Політика, що рекомендується, в області загальних обчислювальних мереж • Політика, що рекомендується, в області мобільності транспорту • Політика, що рекомендується, в області перерозподілу інформації 	<ul style="list-style-type: none"> • Тривалість робіт - 4 роки (1995 - 1998 р.) <ul style="list-style-type: none"> - НДР - 1 рік - ДКР - 3 роки • Орієнтовані витрати на НДР - 2 млн. еку, ДКР - 8 млн. еку • Ефективність буде забезпечена: <ul style="list-style-type: none"> - використанням переваг різних проектів, розроблювальних окремими країнами; - використанням загальних баз даних і стандартизованих технічних і програмних засобів

Ця система розроблена таким чином, що у 21 столітті вона буде забезпечувати:

- проведення телеконференцій, організацію спільної роботи віддалених один від одного користувачів;
- передачу й обробку текстової і файлової інформації, нерухомих і рухомих зображень, звуку, факсимільного зв'язку, телеметрії;
- адаптацію інформації до інтерфейсного зв'язку;
- створення баз даних для прогнозування перспективних видів обслуговування;
- керування мережами (адміністративне керування, визначення сплати за користування і т.п.)
- адаптацію до варіантів користування (число і місцезнаходження користувачів, типи станцій, обсяги інформації, технічні засоби й ін.)
- гнучкість при введенні в експлуатацію (шляхи перерозподілу інформації, зв'язок між ЛВС користувачів чи їхніми терміналами, об'єднання існуючих і створюваних на перспективу мереж і ЛОМ [61, 110]).

Програма СІТНЕР реалізована консорціумом, до складу якого входили промислові підприємства, науково-дослідницькі центри, університети і з боку ЗТ Європейський інститут досліджень з ЗТ. Ресурси, необхідні для розробки, були виділені інституту, що розподіляв їх відповідно до пайової участі розроблювачів.

Ця система вбирає в себе всі досягнення по відстеженню місцезнаходження поїздів і вагонів, а також останні результати в області ідентифікації рухомих одиниць. Будуть оптимально регулюватися парк рухомого складу з обмеженням недовантажених і порожніх пробігів, а також організоване технічне обслуговування по фактичному пробігу і т.п. Крім того, будуть формуватися дані зовнішнім клієнтам з відстеженням місцезнаходження навантажених вагонів чи вагонів, що знаходяться у приватному володінні.

ПП супроводжується циркуляцією значного числа паперових документів між покупцями, постачальниками, транспортними організаціями, обслуговуючими фірмами, банками, адміністраціями в тому числі залізниць. Загальна вартість обробки таких документів складає, за оцінками експертів, до 8% вартості перевезених вантажів. Ці документи містять різноманітну інформацію (ціни, контракти, платіжні і транспортні доручення, операції обліку і звітності і т.п.).

Число партнерів, яким необхідна інформація, і складність процесу обміну даними зростають у міру росту дальності транспортування вантажів. Кордони є додатковою перешкодою в ланцюжку обробки й обміну даними.

Для ефективного використання інформації вона заноситься до різних документів.

Процес складання документів і занесення даних у стандартні форми є дуже коштовним. Крім того, паперові документи можуть передаватися в непередбачені моменти часу, затримуючи потоки вантажів.

Більше того, можливе погіршення ситуації через наступні фактори:

- ріст обсягів адміністративних формальностей через інтернаціоналізацію процесу виробництва продукції і розширення обмінів між країнами;
- вимагаються більш точні дані на різних етапах процесу перевезень, тому що ринки здобувають глобальні масштаби;
- для промисловості усе більшого значення набуває метод роботи "точно в термін", що підвищує вимоги до транспортування і підсилює необхідність твердого контролю над операціями логіки.

Перераховані особливості вимагають застосування нових методів передачі даних (швидкодіючих і надійних), заснованих на стандартних протоколах обміну інформацією. Для підвищення вірогідності необхідно контролювати передачу й обробку інформації. Тому в західноєвропейських країнах, США і Японії на базі комп'ютерних мереж організований стандартизований процес обміну інформацією між обчислювальними комплексами різних підприємств,

поєднуваних у локальних обчислювальних мережах (ЛОМ). Для рішення цієї задачі розроблені стандарти [10,92] і реалізовані глобальні і локальні обчислювальні мережі зі стандартними протоколами обміну інформацією.

До 2003 р. очікується ріст обсягу вантажних перевезень у країнах ЄС. Планується збільшення частки змішаних перевезень. З цією метою в Білій книзі ЄС сформульована загальноєвропейська стратегія в перевезеннях і особливо підкреслена необхідність створення технології для змішаних перевезень транспортної мережі, не замкненої в національних кордонах.

Рекомендаціями ЄС №91/440 сформульовані єдині принципи реалізації змішаних перевезень:

- роздільний облік витрат на розвиток і зміст інфраструктури і функції експлуатації;
- надання більшої комерційної і підприємницької самостійності учасникам перевезень;
- забезпечення доступу до інфраструктури з іншим компаніям з метою створення конкуренції в змішаних сполученнях.

Для рішення проблем змішаних повідомлень і їхньої ефективною реалізації потрібно використання системного підходу.

Для аналізу ПП у змішаних перевезеннях необхідно врахувати взаємозв'язки між учасниками перевезень з одержанням необхідної і достовірної інформації. З цією метою комунікаційний ланцюжок зв'язків у змішаних сполученнях поставив вимогу введення нових понять [88, 89, 90]:

tracking¹ - систематичне спостереження і реєстрація місця розташування і стану вантажів, транспортних засобів і рухомого складу;

tracing - запит, виявлення і відображення на моделі процесу транспортування (переміщення) вантажів, транспортних засобів і рухомого складу.

Отже, можна зробити висновок, що системи інтегрованого збору й об-

* Введені європейським стандартом CEN TC 237 WGE (№69) [92]

робки інформації можуть підвищити продуктивність і якість перевезень і тільки при наявності таких систем змішані перевезення можуть скласти конкуренцію, наприклад, автомобільним перевезенням.

Сучасні системи інтегрованої обробки даних для змішаних перевезень повинні будуватися на автоматичному зборі і реєстрації даних по ідентифікації і дислокації рухомого складу і вантажних місць; прогнозуванні (моделюванні) транспортних потоків; широкому використанні електронного документообігу; застосуванні розподілених телекомунікацій з використанням швидких каналів; а також продуктивної обчислювальної техніки при забезпеченні високої якості обслуговування.

1.3. Стан ПП на залізницях України

Поточний період часу, що відповідає реформуванню економіки України і включенню її в систему міжнародних господарських зв'язків, ставить перед ЗТ складніші задачі. Основною метою цих задач є адаптація ЗТ до умов ринкових перетворень і задоволення зростаючих вимог до якості й ефективності залізничних перевезень. В Україні створені залізничні транспортні коридори (ТК) [55], які входять до міжнародної мережі.

У цих умовах виживання УЗ і накопичення потенціалу для її ефективного функціонування в 21 столітті неможливо без реструктуризації [76, 77]. При цьому керування рухом поїздів повинно супроводжуватися плануванням роботи всієї галузі на основі системного підходу, удосконалення інфраструктури, використанням оптимальних методів ведення інтегрованого технологічного ПП. **Це можливо реалізувати тільки на основі використання моделювання ПП.**

Мережа УЗ сформувалася кілька десятиліть назад у рамках єдиної залізничної мережі колишнього СРСР [58, 78]. Сучасний стан перевезень на З України вимагає періодичної оцінки інфраструктури з метою її оптимізації. З

урахуванням необхідності виконання перевезень з мінімальними витратами і максимально високою якістю задача оптимізації повинна вирішуватися періодично з досить малим періодом.

Орієнтація на такий підхід характерна для різних проектів, наприклад, CIR-ELKE (Проект з підвищення пропускної спроможності залізниць Німеччини) [72, 88]. У Німеччині ж розроблена моделююча система PgoLop для вирішення широкого кола задач - від контролю проектів будівництва ділянок і вузлових станцій до розрахунку прибутковості ліній.

Комплексне використання нових інформаційних технологій [30, 36, 50, 54], обчислювальної техніки [4, 10], засобів телекомунікацій [54, 81] і моделювання [6, 8, 67] є єдино можливим напрямком розвитку й удосконалення ЗТ [73, 74].

Утворення на території колишнього СРСР ряду нових незалежних держав поставило перед ЗТ України нові проблеми. При цьому поряд із уже вирішеними задачами по керуванню ПП потрібна реалізація наступних нових функцій:

- створення електронного документообігу по спільному використанню розділеного між країнами СНД парку вантажних вагонів;
- облік переходів вагонів через межі незалежних держав;
- упровадження механізму взаємних розрахунків за користування вагонами;
- перехід до спільного використання контейнерного парку;
- упровадження моделі функціонування системи перевезень з урахуванням повагонного підходу;
- прогнозування всіх боків розвитку галузі;
- створення і упровадження фірмового транспортного обслуговування клієнтів;
- розробка перспективних планів розвитку галузі з урахуванням створення нової техніки, швидкісних перевезень пасажирів і вантажів, забезпе-

чення вимог екології і безпеки.

Рішення перерахованих задач вимагає створення корпоративної інформаційно-керуючої системи Укрзалізниці (ИУС УЗ) на основі загальносистемних принципів інформатизації [76].

Як відомо, у роки існування СРСР була розроблена і впроваджена Комплексна автоматизована система керування ЗТ (АСУ ЗТ) [74, 78]. Ця система вирішувала ряд невідкладних задач керування ЗТ і була першою чергою великого цільового проекту в СРСР.

Умови роботи УЗ, що змінилися, вимагають подальшого розвитку системи. Потрібно зберегти ефективно функціонуючі підсистеми (АСОУП, ИОУД, АСУСС і ін.) і перейти до створення другої черги АСУЗТ в умовах незалежної України і позитивного досвіду інтеграції перевезень у СРСР, до якого прагнуть розвинуті країни Заходу.

Функціонування ЗТ передбачає тісну взаємодію виробника і споживача. Це можливо забезпечити тільки за допомогою ефективно інформаційно-довідкової підсистеми, що забезпечує інформацією виробників, відправників вантажів, експедиційні служби, різні підрозділи ЗТ, складське господарство, банки, адміністрації й ін.

Система повинна забезпечувати високу якість транспортних послуг: надійність, продуктивність, спеціалізацію, безпеку, менеджмент і документування. Документування повинно здійснюватися на основі електронних технологій з використанням перспективних засобів обчислювальної техніки і телекомунікацій. За допомогою уніфікованих інтерфейсів повинна забезпечуватися передача інформації, що потрібна для планування, керування, моделювання і контролю. Усе перелічене буде сприяти удосконаленню ПП на ЗТ України. Основні функціональні задачі, розв'язувані при цьому, показані на рис. 1.4. Як видно, особливе місце займають **задачі моделювання процесу перевезень.**



Рис. 1.4. Основні функціональні задачі удосконалення ПП

1.4. Обґрунтування методу моделювання процесу перевезень на залізницях

Умови роботи ЗТ у сучасних умовах, що викликані переходом до ринкових відносин, вимагають формування нових принципів керування на основі комплексних маркетингових досліджень [29, 30]. Для ЗТ це визначає необхідність надання замовникам перевезень таких умов транспортування вантажів, що дозволили б клієнтам усталити своє положення на ринку й одержати прибутки для розширеного відтворення. Реалізація цієї мети є найважливішою вимогою для реструктуризації галузі ЗТ. Цій задачі, що заснована на

принципах логістики, маркетингу і моделювання, сприяє створення центрів фірмового транспортного обслуговування вантажовласників на ЗТ.

Світовий досвід показує, що конкуренція ЗТ з іншими видами транспорту за залучення нових вантажопотоків змушує ЗТ безупинно поліпшувати транспортне обслуговування вантажовласників, підвищувати рівень сервісу, розширювати перелік послуг.

Очевидно, що для прийняття об'єктивних управлінських рішень необхідна достовірна і всеосяжна інформація про стан ПП. Одержати таку інформацію без використання нових інформаційних технологій і перспективних корпоративних інформаційно-керуючих систем, реалізованих на сучасних засобах обчислювальної техніки і телекомунікацій, неможливо [10, 54, 58].

У ринкових умовах виникає необхідність узгодження технічних, організаційних, експлуатаційних і фінансово-економічних питань, що характеризують ПП, з урахуванням взаємодії всіх учасників.

При цьому для задоволення зростаючих вимог клієнтів до якості перевезень їм необхідно надавати високу якість послуг, що забезпечує конкурентоздатність ЗТ. З одного боку, важливо забезпечити високу якість перевезень з метою задоволення вимог клієнтів, а з іншого - діставати прибуток, необхідний для існування і розвитку ЗТ.

ПП на ЗТ повинен зв'язувати виробників продукції, вантажоодержувачів, експедиційні служби, підприємства, що виконують вантажні перевезення, перевалочні вузли, склади, банки, страхові фірми, адміністрацію, підприємства обслуговування (сервісу) і клієнтів - замовників перевезень і одержувачів вантажів.

При цьому такі складові якості послуг як надійність, безпека, менеджмент і документальне оформлення повинні мати високий рівень, основою якого можуть бути тільки нові інформаційні технології, що дозволяють синхронізувати процеси планування, керування і контролю з забезпеченням необхідною інформацією всіх учасників ПП.

Основною проблемою удосконалення перевезень на ЗТ є недостатні інформованість та зв'язок учасників процесу організації і надання транспортних послуг. Це призводить до зниження рівня якості послуг і не дає можливості оперативно реагувати на виникнення різних критичних ситуацій.

На відміну від прийнятих раніше методик дослідження ланцюгів перевезень [71] у сучасних умовах потрібний аналіз взаємозв'язків складових ПП, що представляють собою співставлення різних варіантів дислокації відправлення (вагона чи контейнера), одержання даних про місце розташування відправлення. При цьому замовник (клієнт, відправник вантажу, користувач терміналу чи ЗТ) ідентифікуються однозначно, а виконавець встановлюється умовно. Якісна і змістовна сторона дій останнього варіюється в залежності від рівня компетентності.

Таким чином, задача удосконалення ПП на ЗТ України являє собою комплексну проблему, що у сконцентрованому виді приведена в табл. 1.2. Як видно з цієї таблиці, одними з основних компонентів цієї проблеми є створення моделей стану ПП і розробка інформаційно-довідкової підсистеми.

Моделювання різних варіантів ПП необхідно для формування ефективних управлінських рішень на основі співставлення варіантів з використанням обраного критерію оптимізації, що дозволить реалізувати оптимальні варіанти відправлення і доставки вантажів.

Для розробки моделі ПП на ЗТ необхідно розглядати технологічний процес разом з інформаційним забезпеченням перевезень.

Останнє складається з одержання та передачі інформації про формування поїздів на сортувальних станціях, їхньої маршрутизації й організації руху по перегонах між станціями (рис.1.5) [25, 60, 97, 101, 103, 111].

Отже, необхідно мати можливість моделювання процесу переміщення поїздів з автоматичним відстеженням їхніх характеристик (наприклад, номера поїзда при його "русі" по моделі станції і перегону, витрати ресурсів, терміну перевезення і т.п.).

Таблиця 1.2 – Мета і задачі удосконалення перевезень по ТК на ЗТ України

Мета програми	Задачі, що підлягають рішенню	Шляхи реалізації	Технічне і програмне забезпечення	Очікувані результати
<ul style="list-style-type: none"> • Підвищення якості обслуговування клієнтів • Спрощення і розширення доступу клієнтів до користування послугами залізничного транспорту • Підвищення безпеки перевезень • Підвищення ефективності перевезень 	<ul style="list-style-type: none"> • Удосконалення телекомунікаційного середовища для передачі великих масивів інформації • Забезпечення всіх учасників процесу перевезень і замовників перевезень необхідною інформацією • Розробка технічних вимог до задачі моделювання процесу перевезень на ЗТ 	<ul style="list-style-type: none"> • Розробка основ безпаперової технології обробки і передачі документів • Створення корпоративної інформаційно-управляючої системи ІУС УЗ • Створення методу моделювання перевізного процесу на ЗТ України • Розробка мови моделювання процесу перевезень 	<ul style="list-style-type: none"> • Цифрові телекомунікаційні засоби і системи, включаючи Internet • Сучасні засоби обчислювальної техніки • Локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) • Програмне забезпечення мови і методу моделювання процесу перевезень по ТК України 	<ul style="list-style-type: none"> • Простота процесу моделювання, що не потребує участі програміста • Відображення при моделюванні процесу перевезень у динаміці • Скорочення часу моделювання • Економія ресурсів • Збільшення глибини прогнозування

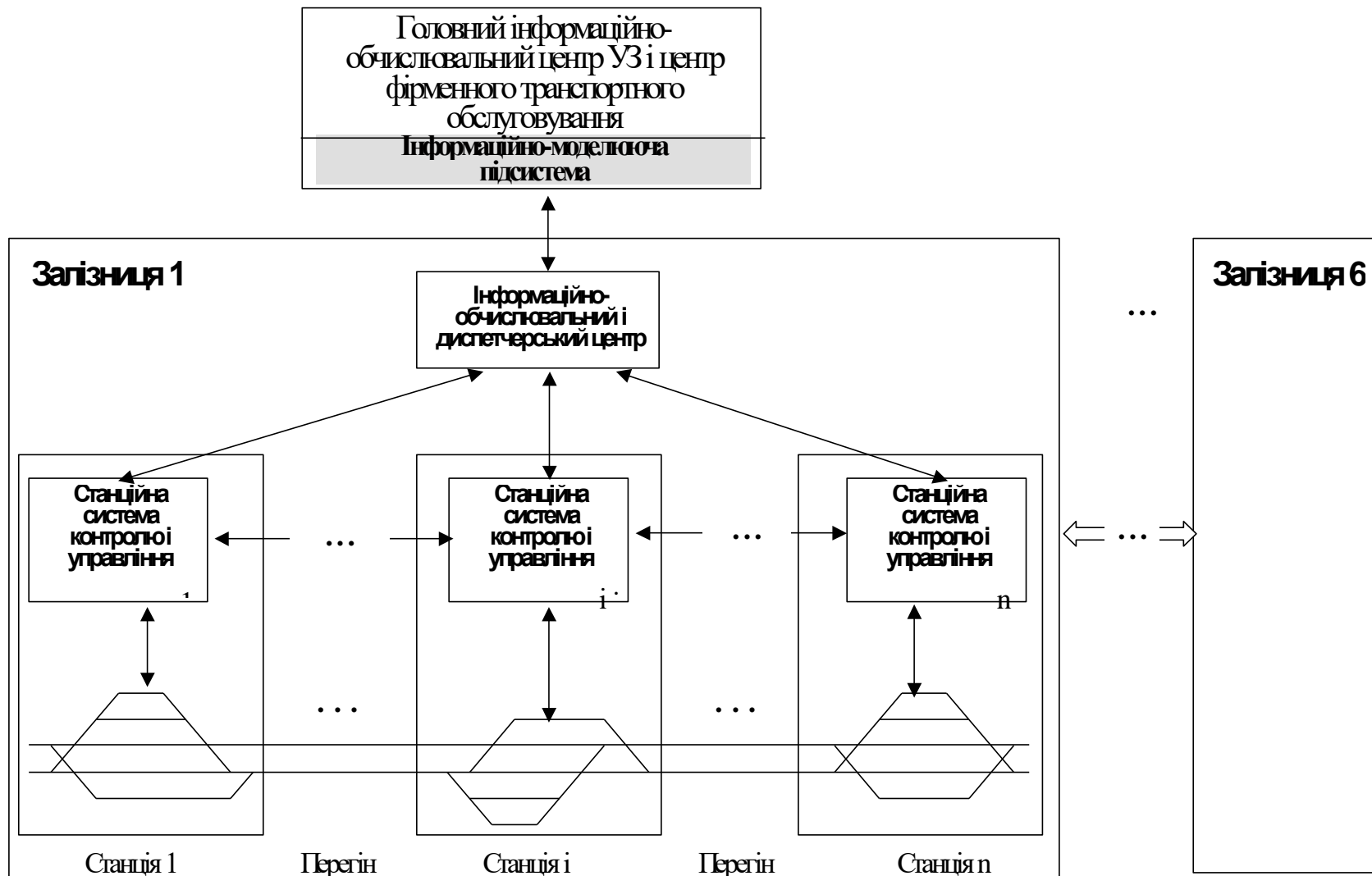


Рис. 1.5. Узагальнена структура інформаційного забезпечення системи керування руху поїздів

Відомі різні методи моделювання [8, 11, 12, 14, 31, 40, 43, 63, 67]. До них відносяться: імітаційне моделювання, теорія масового обслуговування, графічні методи. Існуючі методики моделювання ґрунтуються на використанні різних мов програмування. Це об'єктивно призводить до необхідності розподілу моделі на складові, не пов'язані з загальною мережею перевезень. Складність моделювання обумовлена і самим залізничним транспортом, складові частини якого: ділянки, станції, вузли є об'єктами великої розмірності. Вони у свою чергу складаються зі складних підсистем, що забезпечують реалізацію технологічних процесів і взаємодію підсистем у реальному масштабі часу.

Приймаючи до уваги велику розмірність системи, роблять її декомпозицію (розподіл на підсистеми меншої розмірності) [9, 33]. При цьому завжди є небезпека некоректності декомпозиції внаслідок неповного обліку факторів впливу взаємодіючих систем. Крім того, ця обставина посилюється безупинним, потоковим характером технології роботи ЗТ.

На практиці може виникати диспропорція в складових: пропускна здатність - перероблювальна спроможність взаємодіючих підсистем "станція - ділянка". На рис. 1.6 показані задачі моделювання з урахуванням декомпозиції.

Частіше інших для моделювання ПП використовується математичний апарат теорії графів, що найбільш наочно відбиває географічний принцип побудови ЗТ [22, 34, 46, 57].

Наприклад, система PROLOP [4] дозволяє моделювати економічні пасажиропотоки на основі географічного принципу і за допомогою графів одержувати дані про довжину маршрутів, тривалість поїздки. Однак графічні методи, що дозволяють промоделювати топологію ЗТ станцій і перегонів, формують тільки статичні моделі, що не враховують багато важливих параметрів ПП (витрата ресурсів, номер вагона, витрати часу на перевезення, характеристики перевезених вантажів і т.п.) [45].

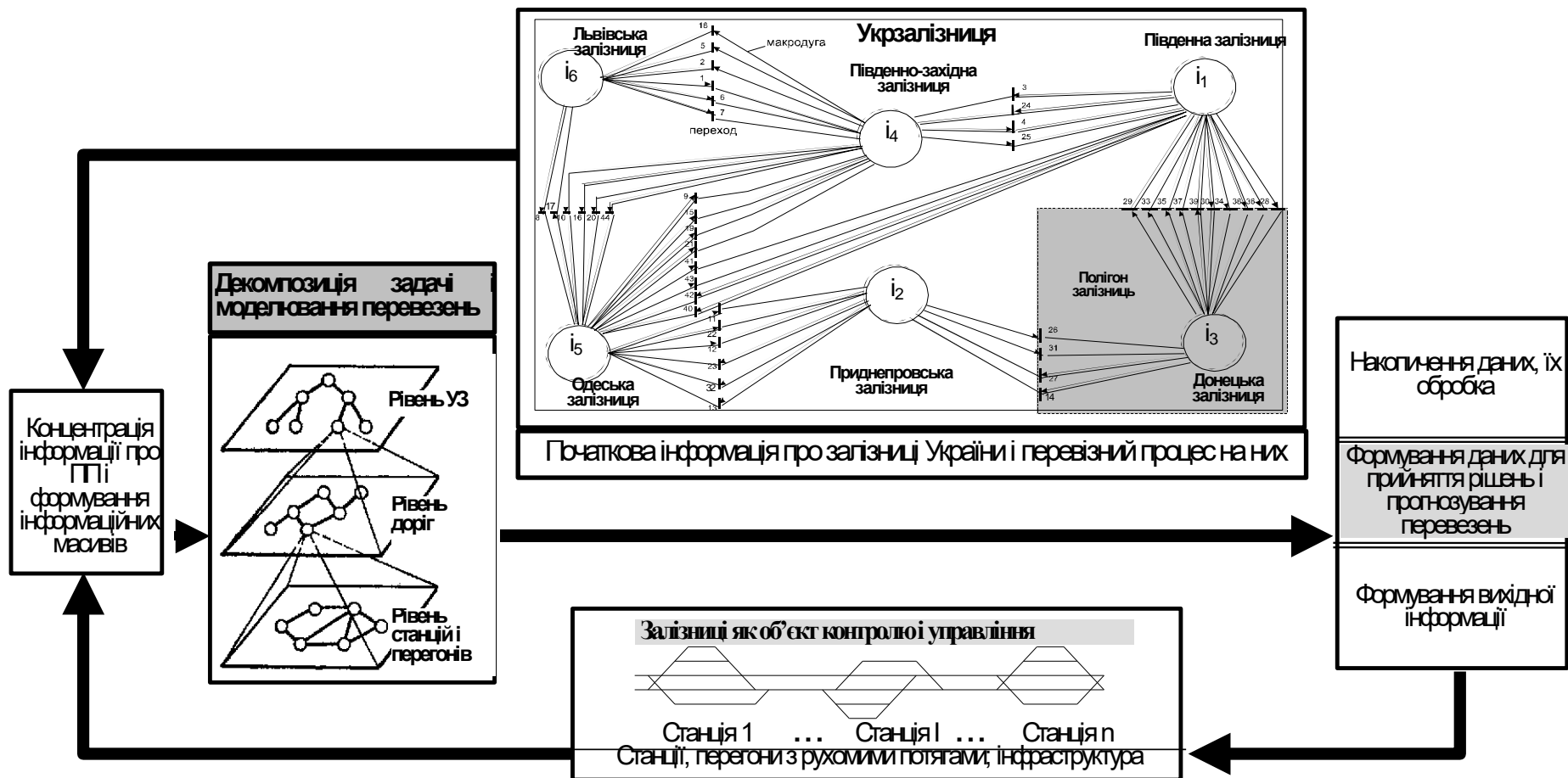


Рис. 1.6. Задачі моделювання ПП на ЗТ України

Для моделювання деяких складових ПП на ЗТ застосовується імітаційне моделювання на ПЕОМ [8]. Використовуються універсальні, процедурно-орієнтовані мови загального призначення, а також спеціалізовані мови імітаційного моделювання. Найбільше поширення одержали мови: НЕДИС, GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA.

Відзначені моделі мають ряд недоліків, до яких у першу чергу варто віднести: значне число змінних, а, отже, і станів моделі.

Так, наприклад, за даними [71] максимальне число струменів вагонопотоку може мати порядок 10^4 , а змінних X_{ij} – більш, ніж 10^{11} . Для реалізації такої моделі необхідно вводити обмеження, число яких нерідко досягає 10^3 і більше. У цих умовах модельована задача буде мати велику розмірність і її рішення ускладнене. Спроби введення спрощень у цілому не розв'язує проблеми моделювання.

Використовані при розв'язанні подібних задач методу лінійного програмування, наприклад симплекс-методу, вимагають значних витрат часу на постановку задачі й одержання цільової функції [6].

Недоліки імітаційного моделювання в основному полягають у наступному:

- складність розробки програм моделювання;
- значні витрати часу на розробку;
- складність верифікації;
- осяжність моделювання.

Виходячи з викладеного, впливають наступні задачі дослідження:

1. Вибір математичного апарату для моделювання. Він повинний бути максимально адаптований до задач ЗТ, відбиваючи динаміку ПП, мати досить ефективний і простий програмний інструментарій для реалізації моделювання з мінімальними витратами часу [18, 79, 80, 108].

2. Розв'язання питань декомпозиції моделюємої системи моделю-

вання. Обраний апарат повинен дозволяти реалізувати декомпозицію [33, 82], що повинна спиратися на специфіку ПП і максимально враховувала би технологію роботи галузі. Такий підхід дозволить найбільш ефективно використовувати результати моделювання [1, 12].

3. Розробка досконалої **мови моделювання**, що не вимагає участі програміста [47, 65].

Для розв'язання задач моделювання будемо використовувати графічний метод моделювання, заснований на математичному апараті мереж Петрі (МП) [3, 26, 41, 42, 52, 75, 95, 107], що дозволяє, з одного боку, **вирішити задачу декомпозиції**, а з іншого - **врахувати і відбити динамічний характер ПП** із рядом найважливіших його параметрів (витрата ресурсів, витрати часу, характеристики вантажів і т.п.)

Таким чином, математичний апарат МП являє собою перспективний інструмент опису і дослідження розподілених, асинхронних, динамічних не детермінованих систем, до яких повною мірою відноситься ПП на ЗТ [42, 65, 75, 87, 104].

1.5. Обґрунтування критерію оптимізації при моделюванні на основі мереж Петрі

Як впливає з рис. 1.5, ПП супроводжується передачею значних обсягів інформації між станціями і залізницями [7, 25, 27, 53, 62, 68]. В існуючих системах інформація передається й обробляється ЛОМ. ЛОМ повинні забезпечувати інформаційний обмін з метою реалізації наступних задач моделювання.

У залежності від специфіки ЛОМ, у якій розв'язуються задачі моделювання, а також від прийнятої моделі використовуються різні критерії оптимізації [21, 24, 37, 44, 47]. При організації ПП важливе значення має час прий-

няття рішення, тому що його зменшення дає можливість реагувати з достатньою оперативністю на виникаючі виробничі ситуації. У нашому випадку час прийняття рішення в найбільшій мері визначається витратами часу й обчислювального ресурсу на моделювання ПП із метою зіставлення варіантів перевезень і вибору найбільш доцільного.

При оцінці часу моделювання ПП необхідно використовувати комплексний взаємозалежний розгляд усіх факторів, що впливають на функціонування програмного комплексу, що забезпечує реалізацію моделі. Для цього використовуються різні часткові показники, що характеризують як технічні, так і програмні засоби. Серед них можна виділити наступні групи:

Q_1 - група показників оцінки ресурсів інтерфейсу ЛОМ;

Q_2 - група показників оцінки ресурсів вузлів мережі;

Q_3 - група показників оцінки тимчасових витрат системного програмного забезпечення;

Q_4 - група показників оцінки часу виконання програм моделі в середовищі ЛОМ;

Q_5 - група показників оцінки тимчасових втрат на обмін інформацією між вузлами ЛОМ.

У кожній із груп показників Q_j виберемо підмножину показників $Q_j^{(0)} (Q_j^{(0)} \subset Q_j)$, що чинять найбільший вплив на час виконання моделі, таких як швидкість каналу, частота процесору, часи обробки транзакцій прикладних програм, кількість циклів прикладних програм і т.п. Тоді кількісна оцінка для кожної групи показників Q_j визначається як

$$N_j = \sum_{i \in Q_j^{(0)}} \beta_i \cdot \frac{Z_i^{(s)}}{Z_i^{(k)}}, \quad (1.1)$$

де β_i - ваговий коефіцієнт; $Z_i^{(s)}$ - мінімальне значення обраного показника $i \in Q_j^{(0)}$, обумовлене вимогами до моделі; $Z_i^{(k)}$ - значення основного

показника $i \in Q_j^{(0)}$, обумовлене характеристиками ЛОМ.

Сформульована задача багатокритеріального вибору відповідає вибору крапки z у просторі π варійованих параметрів розглянутого програмно-технічного комплексу усередині області дозволених рішень, обмеженої гіперплощинами π_i :

$$\pi = \left\{ \pi_i(N_j) \mid N_j \leq 1, \forall j = \overline{1,5}, \forall i \in \bigcup_j Q_j^{(0)} \right\}. \quad (1.2)$$

Облік різного роду обмежень призводить до визначення підмножини P_d дозволених крапок простору кількісних оцінок P : $P_d \subset P$.

Для вибору крапки $z \in P_d$ існують різні підходи [83, 84, 96]:

- заміна багатьох критеріїв єдиним;
- ранжирування часткових підмножин критеріїв з наступною оптимізацією головного з множини критеріїв;
- послідовна оптимізація всіх критеріїв.

Однак для всіх перелічених підходів вимагаються додаткові дані:

- визначення вагових коефіцієнтів для оцінюваних параметрів;
- вибір методу ранжування і параметрів поступок по них;
- визначення послідовності оптимізації розглянутих часткових критеріїв.

Для визначення додаткових даних необхідно більш детально розглянути всі складові проектованого програмного комплексу.

Найважливішим елементом інфраструктури ПП є полігон залізниць України з "центральними" станціями доріг і прилягаючими до них "радіальними" ділянками - гілками. Наприклад, для Південної залізниці такою станцією є Харків з 9-ма парами гілок, що обслуговуються, наприклад 3-а станціями для напрямку Красноград чи 10-ма для напрямку Білопілля (рис. 1.7.)

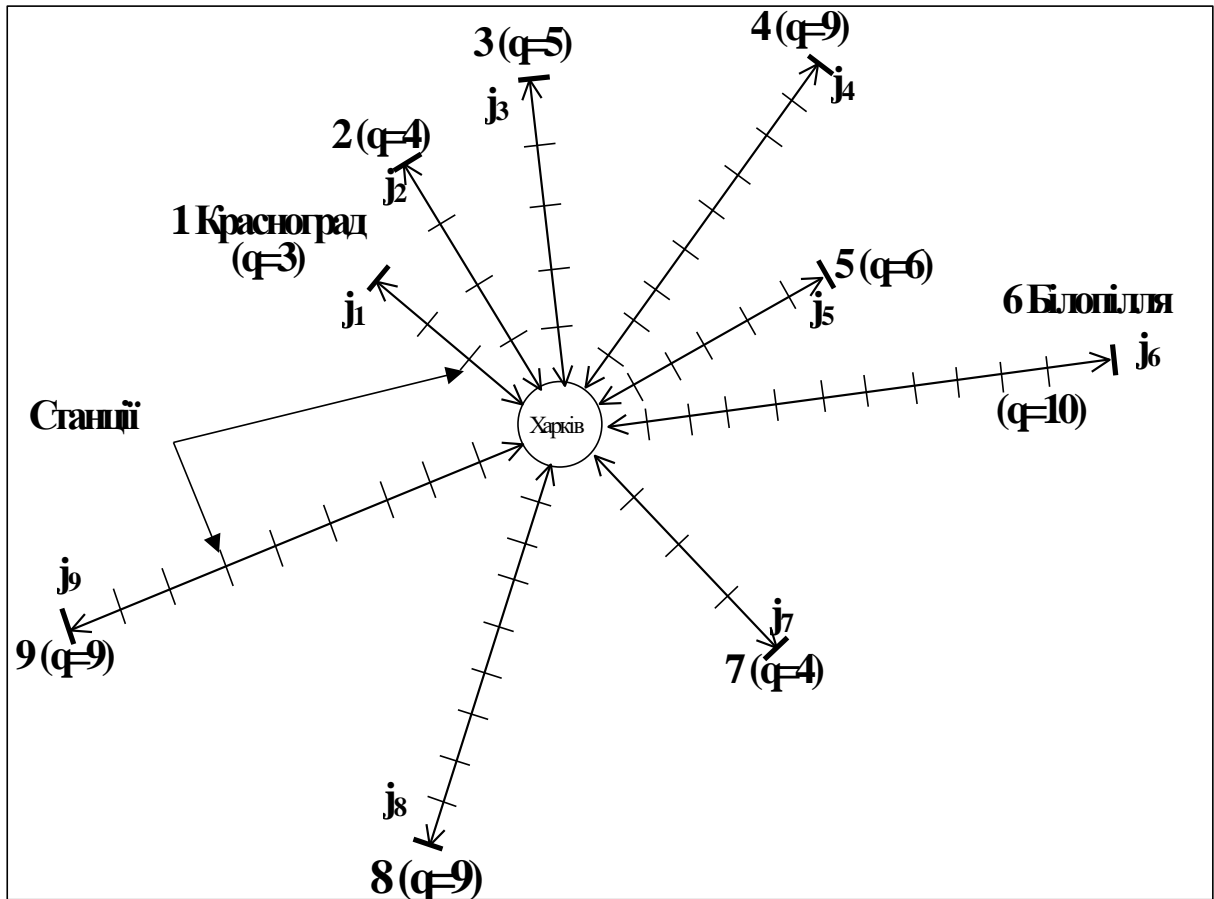


Рис. 1.7. Узагальнена схема залізниць для визначення задач локального рівня (q -число станцій на напрямку)

На кожному з напрямків при організації ПП розв'язується ряд задач, орієнтовний перелік яких наведений у табл. 1.3.

Кожному напрямку у відповідність може бути поставлена матриця, розмірність якої дорівнює $N=q \times m$ (число станцій \times число задач) (табл.1.4, 1.5). У рядках цих таблиць розташовані типи задач, розв'язувані у процесі перевезень, а в стовпцях - найменування станцій по напрямках.

У даному випадку зазначена процедура призводить до побудови 10 матриць відповідно до напрямків, включаючи матрицю для станції Харків.

Таблиця 1.3

Типи задач локального рівня

Код задачі, m	Найменування задачі
1	Формування поїздів
2	Операції навантаження-розвантаження поїздів
3	Організація руху від станції
4	Організація руху до станції
5	Керування відправленням поїздів
6	Керування прийомом поїздів
7	Фінансово-економічні роботи, що характеризують ПП
8	Облік витрат на ремонтно-аварійні роботи
9	Формування інформації про процес руху поїздів, її передача (СЦБ, зв'язок)
10	Облік показників безпеки
11	Оповіщення про дислокацію поїздів

Таблиця 1.4

Матриця типу "станції-задачі" для напрямку 1-Харків-Красноград

Станції, q	Код задачі, m
1 2 3	
1 0 1	1
1 1 1	2
1 1 1	3
1 0 0	4
1 1 1	5
0 0 1	6
1 1 1	7
1 0 0	8
1 1 1	9
1 0 0	10
1 1 0	11

Позначивши інтенсивність виконання в j -ому вузлі задач m -того типу як a_{mj} , інтенсивність надходження задач m -того типу через λ_m , час рішення m -ої задачі в j -ому вузлі складе

$$t_{mj} = \frac{u_m}{a_{mj}}, \quad (1.3)$$

(де u_m - трудомісткість m -ої задачі), у ролі критерію якості доцільно вибрати мінімізацію загального часу рішення задачі моделювання у вигляді:

$$\min \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J t_{mj} x_{mj} \quad x_{mj} = \{0,1\}. \quad (1.4)$$

Таблиця 1.5

Матриця типу "станції-задачі" для напрямку 6-Харків-Білопілля

Станції, q										Код задачі, m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	2
0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	3
1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	4
0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	5
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	6
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	7
0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	8
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	10
0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	11

Станцію кожного напрямку будемо вважати інформаційним вузлом, для кожного з яких будується матриця розміром $(q \times m)$. Як впливає з табл.1.4, для напрямку 1- Харків - Красноград матриця "станція – задачі" має

розмірність $(q \times m) = (3 \times 11)$, а для напрямку 6- Харків-Білопілля $(q \times m) = (10 \times 11)$ (табл.1.5). Елементом матриць є булева змінна x_{mj} . Отже, матриця відбиває розподіл задач табл. 1.3 по напрямках. Інформація, наведена у табл.1.4, 1.5, дозволяє оцінити максимальне число задач, використаних при моделюванні у вигляді залежності:

$$Q = \sum_{p=1}^P (m \cdot q)_p, \quad (1.5)$$

де $m = \overline{1,11}$ - тип задачі,

$q = \overline{1,9}$ - число станцій (інформаційних вузлів),

$p = \overline{1,P}$ - число напрямків на залізниці.

Так, наприклад, з урахуванням прийнятих обмежень ($m=11$) загальне число модельованих одночасно задач для Південної залізниці складає

$$Q = (3+4+5+8+6+10+4+9+9) \cdot 11 = 638 \text{ (задач)}.$$

Проведений аналіз множини задач \tilde{Q}^* показав, що серед обраної підмножини показників $\bigcup Q_j^{(0)}$ найбільш істотними при одночасному виконанні ряду моделей є наступні:

t_s - параметр, що відбиває астрономічний час перебування окремої моделі у системі;

t_c - параметр, що визначає сумарний час, витрачений центральними процесорами вузлів ЛОМ на виконання окремої моделі;

V_e - параметр, що визначає сумарний обсяг зовнішньої пам'яті вузлів ЛОМ, потрібний для кожної окремої моделі;

V_i - параметр, що визначає сумарні обсяги задіяної оперативної пам'яті;

K_c - параметр, що визначає сумарну пропускну здатність задіяних при

* ($\dim \tilde{Q} = Q$, кожній моделі в \tilde{Q} відповідає її унікальний номер)

виконанні кожної окремої моделі каналів ЛОМ;

t_p - параметр, що визначає сумарний час обробки транзакцій активної моделі.

Отже, узагальнений показник часу моделювання T можна визначити за допомогою функціоналу J_β

$$J_\beta = f_\beta(t_s, t_c, V_\ell, V_i, K_c, t_p), \quad (1.6)$$

де f_β - багатопараметрична функція, що визначає значення функціоналу на основі вагових коефіцієнтів параметрів з урахуванням рангу кожного з них.

Аналіз характеристик вузлів ЛОМ, а також наявність можливості розширення оперативної і зовнішньої пам'яті для всіх задіяних вузлів ЛОМ показав, що параметри V_ℓ і V_i не вносять істотних обмежень на час виконання моделі.

Тому можна припустити, що для T існує кількісна оцінка, що обчислюється для конкретної архітектури ЛОМ. У цьому випадку багатопараметрична функція f_β може бути представлена лінійною комбінацією змінних T_{ij} , визначаючих тимчасові витрати на прикладному рівні ЛОМ для програмних комплексів, що реалізують моделі з множини Q , тобто

$$J_\beta = \sum_{j \in \bigcup_j Q_j^{(0)}} \sum_{i \in Lr(\tilde{Q})} \alpha_j \cdot \lambda_j^{(i)} \cdot T_{ij}, \quad (1.7)$$

де α_j - ваговий коефіцієнт розглянутого параметра з множини $\bigcup_j Q_j^{(0)}$;

$\lambda_j^{(i)}$ - коефіцієнт, що враховує інтенсивність інформаційних потоків групи моделей з \tilde{Q} , визначених розбивкою Lr на даній множині, що впли-

вають на розмір відповідного параметра з $\bigcup_j Q_j^{(0)}$.

Крім тимчасового функціоналу J_β , немаловажним фактором як на стадії розробки програмного комплексу, так і на етапах його розширення є оцінка тимчасових витрат на розробку відповідних прикладних програм, що істотно залежать від математичного апарату, застосованого як при постановці задачі, так і при безпосередньому програмуванні.

Оскільки моделювання всіх задач одночасно практично неможливо, на основі експертних оцінок [35, 80, 83] приймемо можливе число одночасно модельованих задач рівним 50%.

Приведені цифри показують, з одного боку, необхідність удосконалення комп'ютерної і телекомунікаційної мереж залізниць, а з іншого - необхідність одержати кількісну порівняльну оцінку ефективності застосування для моделювання МП у порівнянні з класичними методами.

Для одержання кількісної оцінки ефективності застосування МП використаємо результати експертної оцінки в порівнянні різних технологій моделювання. Загальна методика розв'язання задачі моделювання показана на рис.1.8. У загальному випадку процес розробки методики моделювання вимагає участі технологів і системних програмістів. У залежності від результатів верифікації можливі різні варіанти продовження роботи. Аналіз експертних оцінок показує, що трудомісткість реалізації окремих блоків рис. 1.8 різна і може бути оцінена табл. 1.6, до якої внесені основні етапи розробки.

Застосування для моделювання поширених МП дозволяє значно скоротити витрати часу, що ілюструється табл. 1.7



Рис. 1.8 - Схема рішення задачі моделювання ПП

Таблиця 1.6
Експертна оцінка відносних витрат часу на моделювання

№ п/п	Етап розробки методики моделювання	Трудовитрати, %
1	Розробка алгоритму	20
2	Програмна реалізація	50
3	Уведення вихідних даних	5
4	Модифікація алгоритму	10
5	Налагодження програми і верифікація	15
	Загальна трудомісткість	100

Таблиця 1.7
Порівняльна оцінка витрат часу на моделювання традиційним
способом і на основі МП

№ п/п	Етап розробки методики моделювання	Трудовитрати, %	
		Для традиційного способу	На основі МП
1	Розробка алгоритму	20	10
2	Програмна реалізація	50	5
3	Уведення вхідних даних	5	3
4	Модифікація алгоритму	10	2
5	Налагодження програми і верифікація	15	15
	Загальна трудомісткість	100	35

1.6. Постановка задачі дослідження

Підвищення інформованості про ПП на ЗТ України по утвореним ТК вимагає обліку різноманітних факторів, що повинні використовуватися в перспективній інформаційно-керуючій системі. Така система повинна відображати реальну ситуацію по перевезеннях, співставляючи її з найбільш раціо-

нальними варіантами і давати рекомендації з прийняття на основі цього оптимальних управлінських рішень.

Отже, перед ЗТ України стоїть задача удосконалення експлуатації залізниць із максимальним задоволенням вимог клієнтів шляхом організації фірмового транспортного обслуговування по перевезеннях пасажирів і вантажів по ТК з метою урахування нових ринкових економічних умов.

Таким чином, з урахуванням викладеного, а також того, що в Україні відсутня статистична інформація, що характеризує процес перевезень по ТК, для підвищення ефективності експлуатації залізниць України актуальною є задача удосконалення керування, що може бути вирішена тільки на основі **використання сучасних інформаційних технологій, моделювання перевезень і їхнього прогнозування.**

В даний час у цьому напрямку є ряд нерозв'язаних питань:

- відсутня методика моделювання ПП з урахуванням ресурсів, необхідних для його реалізації і відображення в динаміці характеру ПП, що не дає можливості приймати ефективні управлінські рішення;
- відсутня методологія побудови технологічної мови опису ПП, яка забезпечує просте введення інформації для моделювання перевезень на ЗТ;
- немає простого і ефективного програмного забезпечення для моделювання ПП, не потребує участі в процесі моделювання програмістів.

З урахуванням сказаного, наведеного аналізу ПП, обґрунтування необхідності моделювання ПП з урахуванням географії ЗТ і динаміки перевезень, а також обраного критерію оптимізації, що забезпечує мінімізацію витрат часу на моделювання ПП, основними задачами дисертації є:

- Оцінка й аналіз стану теорії і практики застосування математичного апарату мереж Петрі для моделювання експлуатаційних задач ЗТ.
- Розробка технологічної мови моделювання і методу поширення мереж Петрі, що дозволяють моделювати ПП в УЗ при скороченні витрат часу й обчислювального ресурсу.

- Розробка моделі ПП по ТК України, які включено у міжнародні ТК, на основі використання поширених мереж Петрі, з метою прогнозування і прийняття ефективних управлінських рішень.
- Створення програмного забезпечення для моделювання ПП на основі нової технологічної мови і поширених мереж Петрі, яке не потребує участі програмістів у процесі моделювання.
- Проведення досліджень з використанням отриманих нових теоретичних результатів, з метою підвищення ефективності експлуатації залізниць.

Висновки

1. Проаналізовано з точки зору експлуатаційних особливостей стан ПП на залізницях закордонних країн і України.
2. Показано, що основними особливостями сучасного стану ПП є використання змішаних перевезень. Розвиток залізниць розвинених країн Європи йде по шляху реструктуризації, підвищення якості обслуговування клієнтів, збільшення обсягів перевезень та широкого використання новітніх інформаційних технологій, що дає змогу підвищити ефективність експлуатації транспортних засобів ЗТ.
3. Обґрунтовано необхідність моделювання ПП з урахуванням його динаміки на основі методу графів, у якості якого обраний математичний апарат мереж Петрі, застосування якого для моделювання на ЗТ вимагає певного поширення функцій цих мереж з метою урахування специфіки залізничних перевезень. Це дасть змогу удосконалити технологію перевезень пасажирів і вантажів.
4. Обґрунтовано критерій оптимізації, у якості якого обраний функціонал, який забезпечує мінімізацію витрат часу й обчислювального ресурсу на моделювання ПП із використанням поширених мереж Петрі. Показано, що

застосування математичного апарату мереж Петрі приблизно в 3-5 разів скорочує витрати на моделювання.

5. Поставлено задачу досліджень, основною метою якої є розробка нової технологічної мови моделювання на основі використання поширених мереж Петрі і створення ефективної методики моделювання ПП на ЗТ України.

6. Метод моделювання на основі поширених мереж Петрі має універсальний характер і може бути використаний для опису процесів на різних об'єктах.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ

У цьому розділі викладено розроблену нову технологічну мову моделювання на основі поширеної мови мереж Петрі (ПММП), що надає можливість ефективно моделювати ПП.

На основі ПММП пропонується метод моделювання з використанням нових комп'ютерних технологій. Метод відрізняється простотою, зручністю застосування і не вимагає спеціальної комп'ютерної підготовки користувача. Місце ПММП у задачах моделювання показано на рис. 2.1.

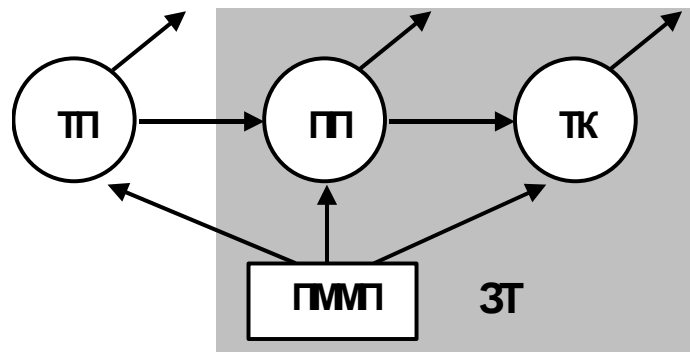


Рис. 2.1. Місце ПММП у задачах моделювання: ТП – технологічний процес, ПП – процес перевезень, ТК – транспортний коридор.

У розділі розв'язуються наступні задачі:

- графічне представлення ПП;
- формальне представлення ПП засобами ПММП;
- вибір з множини поширень МП таких, що найбільше відповідають ПП по транспортних коридорах.

2.1. Технологічні особливості ПП

Під технологічним процесом роботи ЗТ розуміється механізм технологічної, інформаційної і фінансово-економічної взаємодії станцій, локомотив-

них, вагонних депо й інших об'єктів. Інформація про ПП і формування на її основі рішень по керуванню здійснюються людиною-оператором (диспетчером) у результаті аналізу процесів моделювання.

Технологія ПП передбачає реалізацію механізмів організації вантажопотоків і вагонопотоків, руху поїздів у вузлах, станціях, перегонах [25, 38, 59].

Удосконаленню керуванням ПП сприяє створення перспективної ІУС УЗ. Вона дозволяє істотно розширити можливості персоналу керування за рахунок створення розвиненої мережі інформаційного і фірмового транспортного обслуговування, інтелектуального забезпечення процесу прийняття рішень, оптимізації планування, організації процесу безперервного спостереження за ходом технологічного процесу. Важливе місце в ІУС УЗ належить нижньому рівню керування, який безпосередньо зв'язаний з місцем зародження основної частини первинної інформації та забезпечує оперативні процеси експлуатаційної роботи.

Отже, сутність транспортного механізму складається у взаємодії складових його технологічних операцій, що відбуваються в реальному часі. Цей процес являє собою ланцюг послідовних взаємозалежних і взаємообумовлених операцій, що складають сутність ПП. Ці повторювані операції виникають внаслідок впливів на ПП збурювань, якими є, зокрема, заявки на перевезення.

Для організації ПП не має принципової різниці між пасажирськими і вантажними перевезеннями, однак вантажні перевезення складніше піддаються формалізації. Це зв'язано, у першу чергу, з особливостями транспортування різнотипових вантажів, їхнім збереженням, навантаженням, вивантаженням і іншими операціями. На початковому етапі роботи з відправником вантажу вирішуються питання, зв'язані з ефективністю використання рухомого складу, та проблемою схоронності вантажу. Зазначені параметри обумовлюють конкурентноспроможність ЗТ. Коли вагон подається під навантаження, уся потрібна інформація про нього вже оформлена у вигляді комплек-

ту перевізних документів (накладна, дорожня відомість, корінець дорожньої відомості, квитанція в прийманні вантажу). Комплект перевізних документів є основою для подальшого формування поїзда. Пакет поїзних документів являє собою опис поїзда з вантажем, у якому є вся необхідна інформація про вантаж, вагон, поїзд, маршрут проходження і т.п.

Фактично такий опис існує у двох формах: паперовій та електронній. У паперовому вигляді поїзні документи перевозяться локомотивною бригадою і до станції розформування не можуть бути використані в процесі оперативного керування ПП. Електронні поїзні документи передаються по каналах інформаційно-статистичних центрів залізниць і їхніх відділень і доступні для розв'язання задач оперативного керування.

У сучасних умовах ця інформація доступна тільки на великих станціях. У перспективі потрібно створення ЛОМ, що забезпечують одержання необхідної інформації всіма учасниками і замовниками перевезень.

Вузькими місцями в роботі транспортного механізму є операції з розформування-формування поїздів на проміжних по шляху проходження сортувальних станціях. На цьому етапі електронні документи піддаються багаторазовому ручному корегуванню. Після прибуття вагона з вантажем на кінцеву станцію операціям вивантаження передують маневрова робота, що необхідна для доставки вагону до місця вивантаження вантажу чи перевантаження його на інший вид транспорту. На цьому етапі вся інформація може бути отримана, як правило, у виді паперових документів.

Таким чином, процес вантажних перевезень на ЗТ являє собою замовлення вагонів чи контейнерів, навантаження контейнерів, завантаження вагонів; формування з них на сортувальних станціях поїздів; організацію руху сформованих поїздів по ділянках (станції, перегони, транспортні коридори); переформування поїздів (у разі потреби); організацію наступного їхнього руху; доставку вантажів клієнтам. Узагальнена схема організації ПП на ЗТ показана на рис. 2.2. Як видно, організація ПП супроводжується певним інфор-

маційним забезпеченням. У п. 1.4 було показано, що ефективне керування ПП вимагає здійснити прогнозування перевезень і прийняття ефективних рішень з їх раціональної організації.

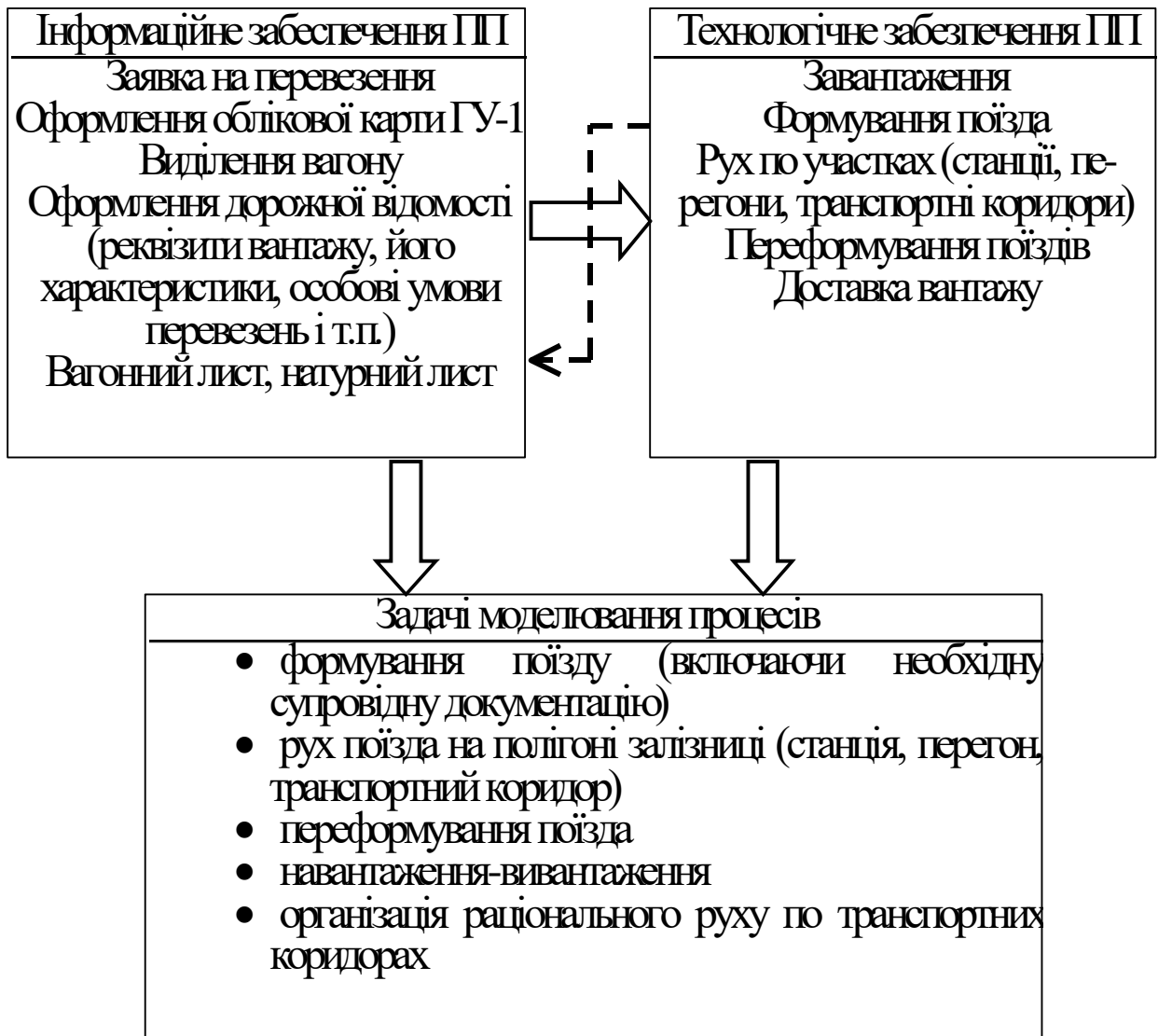


Рис. 2.2. Узагальнена схема організації перевезень на ЗТ

Як відзначено в п. 1.4, МП дозволяють моделювати різні етапи і технологічні операції ПП. Тому їхнє застосування відповідає задачам моделювання, які вимагають урахування динамічного характеру ПП.

Наведені міркування являються основою для постановки задачі створення технологічної мови моделювання.

2.2. Аналіз застосування мереж Петрі

Удосконалення ЗТ в Україні є однією з передумов підйому економіки. Воно супроводжується широким впровадженням цифрових засобів керування, локальних обчислювальних мереж (ЛОМ), телекомунікацій і ПЕОМ, що у сукупності дають можливість будувати системи, які забезпечують оперативне автоматизоване керування ПП.

Математичний апарат МП добре зарекомендував себе при розв'язанні різноманітних задач моделювання. В оглядовій роботі [42] докладно описані математичні аспекти використання МП. У роботах [102, 109] показані області застосування МП і звернено увагу на перспективи їх використання для моделювання процесів на ЗТ.

Донедавна МП широко використовувалися для дослідження процесів в обчислювальних системах і комп'ютерних технологіях [94, 100].

У той же час математичний апарат МП у результаті його "**поширення**"* може з успіхом застосовуватися для моделювання ПП, при цьому напрямком пошуку потрібних поширень слід вважати дуги.

Публікація [85] відноситься безпосередньо до ЗТ і стосується використанню мережевих моделей для імітаційного моделювання систем диспетчерського контролю і керування пристроями електропостачання ЗТ. У цій роботі описується імітаційна модель для аналізу структур названих систем шляхом моделювання динаміки їх функціонування. Модель побудована на базі однієї з модифікацій МП - так званих Ф-мережах - і дозволяє враховувати неоднорідність, паралельність і асинхронність процесів.

Робота [86] стосується методології моделювання потоків даних з використанням апарату МП і позиційних множин і носить концептуальний характер. Її цінність полягає в тім, що вона підтримує обґрунтованість і доціль-

* Під "поширенням" будемо розуміти розширення функцій мереж і надання їм нових властивостей. Далі кавички будемо опускати.

ність побудови моделі автоматизованої системи керування ЗТ на основі єдиного підходу до моделювання і проектування шляхом математичного формалізму з використанням теорії матриць.

Публікація [102] характерна тим, що її автором є сам Карл Петрі. Особливість статті - практична спрямованість. Робота розглядає ЗТ із його основними проблемами живучості і безпеки. Демонструється застосування МП для аналізу надійності з використанням поняття безпеки.

З погляду методології застосування МП цікава публікація [104], що описує процес проектування мікроконтролерів. У ній представлена методологія моделювання й аналізу систем з дискретними станами. Для аналізу моделюючої МП використовується скорочений граф досяжності, одержуваний з повного графа шляхом декомпозиції, що дозволяє врахувати ряд особливостей поведінки системи. Робота показує, що пропонована методика може бути використана для моделювання дискретних технологічних процесів.

Аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновки:

- Апарат МП використовується для задач моделювання в різних галузях. Це можна пояснити близькістю властивостей МП до алгоритмічного мислення розроблювачів різних систем і достатньою простотою використання матричних описів моделей.
- Застосування МП може стати ще більш ефективним за рахунок поширень, що вводяться для використання при моделюванні прикладних задач на ЗТ.
- Доцільна побудова механізму відображення графових структур МП на сучасних пристроях відображення.
- Відсутні критичні роботи, у яких застосування апарату МП привело б до негативних результатів.

Зі сказаного ясно, що розробка на основі МП технологічної мови моделювання ПП на ЗТ є актуальною і перспективною задачею.

2.3. Опис математичного апарату мереж Петрі

Формалізація мови мереж Петрі

Метою розділу є одержання в результаті семіотичного аналізу практичних рекомендацій по застосуванню поширеної мови МП для моделювання технологічних процесів, зокрема, ПП на залізничному транспорті.

Семіотика включає три основних рівня: **прагматику, синтактику і семантику** [49, 65]. Два останніх рівня, звичайно віднесені до металогіки, відповідають переважно формальним процедурам роботи зі знаковою інформацією. Проблеми ж вибору прагматики, призначеної для побудови конкретної моделі системи, не входять у рамки металогіки (рис. 2.3) і вимагають обґрунтування, наприклад, у гносеології й інженерній психології. У цьому сенсі прагматиці належить визначальна роль у мотиваційній спрямованості розвитку знакової системи.

Розміщення акцентів, як правило, не відповідає визначальній ролі прагматики. Результатом є неадекватність моделей і засобів моделювання (неповнота опису об'єкта через недолік засобів мови моделювання, або синонімічність в описі через надмірність мови). Таке положення повинно бути виправлено: як на практиці, так і в теорії прагматика повинна стати, як мінімум, рівноправною із синтактикою і семантикою. Доцільно почати аналіз із прагматики.

МП являє собою орієнтований біграф, тобто граф із двома типами вершин. Вершини першого типу позначаються кружком і називаються **позиціями** (i). Вершини другого типу позначаються відрізками прямих ліній і називаються **переходами** (j). Як позиції, так і переходи з'єднуються між собою **дугами**, причому дуга, що виходить з переходу j , повинна входити у позицію i , а дуга, що виходить з позиції i , повинна завжди входити в перехід j (з'єднувати дугами позицію з позицією і перехід з переходом заборонено). Дуги мають цілочисельну вагу. Дуги, що входять у переходи, позначаються як $k(i,j)$,

де k – вага дуги ($k \in \overline{1, n}$), а дуги вихідні з переходів, позначаються як $k(j, i)$, де k – вага дуги ($k \in \overline{1, m}$). Сукупність (множина) дуг, що входять у переходи, позначається як $K(i, j)$, а виходять з переходу - $K(j, i)$.

В існуючій теорії МП використовується два види дуг: прості і стриму-ючі, причому останнім привласнювалася вага, рівна тільки 1, що істотно обмежує створення моделі процесу перевезень на залізничному транспорті.

Зазначеним вибором прагматики позиції i та переходи j поєднуються в орієнтований біграф – мережу Петрі (МП), що складається з двох підмереж (рис. 2.3). При цьому граф є МП тільки в тому випадку, якщо відсутні дуги, що з'єднують перехід з переходом, і позицію з позицією: $i \rightarrow i=0$, $j \rightarrow j=0$. Дана умова є основним правилом синтактики при складанні графів МП.

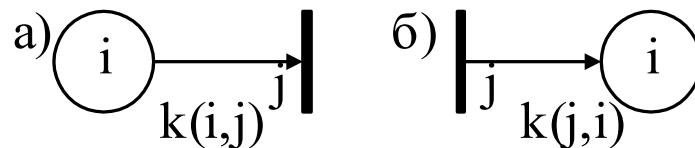


Рис. 2.3. Підмережи МП: а) 1-го роду; б) 2-го роду

На рис. 2.4, отриманому з'єднанням (теоретико-множинним об'єднанням) підмереж 1-го і 2-го роду, показана елементарна МП. Прагматика МП може розглядатися у виді набору однорідних множин: вхідних позицій i (1); міток у них m_i (2); дуг $k(i, j)$ (3), що входять у перехід; переходів j (4); дуг $k(j, i)$ (5), що виходять з переходу, та вихідних позицій $i+1$ (6).

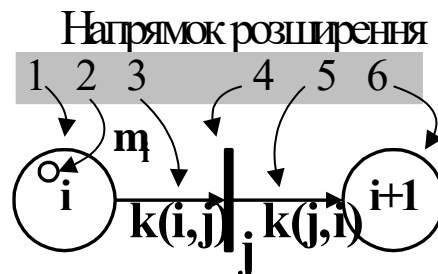


Рис. 2.4. Елементарна МП і 6 напрямків можливих її поширень

Легко бачити, що будь-яке поширення елементарної МП стосується підмереж 1-го або 2-го роду, або міток. Представлення елементів 1...6 МП (рис. 2.4), як множини відповідних елементів, дозволяє перейти до формального визначення структури МП. З урахуванням того, що елементарна МП (рис. 2.3) є теоретико-множинним об'єднанням підмереж 1-го і 2-го роду: $S_1 = \{I, J, K(i,j)\}$, $S_2 = \{I, J, K(j,i)\}$; $S = \{S_1, S_2\}$ (S_1, S_2 - структури підмереж 1-го і 2-го роду, відповідно, I, J - відповідно множина позицій і переходів). Тому МП може бути представлена у вигляді четвірки

$$S_n = S_1 \cup S_2 = \{I, J, K(i,j)\} \cup \{I, J, K(j,i)\} = \{I, J, K(i,j), K(j,i)\}. \quad (2.1)$$

Технічні структури, як правило, вимагають для свого функціонування наявності ресурсів. Мова МП надає відповідні описові можливості за допомогою введення в структуру S_n початкового ресурсу у вигляді міток масиву M_{i0} . У результаті цілком визначена МП - це структура плюс ресурс. Відповідний формальний запис N_p (п'ятірка) дається доповненням S_n вектором початкової розмітки M_{i0} .

Використовуючи поняття теорії графів [22, 46], можна сказати, що підмережа 1-го роду моделює **ступінь напіввходу**, а підмережа 2-го роду - **ступінь напіввиходу** [42, 52]. Об'єднання в підмережах обох родів трьох елементів прагматики (**позиції, переходи і дуги**) уже можна розглядати як самостійний прагматичний елемент чи **образ**, що характеризує МП як мову, що, подібно іншим мовам [64], має властивості комунікабельності й інтелектуальності. Використання всього двох зазначених підмереж при побудові графа Петрі доцільно при синтезі (включаючи графічні побудови) алгоритмів технологічних процесів на ПЕОМ.

В удосконаленій нами прагматиці в множині дуг $K(i,j)$ присутні дуги трьох видів. Дуги першого вигляду називаємо **транспортними** і позначаємо відрізком зі стрілкою на кінці $i \rightarrow j$ (вага позначається як $+k(i,j)$). Дуги другого вигляду називаються **стримуючими** чи **інгібіторними** дугами з вагою .

Вони позначаються відрізком з порожнім кружечком на кінці $i \text{---} \circ j$ (вага - $k(i,j)$). Дуги третього виду назовемо **конвексними**, їх графічно представимо відрізком з подвійною стрілкою на кінці $i \text{---} \rightrightarrows j$ та $j \text{---} \rightrightarrows i$ (вага цих дуг позначаються відповідно як ${}^0k(i,j)$, ${}^0k(j,i)$).

У МП є дискретне поняття **міток (фішок)**, що можуть накопичуватися в позиціях чи залишати їх, відображаючи наявність ресурсу*, що міститься у позиціях структури S_N . При цьому МП у цілому описується п'ятіркою

$$N_p = \{S_N, M_{i0}\} = \{I, J, K(i, j), K(j, i), M_{i0}\}, \quad (2.2)$$

де M_{i0} - початковий розподіл ресурсу в множини позицій $\{I\}$, іменоване вектором початкового маркування, а N_p - маркована МП.

Маркування мережі змінюється тільки при відкриванні визначених переходів. Перехід J маркованої МП N_p з поточним маркуванням M_{i0} є відкритим, якщо:

- для усіх вхідних позицій I , з'єднаних з переходом J транспортними дугами, виконується умова

$$K(IJ) \leq M_{i0}(I), \quad (2.3)$$

де $K(IJ)$ – число усіх дуг, що входять у перехід J ; $M_{i0}(I)$ – число міток у позиціях, зв'язаних з переходом J . Тобто в кожній вхідній позиції повинно міститися не менше міток, ніж з цієї позиції виходить транспортних дуг у перехід;

- для усіх вхідних позицій, з'єднаних з переходом одиничними інгібіторними дугами,

$$M_{i0}(I) = 0, \quad (2.4)$$

тобто цей перехід відкритий, якщо усі вхідні позиції дуг порожні.

У результаті відкриття переходу j маркування мережі M_{i0} змінюється на

* Під ресурсом будемо розуміти фінанси, вантажи, контейнери, вагони, поїзда, витрати енергії і т.п.

нове маркування M'_{i0} за правилом:

$$M'_{i0}(i) = M_{i0}(i) - K(i,j) + K(j,i), \quad (2.5)$$

де M'_{i0} - нове значення розмітки мережі, $K(i,j)$ - число транспортних дуг, що входять у відкритий перехід j з позиції i , $K(j,i)$ - число дуг, що входять у позицію i з інших переходів.

При відкритті переходу j з позиції i , зв'язаної з цим переходом, вилучається стільки міток, скільки транспортних дуг веде з позиції i до переходу j , але тільки в тому випадку, якщо перехід відкритий по всіх дугах, а в кожному позицію i , зв'язану з цим переходом, додається стільки міток, скільки дуг веде з переходу j в інші позиції чи до неї.

Узагальнена структурна схема алгоритму роботи мереж Петрі показана на рис.2.5. На підставі цієї блок-схеми розроблено програму, що обробляє будь-який коректно заданий граф Петрі (Додаток А).

Таким чином, функціонування МП являє собою послідовність відкриття переходів і зв'язану з цим зміну розміток мережі. Цей процес називається виконанням МП.

Можливості мови МП

Як відзначалося, підмережи 1-го роду моделюють формування передумов, а підмережи 2-го роду - формування постумов. Ця властивість використовується як при програмній реалізації МП, так і при складанні графа Петрі користувачем.

Над МП визначені 4 операції з множинами $E\{I\}$ та $Y\{I\}$ [26].

1. **Об'єднання.**
2. **Перетинання.**
3. **Сума.**
4. **Різниця.**

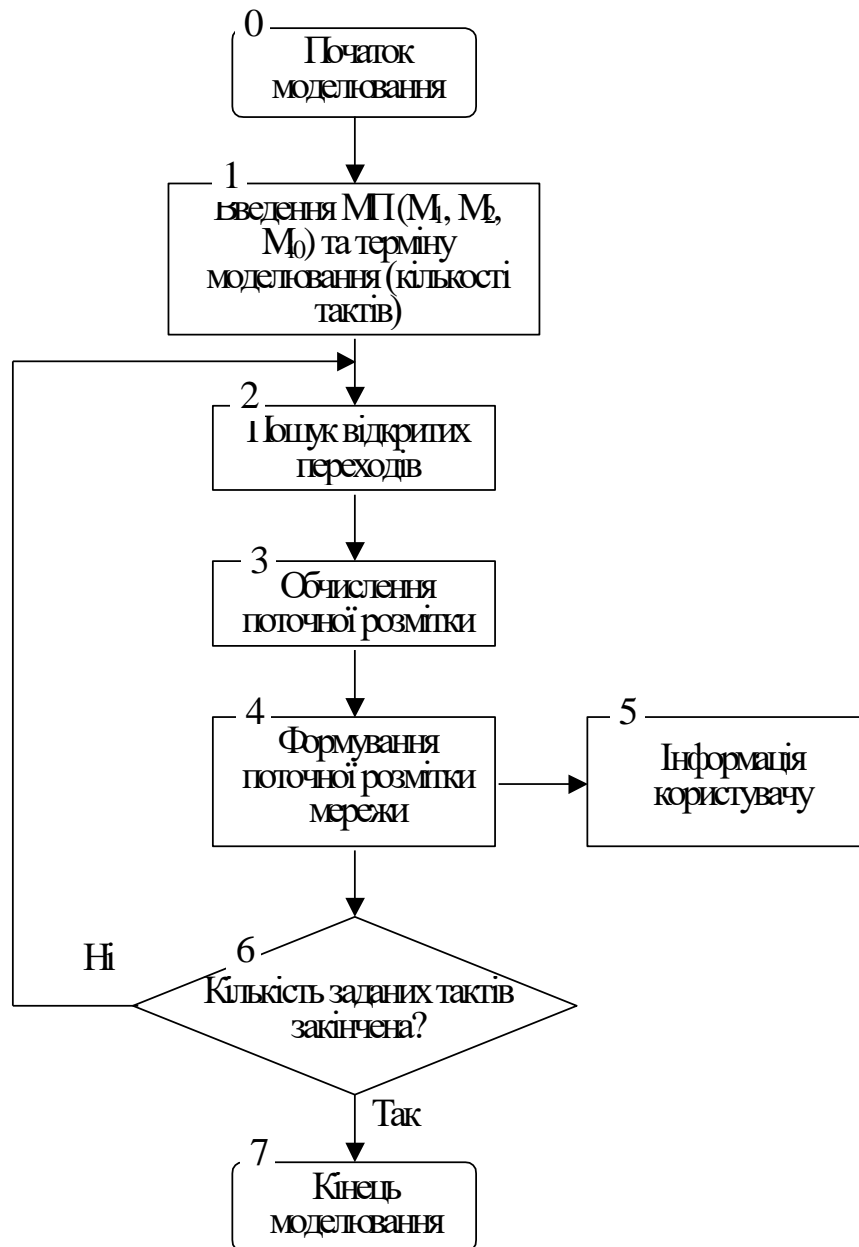


Рис. 2.5. Узагальнена структурна схема алгоритму роботи МП

Перші дві операції здійснюються логічними операторами, а дві другі – арифметичними, що вигідно відрізняє МП у порівнянні з булевою алгеброю і полегшує їх застосування при моделюванні технологічних процесів.

Поширення

Як було відзначено вище, поширення полягає у доповненні існуючих елементів мови МП новими елементами (спеціальними дугами і їх сполученнями - рис. 2.4), введеними з метою збільшення образотворчих засобів мови.

Так, наприклад, затримка мітки в часі на будь-яке число кроків моделювання може бути здійснена структурою, що являє модель обслуговування.

У [49] приведені конфігурації деяких існуючих класів і поширень МП (табл. 2.1). Вибір кожного класу таблиці визначається предметною областю застосування математичного апарату МП і недостатньо класифікований.

Таблиця 2.1

Дозволені конфігурації різних класів МП

№	Класи МП	Припустимі конфігурації	Заборонені конфігурації
1	Автоматні (переходи мають тільки один вхід і один вихід)		
2	Маркіровані графи (позиції мають тільки один вхід і один вихід)		
3	Мережі вільного вибору (поєднують властивості СП по п.п. 1 і 2)		
4	Прості (допустима вага дуги тільки 1)		
5	Ординарні (переходи допускають будь-яке число вхідних дуг і тільки одну вихідну з переходу дугу)	З вагою дуг, рівним 1	-
6	Узагальнені (дозволяють будь-яку конфігурацію)	Будь-яким, відповідним класам по п.п. 1-5	-

Однак аналіз навіть скороченої таблиці показує, що найбільшою гнучкістю зображуваних структур володіє клас **узагальнених** мереж, у яких по-

зиції, переходи і мітки можуть приймати тільки позитивні цілі значення. Отже, обраний нами клас МП відповідає задачам моделювання більшості сучасних технологічних процесів, зокрема зручно відображує топологічно просторово розподілені системи, до яких відноситься ЗТ.

Як вище відзначалося, нами поставлена і вирішена задача створення програми, що адекватно моделює будь-який зі згаданих у табл. 2.1 класів і, як наслідок, дозволяє ефективно моделювати технологічні процеси на ЗТ.

Розроблена програма Winpet працює на основі застосування: **чисельних, узагальнених, автономних, пріоритетних** МП із необхідними для заданої предметної області поширеннями. З урахуванням дискретного характеру позицій і та переходів j , розміщення всієї інформації про об'єкт моделювання реалізоване в Winpet у двох матрицях і двох векторах.

Реалізовані поширення (частково перекриваються з елементами табл. 2.1) представлені в табл. 2.2.* Використані нові типи дуг, старі типи одержали нову інтерпретацію, усі дуги придбали єдиний формальний параметр - вагу. Так, вхідні дуги, що споживають ресурс (мітки), інтерпретуються як транспортні з вагою $^+k(i,j)$. Інгібіторні (стримуючі) дуги, що рідко раніше вживалися на практиці через призначувану їм сталу вагу тільки (-1), замінені стримуючими дугами з перемінною вагою $^-k(i,j)$. Нарешті, для застосування в умовах ЗТ був розроблений конвеєрний ланцюг з довільною вагою, що позначається парою дуг: $^0k(i,j)$ (на вході в j) і $^0k(j,i)$ (на виході з j). Такий ланцюг є ефективним, наприклад, для моделювання передачі документації про вантаж, що транспортується. Для користувача опис кожної з множини дуг (транспортних, стримуючих і конвеєрних) вкрай простий: плюс вага у першому випадку, мінус вага - у другому і будь-яка вага включаючи нуль, у третьому випадку.

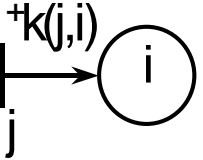
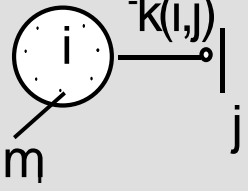
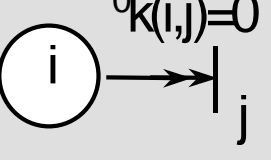
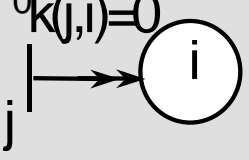
* В табл. 2.2 та інших таблицях цього розділу в заштрихованих полях наведені нові результати, які отримані автором.

Таблиця 2.2

Елементи поширення мереж Петрі, введені для моделювання ПП

№ п/п	Найменування	Графічне зображення	Зміст	Примітка
1	Позиція		Приймає, зберігає і видає мітки m_i (п.2): i - номер позиції, $K(j,i)$ - число входніх у позицію дуг, $K(i,j)$ - число вихідних з позиції і дуг	Введено нові поширення: у входні дуги додана конвеєрна дуга; у вихідні дуги додані дуги 2-х типів - конвеєрна і стримуюча з вагою більшою 1
2	Мітка (крапка у позиції)		Мітки m_i моделюють ресурс (поїзд, вагон, вантаж, число, код). m_i - цілочисельна величина (>0). Властивість автономності вимагає завдання вектора початкового маркування M_{i0}	Ознакою закінчення моделювання служить сталість числа міток у всіх позиціях моделі в 2-х сусідніх тактах
3	Перехід простий		Може знаходитися у відкритому чи закритому стані. Він відкритий, якщо $m_i \geq k(i,j)$, що входять у перехід. Відкритий перехід видає будь-яке число міток відповідно до ваг вихідних дуг $k(j,i)$. У протилежному випадку перехід закритий.	Моделювання здійснюється, якщо відкритий хоча б один з переходів моделі
4	Перехід предикатний		Відкрито, якщо виконується складна логічна умова наявності і відсутності визначеного числа міток у входніх позиціях. Діє так само, як перехід по п.3.	Відрізняється від п.3 новим додаванням довільної ваги для транспортних і стримуючих дуг.
5	Перехід конвеєрний		Якщо перехід відкритий за умовою, то він передає всі мітки з позиції i до наступної i_n , включаючи ноль міток з однієї позиції i_{n-1} в іншу i_n .	Уведено нове поширення - конвеєрність
6	Дуга транспортна входна з вагою $+k(i,j)$		Перехід j відкритий по дузі з вагою $+k(i,j)$, якщо $m_i \geq +k(i,j)$. Дуга з вагою $+k(i,j)$ віднімає з числа міток позиції m_i число міток відповідних вазі дуги.	Являє собою елемент моделювання керування переходом

Продовження таблиці 2.2

7	Дуга транспортна вихідна з вагою $k(j,i)$		З'єднає перехід з позицією i посилає в неї на збереження число міток, рівне вазі дуги $+k(j,i)$. Якщо в позиції вже було m_i міток, то по відкритті переходу j у ній утвориться сума $m_i + k(j,i)$	Являє собою елемент моделювання нової розмітки позиції
8	Дуга вхідна стримуюча з вагою $k(i,j)$		Перехід j відкритий по стримуючій дузі тільки, якщо $m_i < k(i,j)$. При відкритті переходу j мітки m_i з позиції i не споживаються. У відомих публікаціях використовувався лише окремий випадок, коли $k(i,j)=1$ і відсутність міток в i розцінювалося як відкриття j по стримуючому входу.	Нове поширення - стримуючій дузі приписується вага ≥ 1 .
9	Дуга вхідна конвеєрна		Дуга з позначенням ваги ${}^0k(i,j)=0$ призначена для утворення шляху через перехід для передачі усього вмісту (усіх міток) позиції i_{n-1} у позицію i_n за один такт.	Уведено нове поширення - конвеєрність. Являє собою елемент моделювання для передачі вмісту з позиції i у перехід j за один такт.
10	Дуга вихідна конвеєрна		Дуга з позначенням ${}^0k(j,i)=0$ вказує адресат передачі інформації з переходу j (п.5) у позицію i .	Уведено нове поширення - конвеєрність. Являє собою елемент моделювання для прийому міток з однієї позиції в іншу

Побудова моделі обслуговування технологічної задачі

Як важливий приклад застосування ПММП розглянемо модель обслуговування будь-якої технологічної задачі. На ЗТ такій моделі обслуговування може відповідати, наприклад, ділянка шляху, що забезпечує переміщення декількох поїздів і інші процеси реального часу.

Модель обслуговування представлена на рис. 2.6. Реалізацію задачі обслуговування зобразимо у вигляді позиції "обслуговування" i_2 . Заявки на обслуговування позначимо позицією i_1 (вхід), а вихід - у вигляді позиції i_3 .

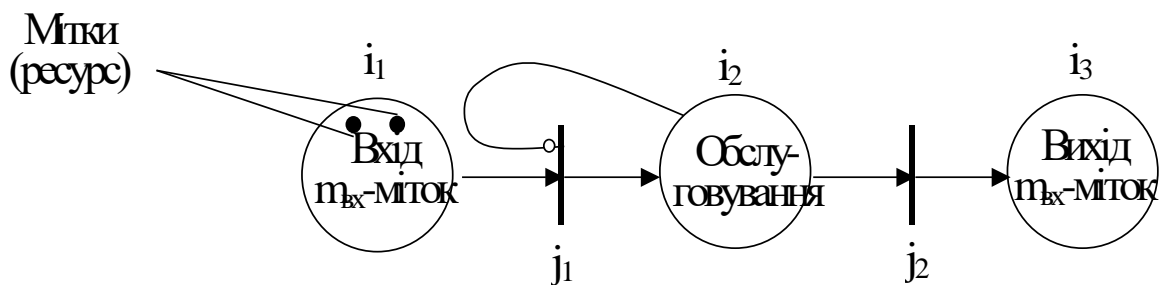


Рис. 2.6. До побудови моделі обслуговування

Мітки в позиції i_1 моделюють окремі заявки. На рис.2.6 число заявок (міток) дорівнює 2. Тому що заявки, що приходять на вхід моделі, ідуть з черги, застосовані транспортні вхідні в перехід j_1 та вихідні з нього дуги з однаковою вагою $k(i,j)=k(j,i)=1$.

При кожному відкритті переходу j_1 з міток, що зберігаються в позиції i_1 , одна убуває для відкриття переходу j_1 . Природно, що і вихідна з переходу дуга також повинна мати вагу, рівну 1. Таким чином, у позиції i_2 обслуговується одна мітка. Щоб на обслуговування не попадали інші мітки з позиції i_1 , використовується дуга стримуючого типу, що виходить з позиції i_2 на перехід j_1 . Ця дуга не буде відкривати вхідний перехід j_1 доти, поки обслугована мітка не піде через перехід j_2 у позицію i_3 . Тільки тоді, коли обидві вхідні в j_1 дуги будуть відкриті, тобто для даного переходу буде виконане логічне множення $(m_{вх}=1) \wedge (m_{обсл}=0)=1$, перехід j_1 буде відкритий. При цьому час обслуговування дорівнює тривалості одного такту роботи програми.

Для реалізації різних термінів обслуговування була запропонована структура з однією позицією і двома пріоритетними переходами (рис. 2.7).

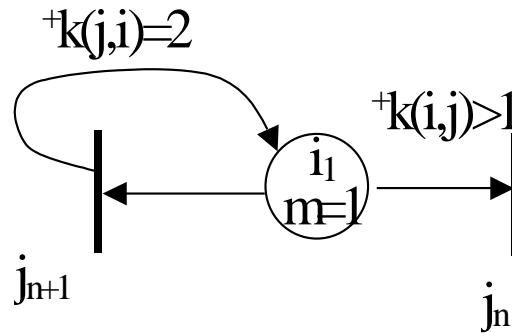


Рис. 2.7. Реалізація тимчасової затримки на $+k(i,j)$ -тактів ($+k(i,j)$ – вага дуги, що може бути замінена числом дуг, рівним цілому числу $+k(i,j)$)

МП для цього випадку містить одну позицію i_1 з однією міткою ($m=1$) і два переходи: накопичувальний j_{n+1} і обмежувальний j_n . Нумерація переходів визначає пріоритетність їхньої обробки програмою (великим пріоритетом володіє завжди перехід з меншим номером). У даному випадку перехід j_n має пріоритет більший, ніж перехід j_{n+1} . Об'єднання рис. 2.6 і рис. 2.7, показане на рис. 2.8, утворить варіант мережі для формування тимчасової затримки, придатний для опису різних технологічних задач, наприклад, процесу пересування поїздів між станціями і часу протікання процесів, обумовлених дугою, наприклад з вагою $+k(i,j)=3$.

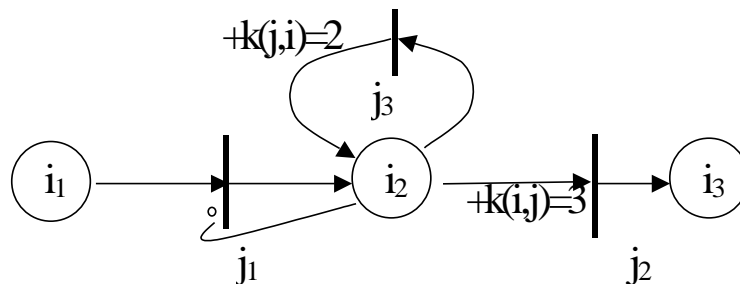


Рис. 2.8. Структурна модель обслуговування

Після одержання структури моделі обслуговування, описаної ПММП, її необхідно представити у вигляді, зручному для обробки комп'ютерною про-

грамою. Така форма представляється у виді двох матриць, процедура формування яких приведена нижче. Необхідно виконати наступні дії.

Пронумерувати всі позиції отриманої мережі Петрі, починаючи з першої. Порядок нумерації позицій визначається розумінням зручності читання результатів моделювання на екрані монітора.

Пронумерувати всі переходи розробленої моделі. Порядок нумерації переходів інколи повинен враховувати їхню пріоритетність.

Звернути увагу на різну форму кодування транспортних вхідних і вихідних, конвеєрних вхідних і вихідних, а також стримуючих вхідних дуг. Перші кодуються натуральним числом 1, 2, 3,...і т.д., другі – від’ємним натуральним числом, треті - нулем.

Сформувати відповідно до моделі масив M_1 вхідних у перехід дуг (тобто, що йдуть з кожної позиції до переходів). Перше число вказує номер позиції, з якої виходить дуга, друге число - у який перехід вона входить, третє число - вага дуги. Отже, масив M_1 (його ім'я в програмі - POSITION) для рис. 2.8 має вигляд матриці типу $|n \times 3|$

Номер Номер Вага дуг
позиції переходу $k(i,j)$

$$M_1 = \begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & \\ 2 & 2 & 3 & \\ 2 & 1 & -1 & \\ 2 & 3 & 1 & \end{array} \quad (2.6)$$

Сформувати масив M_2 (його ім'я в програмі - ENTER). Як і перший масив, він складається з трьох стовпців: номер переходу, номер позиції, вага дуги. При цьому описується кожна вихідна з переходу дуга (перший стовпець - номери переходів, другий - номер позиції, третій - вага дуги). Для рис. 2.8 матриця M_2 має вид

Номер переходу	Номер позиції	Вага дуги $k(i, j)$
-------------------	------------------	------------------------

$$M_2 = \begin{array}{ccc|c} 1 & 2 & 1 & \\ \hline 2 & 3 & 1 & \\ \hline 3 & 2 & 2 & \end{array} \quad (2.7)$$

Далі необхідно скласти вектор початкового маркування M_{i0} (його ім'я в програмі - MET). Для цього кожній позиції моделі варто привласнити ціле (невід'ємне) число міток. Для рис. 2.6, що містить три позиції, як приклад тільки в першу позицію внесено 2 мітки. У двох інших позиціях число міток дорівнює 0. Для цього випадку вектор M_{i0} має вигляд

$$M_{i0} = \begin{array}{ccc|c} \text{позиція}_1 & \text{позиція}_2 & \text{позиція}_3 & \\ \hline 2 & 0 & 0 & \end{array} \quad (2.8)$$

Прийнятий у роботі метод формування масивів M_1 і M_2 є найбільш економним і може допускати розширення шляхом додавання стовпців.

2.4. Розробка технологічної мови для моделювання ПП

Застосування апарату мереж Петрі вимагає розробки технологічної мови* моделювання. Розглянуті в п.2.1 і роботах [52, 75] області використання МП засновані на традиційному підході. Особливості ПП при їхньому описі мережами Петрі вимагають розширення можливостей останніх. З цією метою запропоновано (табл.2.2) поширення наступного виду:

- введення конвеєрних дуг (вхідної та вихідної);

* Такою мовою назвемо сукупність елементів і методики їх об'єднання в графові структури для відображення технологічного процесу.

- введення стримуючих дуг з вагою;
- введення конвеєрного переходу.

Характеристики нових елементів описані у табл.2.2. Сукупність всіх елементів цієї таблиці з їхніми описами являє собою мову моделювання на основі нового класу МП, отриманого в результаті поширення, і який має властивості автономності, узагальненості і пріоритетності.

Застосування ПММП дозволить, по-перше, скоротити час від постановки задачі до отримання результату. По-друге, така мова дасть можливість в результаті моделювання отримати дані для проектування нових транспортних мереж і обґрунтувати їх ефективність. Технолог, не будучи програмістом та використовуючи запропоновану мову, може ефективно розробляти і вирішувати задачі моделювання ПП із використанням ПЕОМ. Знайдені технологом у процесі аналізу (моделювання) рішення можуть бути перетворені в алгоритм керування процесом з одночасним відображенням станів об'єкту керування.

У цьому підрозділі обґрунтований і конкретизований застосований клас МП. Його можна охарактеризувати як клас **автономних, узагальнених, пріоритетних і поширених МП**.

Автономними назвемо такі МП, що моделюють об'єкт, виходячи з початкового розподілу міток у всіх позиціях моделі. Розподіл міток накладає на користувача додаткову відповідальність, але і забезпечує розуміння логіки перехідних процесів, що відбуваються.

Узагальненими [34] будемо вважати МП, що допускають будь-яку конфігурацію, крім наявності дуг, що з'єднують позицію з позицією чи перехід з переходом. Не обмежуються також кратність дуг і кількість міток у позиціях.

Пріоритетними є мережі, у яких є хоча б одна позиція з вихідними із неї компонентами дуг більше, ніж на один перехід (пункт 1 у табл.2.2). Пріо-

ритет задається нумерацією переходів: великим пріоритетом володіє перехід з меншим номером.

Поширеними МП назвемо мережі, доповнені новими властивостями, що не вживалися раніше. Тут ми коротко перелічимо їх: стримуючі дуги з визначеною цілочисельною вагою та конвеєрні керовані дуги і переходи.

Такий клас МП дозволяє ефективно моделювати технологічні процеси (у тому числі ПП) на ЗТ. Велику користь у поширеннях відіграли роботи [49, 65, 85].

Структури і перетворення в мережах Петрі

У табл.2.2 були наведені елементи МП, що рекомендуються до застосування для задач моделювання.

При моделюванні на основі запропонованої технологічної мови мереж Петрі, можуть бути реалізовані різні варіанти перетворень (спрощень) елементарних мереж, наведені в табл. 2.3.

У цій таблиці $K_n(j,i)$, $K_m(i,j)$ – умовні позначки дуг відповідно вхідних у позицію і перехід.

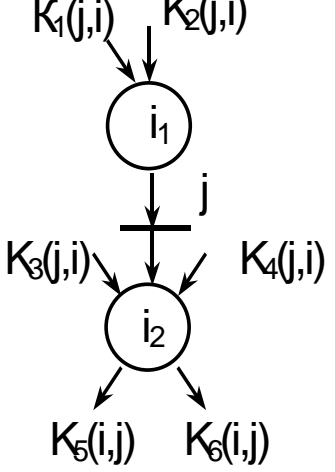
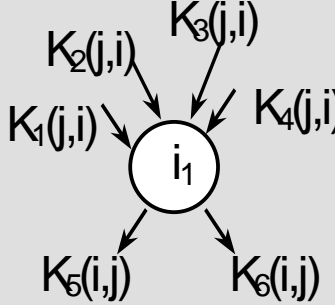
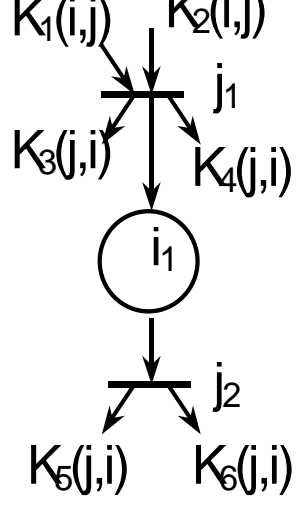
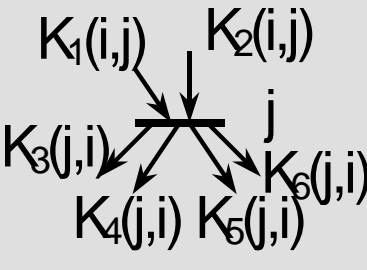
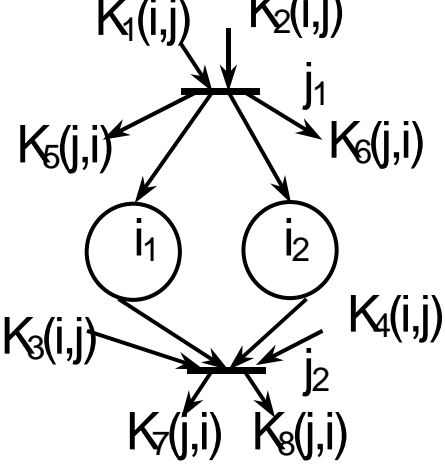
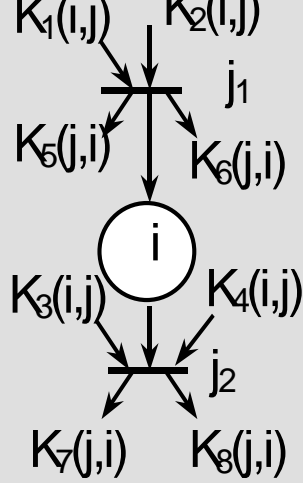
Велике місце при використанні МП займають випадки, коли позиція є входом тільки одного переходу і виходом тільки для одного переходу [47,49]

Для цього варіанта заборонені випадки, що часто зустрічаються на ЗТ, що характеризують розгалуження й об'єднання залізничних напрямків (рис. 2.6).

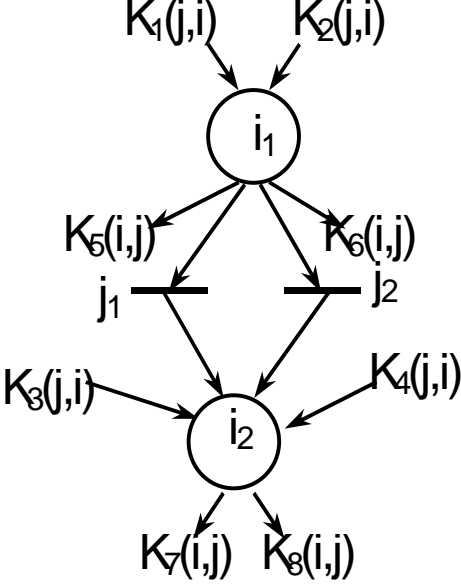
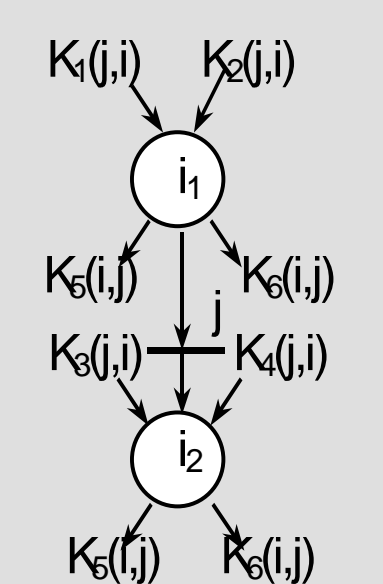
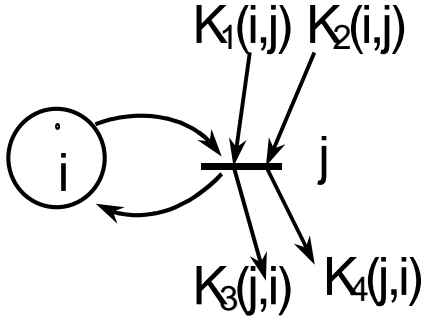
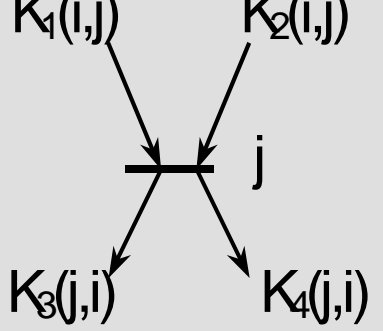
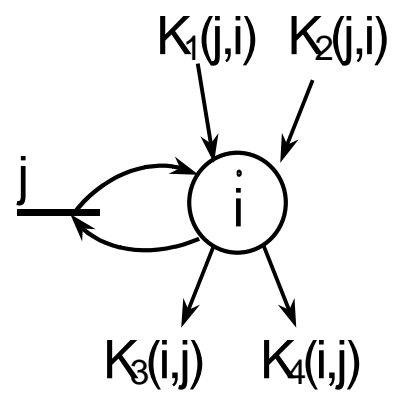
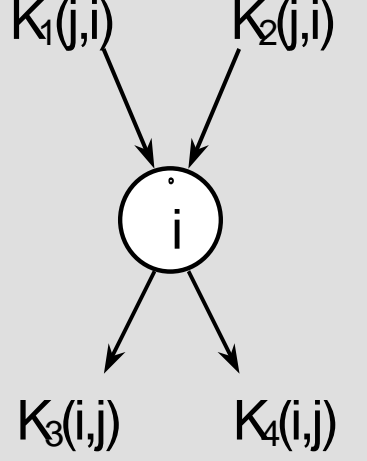
Разом з тим запропоновані в табл. 2.2 поширення МП дозволяють використовувати ці заборонені конфігурації. При цьому можуть бути застосовані операції перетворення, що забезпечують збереження в МП властивостей активності, безпеки й обмеженості (табл. 2.3). У цій таблиці запропоновані наступні перетворення:

Таблиця 2.3

Застосовані варіанти спрощення елементарних мереж Петрі

№ п/п	Найменування мережі	Граф мережі Петрі	Мережа Петрі, отрима- на в результаті злиття
1	Послідовно з'єднані позиції		
2	Послідовно з'єднані переходи		
3	Паралельно з'єднані позиції		

Продовження таблиці 2.3

№ п/п	Найменування мережі	Граф мережі Петрі	Мережа Петрі, отрима- на в результаті злиття
4	Паралельно з'єднані переходи		
5	Позиція з петлею		
6	Перехід з петлею		

1. Злиття послідовно з'єднаних позицій.
2. Злиття послідовно з'єднаних переходів.
3. Злиття паралельно з'єднаних позицій.
4. Злиття паралельно з'єднаних переходів.
5. Виключення позицій з петлями.
6. Виключення переходів з петлями.



Рис. 2.6. Заборонені конфігурації елементів мереж Петрі в класі маркованих графів

Таким чином, перетворення, відбиті в табл.2.3, ілюструють методику мінімізації (спрощення) мереж Петрі, при якій більш ефективною є мережа, що містить менше позицій, переходів і з'єднуючих їх дуг. Наприклад, для випадку 1 табл. 2.3 можна записати

$$K_5, K_6 \Leftrightarrow \varphi(K_1, K_2, K_3, K_4), \quad (2.9)$$

де \Leftrightarrow - символ еквівалентності.

Активністю мережі називається можливість зміни стану переходів із закритого на відкрите і навпаки, **безпекою** - можливість кожної позиції зберігати будь-яке позитивне ціле число міток і **обмеженістю** - відсутність переповнення, характерного для позиції числа, виходячи з фізичного стану моделі.

Зазначені особливості відбиті нами при розробці універсальної моделюючої програми (див. п.2.5 і додаток А).

На підставі запропонованих елементів табл. 2.2 і табл. 2.3 розроблені найбільш розповсюджені фрагменти технологічних процесів, описаних за

допомогою запропонованих **поширених** МП (показані у табл. 2.4).

Так, структура 1 з табл. 2.4 отримана на підставі елементів з рядків 1, 2, 3, 6 і 7 табл. 2.2 і дозволяє робити розподіл ресурсів (наприклад, комплектацію вантажів) паралельно (за 1 такт моделювання).

Структура 2, що використовує стримуючу дугу дозволяє одночасно з пропуском вантажів реєструвати час простою (у 3-й позиції кількість міток відбиває загальне число тактів модельного часу, коли ділянка не діяла) вона використовує елементи, описані в табл. 2.2 (елементів рядків 4, 6, 7, 8).

Структура 3 являє собою модель тимчасової затримки при даних, зазначених у матрицях M_1 , M_2 . Вона отримана з тих же елементів табл. 2.2, що і структура 2.

Структура 4 описує концентрацію ресурсу в одному місці (склад, база), що відбувається паралельно. Структура отримана з елементів 6 і 7 табл. 2.2.

Структура 5 описує розподіл ресурсу з урахуванням можливого використання пріоритету (позиції i_2 , i_3 , i_4) при дефіциті ресурсу. Використано елементи 1, 2, 3, 4, 6, 7 табл. 2.2.

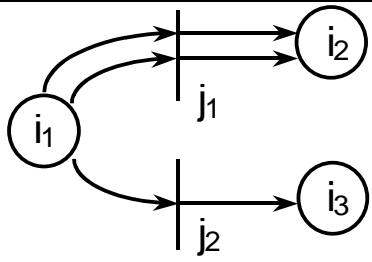
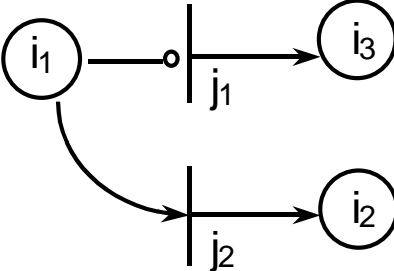
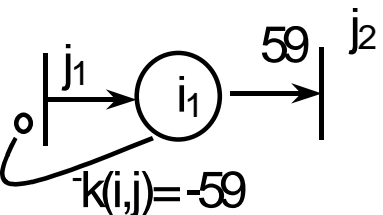
Структура 6 описує обмежуючі умови, що часто зустрічаються на транспорті при забезпеченні умов економічності і безпеки. Структура отримана комбінацією транспортних і стримуючих дуг (елементи 2, 6, 7, 8 табл. 2.2).

Структура 7 забезпечує відкриття переходу j_1 , якщо i_1 містить 4 і більше міток, i_2 містить одну чи більше міток, а i_3 – менше, ніж 5 міток. Використано фрагмент 4, а також 8 (табл. 2.2).

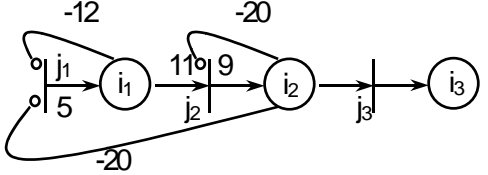
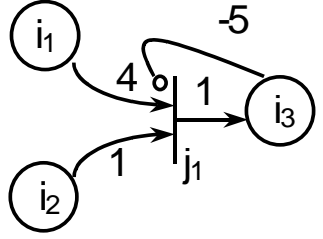
Структура 8 використовує фрагменти 3, 4, 7, 8 табл.2.2 і так само, як структура 7, ставить істинність предиката (чи відкритість/закритість переходу) у залежності від кількості міток як на вході, так і на виході структури. Обмеження вводяться розроблювачем на ваги дуг структури. Істотним є факт управління двома позиціями одним переходом.

Таблиця 2.4

Приклади моделюючих структур мереж Петрі

№ п/п	Мережа Петрі	Опис у матричній формі і моделювання	Застосування на ЗТ																				
1		$M_0 = \begin{vmatrix} 5, 0, 0 \end{vmatrix}$ $M_1 = \begin{vmatrix} 1, 1, 2 \\ 1, 2, 1 \end{vmatrix}$ $M_2 = \begin{vmatrix} 1, 2, 2 \\ 2, 3, 1 \end{vmatrix}$	<p>Моделювання</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="3">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>4</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції			1	2	3	0	5	0	0	1	2	2	1	2	0	4	1	<p>Розподіл ресурсів: навантаження, розвантаження, інформаційні потоки з урахуванням пріоритетності складових.</p> <p>Позиція i_3 зберігає число міток (наприклад вагонів), а позиція i_2 – пари вагонів.</p>
№ такта	Позиції																						
	1	2	3																				
0	5	0	0																				
1	2	2	1																				
2	0	4	1																				
2		$M_1 = \begin{vmatrix} 1, 1, -1 \\ 1, 2, 1 \end{vmatrix}$ $M_2 = \begin{vmatrix} 1, 3, 1 \\ 2, 2, 1 \end{vmatrix}$ $M_0 = \begin{vmatrix} 1, 0, 0 \end{vmatrix}$	<p>Моделювання</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="3">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції			1	2	3	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	1	1	<p>Моделювання умов руху поїзда по ділянках ЗТ: обмеження швидкості, виконання ремонтних робіт на одному з шляхів чи ділянок, вибір маршруту руху поїзда.</p> <p>Позиція i_3 підраховує число простоїв у позиції i_1.</p>
№ такта	Позиції																						
	1	2	3																				
0	1	0	0																				
1	0	1	0																				
2	0	1	1																				
3		$M_1 = \begin{vmatrix} 1, 1, -59 \\ 1, 2, 59 \end{vmatrix}$ $M_2 = \begin{vmatrix} 1, 1, 1 \end{vmatrix}$ $M_0 = \begin{vmatrix} 0 \end{vmatrix}$	<p>Моделювання</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th>Позиція</th> </tr> <tr> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>59</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>⋮</td> <td>⋮</td> </tr> <tr> <td>119</td> <td>119</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиція	1	0	0	1	1	⋮	⋮	59	59	60	0	⋮	⋮	119	119	120	0	<p>Виконує функції таймера. Може здійснювати рахунок осей у системах автоматики; облік кількісних показників вантажних і пасажирських перевезень.</p> <p>Починаючи з вихідного положення 0 модель генерує 0 через 60 тактів.</p> <p>Позиція i_1 генерує регулярний сигнал на кратному 60 числі тактів.</p>
№ такта	Позиція																						
	1																						
0	0																						
1	1																						
⋮	⋮																						
59	59																						
60	0																						
⋮	⋮																						
119	119																						
120	0																						

№ п/п	Мережа Петрі	Опис у матричній формі і моделювання	Застосування на ЗТ																								
4		$M_1 = \begin{pmatrix} 1, 1, 2 \\ 2, 2, 2 \end{pmatrix}$ $M_2 = \begin{pmatrix} 1, 3, 1 \\ 2, 3, 3 \end{pmatrix}$ $M_0 = \begin{pmatrix} 5, 6, 0 \end{pmatrix}$ <p style="text-align: center;">Моделювання</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="3">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції			1	2	3	0	5	6	0	1	3	4	4	2	1	1	8	<p>Інформаційні потоки дорожніх, окремих і інших обчислювальних центрів. У даному прикладі за 6 тактів виконано 6 операцій.</p> <p>Перехід j_1 формує з двох посадкових місць одне, а перехід j_2 – три посадкових місця.</p> <p>За 2 такти моделювання виконані паралельно 4 операції.</p>					
№ такта	Позиції																										
	1	2	3																								
0	5	6	0																								
1	3	4	4																								
2	1	1	8																								
5		$M_1 = \begin{pmatrix} 1, 3, 1 \\ 1, 1, 1 \\ 1, 2, 1 \\ 3, 1, -1 \\ 2, 3, -1 \\ 4, 2, -2 \end{pmatrix}$ $M_2 = \begin{pmatrix} 1, 3, 1 \\ 2, 4, 1 \\ 3, 2, 1 \end{pmatrix}$ $M_0 = \begin{pmatrix} 5, 0, 0, 0 \end{pmatrix}$ <p style="text-align: center;">Моделювання</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="4">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції				1	2	3	4	0	5	0	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	<p>Визначення в реальному масштабі часу місцезнаходження поїзда, чи вагона вантажу; створення динамічних моделей поїзної ситуації в АСОУП.</p> <p>Для розподілу ресурсів по чотирьох фронтах робіт (по 4 позиціях) потрібно 2 такти моделювання.</p>
№ такта	Позиції																										
	1	2	3	4																							
0	5	0	0	0																							
1	2	1	1	1																							
2	1	1	1	2																							

№ п/п	Мережа Петрі	Опис у матричній формі і моделювання	Застосування на ЗТ																																																															
6		<p>Опис у матричній формі і моделювання</p> $M_1 = \begin{vmatrix} 1, 2, 11 \\ 1, 1, 12 \\ 2, 3, 9 \\ 2, 2, -20 \\ 2, 1, -20 \end{vmatrix}$ $M_2 = \begin{vmatrix} 1, 1, 25 \\ 2, 2, 9 \\ 3, 3, 13 \end{vmatrix}$ $M_0 = \begin{vmatrix} 0, 0, 0 \end{vmatrix}$ <table border="1" data-bbox="1104 400 1462 978"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="3">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>25</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>14</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>18</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>28</td><td>18</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>17</td><td>27</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>17</td><td>7</td><td>13</td></tr> <tr><td>7</td><td>6</td><td>16</td><td>13</td></tr> <tr><td>8</td><td>31</td><td>16</td><td>13</td></tr> <tr><td>9</td><td>20</td><td>25</td><td>13</td></tr> <tr><td>10</td><td>20</td><td>5</td><td>26</td></tr> <tr><td>20</td><td>4</td><td>19</td><td>52</td></tr> <tr><td>30</td><td>24</td><td>24</td><td>78</td></tr> <tr><td>40</td><td>19</td><td>9</td><td>117</td></tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції			1	2	3	0	0	0	0	1	25	0	0	2	14	9	0	3	3	18	0	4	28	18	0	5	17	27	0	6	17	7	13	7	6	16	13	8	31	16	13	9	20	25	13	10	20	5	26	20	4	19	52	30	24	24	78	40	19	9	117	<p>Формування потягів; раціональний розподіл вантажів і завантаження вагонів; продаж квитків; перевірка логічних умов безпеки в мікропроцесорних системах централізації і блокування. Наприклад, у пристроях блокування з шляховими датчиками для визначення вільності-зайнятості шляхових ділянок</p> <p>Приклад ілюструє застосування зважених стримуючих і транспортних дуг. Показано перетворення інформації з урахуванням кількісних обмежень.</p>
№ такта	Позиції																																																																	
	1	2	3																																																															
0	0	0	0																																																															
1	25	0	0																																																															
2	14	9	0																																																															
3	3	18	0																																																															
4	28	18	0																																																															
5	17	27	0																																																															
6	17	7	13																																																															
7	6	16	13																																																															
8	31	16	13																																																															
9	20	25	13																																																															
10	20	5	26																																																															
20	4	19	52																																																															
30	24	24	78																																																															
40	19	9	117																																																															
7		<p>Опис у матричній формі і моделювання</p> $M_1 = \begin{vmatrix} 1, 1, 4 \\ 2, 1, 1 \\ 3, 1, -5 \end{vmatrix}$ $M_2 = \begin{vmatrix} 1, 3, 1 \end{vmatrix}$ $M_0 = \begin{vmatrix} 42, 9, 0 \end{vmatrix}$ <table border="1" data-bbox="1081 1062 1413 1334"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="3">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>49</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>38</td><td>8</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>34</td><td>7</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>30</td><td>6</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>26</td><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>22</td><td>4</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції			1	2	3	0	49	9	0	1	38	8	1	2	34	7	2	3	30	6	3	4	26	5	4	5	22	4	5	<p>Моделювання поїзної ситуації; формування потягів; завантаження вагонів; розподіл інформаційних потоків.</p> <p>Граф моделює комплектування 5 вантажів (мітки) з 2-х вагонів (позиції i_1, i_2) з їхнім розміщенням у 3-му вагоні (i_3).</p>																																
№ такта	Позиції																																																																	
	1	2	3																																																															
0	49	9	0																																																															
1	38	8	1																																																															
2	34	7	2																																																															
3	30	6	3																																																															
4	26	5	4																																																															
5	22	4	5																																																															

№ п/п	Мережа Петрі	Опис у матричній формі і моделювання	Застосування на ЗТ																																	
8	<p style="text-align: center;">$-k(i,j) = -5$</p> <p style="text-align: center;">$+k(j,i) = 2$</p>	<p style="text-align: center;">Моделювання</p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr> <td>$M_1 =$</td> <td>$\begin{vmatrix} 1, 1, -5 \\ 3, 1, 1 \end{vmatrix}$</td> </tr> <tr> <td>$M_2 =$</td> <td>$\begin{vmatrix} 1, 1, 1 \\ 1, 2, 2 \end{vmatrix}$</td> </tr> <tr> <td>$M_0 =$</td> <td>$\begin{vmatrix} 0, 0, 6 \end{vmatrix}$</td> </tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="3">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	$M_1 =$	$\begin{vmatrix} 1, 1, -5 \\ 3, 1, 1 \end{vmatrix}$	$M_2 =$	$\begin{vmatrix} 1, 1, 1 \\ 1, 2, 2 \end{vmatrix}$	$M_0 =$	$\begin{vmatrix} 0, 0, 6 \end{vmatrix}$	№ такта	Позиції			1	2	3	1	1	2	5	2	2	4	4	3	3	6	3	4	4	8	2	5	5	10	1	<p>Моделювання просування на полігоні паперової (позиція i_1) і електронної (позиція i_2) поїзних документів. Інформація про потяг передається в міру його просування по станціях і ділянках.</p> <p>Приклад демонструє можливості відкритого транспортного переходу по необмеженому забезпеченню ресурсами (мітками) позицій вихідними з нього дугами відповідно до їхньої ваги.</p>
$M_1 =$	$\begin{vmatrix} 1, 1, -5 \\ 3, 1, 1 \end{vmatrix}$																																			
$M_2 =$	$\begin{vmatrix} 1, 1, 1 \\ 1, 2, 2 \end{vmatrix}$																																			
$M_0 =$	$\begin{vmatrix} 0, 0, 6 \end{vmatrix}$																																			
№ такта	Позиції																																			
	1	2	3																																	
1	1	2	5																																	
2	2	4	4																																	
3	3	6	3																																	
4	4	8	2																																	
5	5	10	1																																	
9	<p style="text-align: center;">$+k(j,i) = 2$</p> <p style="text-align: center;">$-k(i,j) = -1$</p> <p style="text-align: center;">$+k(i,j) = 1$</p> <p style="text-align: center;">$+k(i,j) = 2$</p>	<p style="text-align: center;">Моделювання</p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr> <td>$M_1 =$</td> <td>$\begin{vmatrix} 1, 1, -1 \\ 1, 2, 2 \\ 1, 3, 1 \end{vmatrix}$</td> </tr> <tr> <td>$M_2 =$</td> <td>$\begin{vmatrix} 3, 1, 2 \\ 1, 1, 1 \end{vmatrix}$</td> </tr> <tr> <td>$M_0 =$</td> <td>$\begin{vmatrix} 0 \end{vmatrix}$</td> </tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th>Позиція</th> </tr> <tr> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	$M_1 =$	$\begin{vmatrix} 1, 1, -1 \\ 1, 2, 2 \\ 1, 3, 1 \end{vmatrix}$	$M_2 =$	$\begin{vmatrix} 3, 1, 2 \\ 1, 1, 1 \end{vmatrix}$	$M_0 =$	$\begin{vmatrix} 0 \end{vmatrix}$	№ такта	Позиція	1	0	0	1	1	2	2	3	0	4	1	5	2	<p>Моделювання складних послідовностей технологічного процесу функціонування ЗТ (чекання у зв'язку з подачею вагона, навантаженням, вивантаженням і т.п.) однією простою моделлю зі змінюваною величиною затримки. У найпростішому випадку – модель таймера.</p>												
$M_1 =$	$\begin{vmatrix} 1, 1, -1 \\ 1, 2, 2 \\ 1, 3, 1 \end{vmatrix}$																																			
$M_2 =$	$\begin{vmatrix} 3, 1, 2 \\ 1, 1, 1 \end{vmatrix}$																																			
$M_0 =$	$\begin{vmatrix} 0 \end{vmatrix}$																																			
№ такта	Позиція																																			
	1																																			
0	0																																			
1	1																																			
2	2																																			
3	0																																			
4	1																																			
5	2																																			

Продовження таблиці 2.4

№ п/п	Мережа Петрі	Опис у матричній формі і моделювання	Застосування на ЗТ																																																							
10		<p>Опис у матричній формі і моделювання</p> <p>Матриця M_1:</p> $M_1 = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 \\ 5 & 2 & 0 \\ 6 & 3 & 0 \\ 5 & 1 & -1 \\ 6 & 2 & -1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 2 & 1 & -1 \\ 2 & 1 & -1 \\ 2 & 5 & 1 \\ 2 & 4 & -1 \\ 3 & 3 & -1 \\ 3 & 5 & -1 \\ 3 & 6 & 1 \end{pmatrix}$ <p>Матриця M_2:</p> $M_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 0 \\ 2 & 6 & 0 \\ 3 & 7 & 0 \\ 4 & 2 & 1 \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$ <p>Матриця M_0:</p> $M_0 = 2, 0, 0, 7, 9, 0, 0 $ <p>Моделювання</p> <table border="1" data-bbox="1086 510 1541 710"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ такта</th> <th colspan="7">Позиції</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>7</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	№ такта	Позиції							1	2	3	4	5	6	7	1	1	1	0	7	0	9	0	2	0	1	1	7	0	0	9	3	0	1	0	0	7	0	9	4	0	0	1	0	7	0	9	5	0	0	0	0	0	7	9	<p>У прикладі використовуються транспортні ділянки (позиції i_1, i_2, i_3, переходи j_4, j_5, j_6 і дуги між ними) для моделювання руху потягів і конвеєрний ланцюг (позиції i_4, i_5, i_6, i_7) для передачі їхніх номерів.</p>
№ такта	Позиції																																																									
	1	2	3	4	5	6	7																																																			
1	1	1	0	7	0	9	0																																																			
2	0	1	1	7	0	0	9																																																			
3	0	1	0	0	7	0	9																																																			
4	0	0	1	0	7	0	9																																																			
5	0	0	0	0	0	7	9																																																			

Структура 9 описує складну (не миттєву) подію. Вона дає можливість відраховувати визначену кількість кроків моделювання і дозволяє моделювати часи виконання будь-яких технологічних процесів. Структура 9 використовує фрагменти 1, 8 табл. 2.2.

Структура 10 (з тієї ж табл. 2.4) описує керуючу конвеєрну лінію, що моделює синхронне переміщення рухомої одиниці ЗТ і супутньої їй інформації. Для побудови структури 10 використані усі фрагменти табл. 2.2.

Аналіз зміни маркувань у позиціях за часом (дискретний час відбивається тактами) показав коректність поведження моделей, що наведені в табл. 2.4.

2.5. Побудова програми моделювання

У цьому розділі приводиться опис програми, призначеної для моделювання ПП на ЗТ.

Основні положення

Виходячи з наведеного вище алгоритму обробки мереж Петрі (рис. 2.5) і обраних вище поширень мережі, можна визначити програмну реалізацію безвідносно до вибору мови програмування.

Ядром програми є 4 масиви (два двомірних і два одномірних). Два двомірних і один одномірний масиви призначені для опису графа Петрі. Масив M_1 використовується для опису множини I дуг (вихідних з позицій I), що входять у переходи J , тобто

$$M_1 = M(I, J), \quad (2.10)$$

де I, J - множини позицій і переходів графа Петрі, а $M(I, J)$ – список вихідних дуг графа.

Масив M_2 призначений для опису множини дуг, що виходять з переходу J , та входять у позиції I , тобто

$$M_2=M(J,I), \quad (2.11)$$

де $M(J,I)$ – список дуг графа.

У більшості публікацій по програмній реалізації алгоритму Петрі рекомендується реалізувати масиви M_1 і M_2 у просторі позицій і переходів, тобто $|M_1|=I*J$ и $|M_2|=J*I$. Цей простір **постійний** для обох масивів і він збитковий, тобто займає великий обсяг пам'яті. Більш зручним є перехід до частково фіксованого простору. Використовується той факт, що в обох матрицях (масивах M_1 і M_2) записуються дуги $K(M_1)$ і $K(M_2)$ відповідно. Так, у випадку реалізації програми вихідні дані: номери джерел інформації; приймачів інформації та вага кожної дуги можуть бути представлені у єдиному вигляді списків

$$M_1= \{ I, J, k(i,j) \}, \quad M_2= \{ J, I, k(j,i) \}. \quad (2.12)$$

У формулі (2.12) відсутні нульові елементи, нульовим може бути тільки параметр ваги, який не є елементом мережі. Це використано при описі одного з поширень як ознаку типу дуги.

Таким чином, фіксованими у даному випадку виявилися стовпці (три), а число рядків відповідає числу дуг у кожному з двох масивів, тобто число рядків кожного з масивів визначається співвідношеннями

$$N_1(M_1)=3*K(i,j), \quad N_2(M_2)=3*K(j,i). \quad (2.13)$$

Третій масив має розмірність кількості задіяних позицій. Число міток кожної позиції задається розроблювачем і являє собою вектор початкового маркування M_{i0} .

Четвертий масив M' - одномірний. Він призначений для збереження і модифікації списку відкритих переходів на першому етапі кожного такту роботи з переглядів матриць. Цей масив має розмірність масиву M_{i0} . Коли закриті всі переходи моделі (мережа "мертва"), можна аналізувати отримані результати моделювання. Час моделювання задається розроблювачем і бажано, щоб він співпадав з часом роботи ("життя") моделі.

Опис програми

Вище відзначено, що алгоритм обробки МП складається з 2-х етапів:

1. Аналіз переходів на відкривання. 2. Видача з відкритих переходів у кожному положенні числа міток, визначених їхньою вагою $k(i,j)$. Розглянемо їх докладніше.

Ф1. Аналіз на відкривання переходів здійснюється шляхом порівняння даних масиву M_1 та вектора маркування M_{10} . На початку кожного перегляду всі переходи вважаються відкритими. Якщо, наприклад, у перехід j не входить жодна дуга, тобто немає ніяких обмежень, то він відкритий і ознака відкритості переходу не змінюється (таким символом обраний нуль). У загальному випадку кожен запуск переходу, робиться після того, як аналіз показав, що він дозволений. Дозволеним називається перехід, що має в кожній зв'язаній з ним позиції, число міток не менше, ніж число дуг $K(i,j)$, тобто умова відкритого переходу $J=0$ (у закритого переходу $J=1$):

Для транспортної дуги з вагою $+k(i,j)$ зв'язаний з нею перехід відкритий, якщо

$$m_i \geq +k(i,j). \quad (2.14)$$

Для стримуючої дуги з вагою $-k(i,j)$ зв'язаний з нею перехід відкритий, якщо

$$m_i \leq -k(i,j). \quad (2.15)$$

Для конвексної дуги $^0k(i,j)$ зв'язаний з нею перехід відкритий, якщо число міток, що знаходилось у позиціях джерела, дорівнює числу міток позиції отримувача

$$m_i = m_j. \quad (2.16)$$

Якщо з множини дуг $+k(i,j)$, $-k(i,j)$, $^0k(i,j)$ є хоча б одна, для якої не виконуються умови (2.14) - (2.16), то перехід закритий. Для транспортних дуг при відкритті переходів з позицій віднімається вага вхідної дуги $+k(i,j)$, тобто розмітка i -ої позиції змінюється

$$m_i' = m_i - k(i,j), \quad (2.17)$$

де m_i – початкове число міток у позиції, m_i' – число міток, що залишилося у цій позиції.

Стримуючі дуги не є ресурсоспоживаючими і віднімання міток не відбувається.

Конверсні дуги забезпечують завжди відкритий перехід

$$m_i' = m_i - m_i = 0. \quad (2.18)$$

Зі сказаного випливає, що співвідношення (2.14) - (2.18) здійснюються з використанням масивів M_1 і M_{i_0} . Отже, у результаті аналізу визначається підмножина з множини відкритих переходів, що не виконують названі співвідношення. Їм проставляється ненульове цілочисельне значення ознаки закритості (наприклад, $J=2$). При цьому досить невідповідності лише по одній дузі.

Ф2. Множина відкритих переходів призводить до зміни маркування у позиціях. При цьому використовуються масиви M_2 і M_{i_0} , причому для транспортних дуг, як було показано вище, нове маркування (після визначення відкритих переходів) задається формулою

$$m_i'' = m_i' + k(i,j). \quad (2.19)$$

Розроблювач при коректно складеному графі Петрі може допустити помилки при формуванні масивів M_1 і M_2 , тобто не дотримуватися послідовного характеру опису. Пояснимо, як це робиться. Логічно брати позицію з найменшим номером для M_1 і описати усі вихідні з них дуги з їх вагою $k(i,j)$. Потім так само описується наступна за нею по номеру позиція і т.д, доки не будуть описані усі позиції графа. Після цього проводиться аналогічна процедура побудови для масиву M_2 . При цьому виписуються дуги з вагами $k(j,i)$. Незважаючи на простоту, оператор часто порушує таку послідовність (якщо число позицій і переходів, наприклад, біля сотні і більше). Тому перший блок

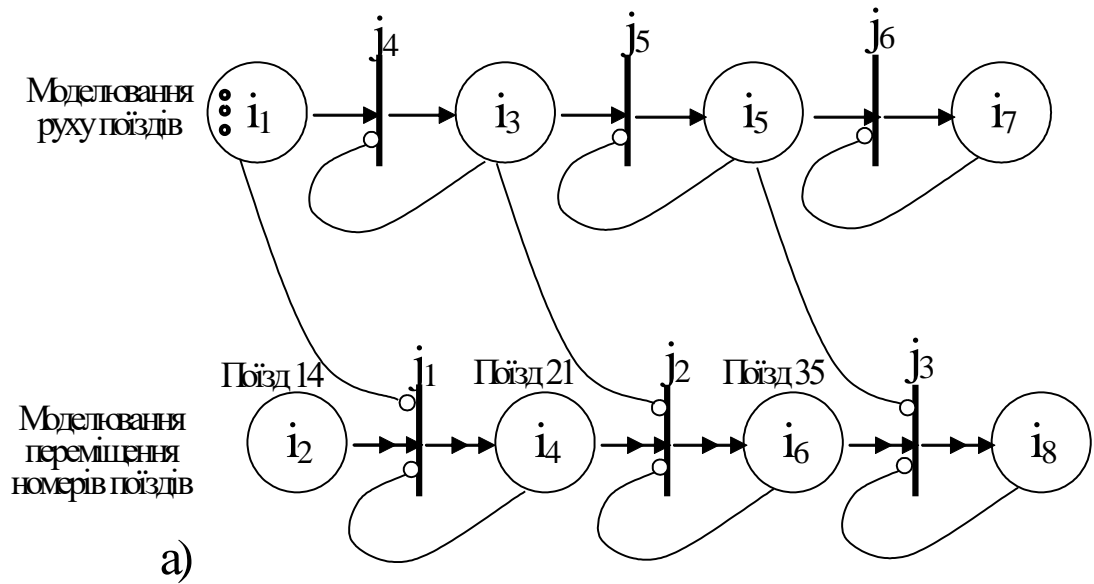
краще доповнити процедурою упорядкування, що автоматично розташує всі трійки (наприклад, на рис. 2.7) у потрібному порядку, і це підвищить швидкість машинної обробки. Як видно з опису, основний зміст і обсяг програми визначається обсягом масивів, що вводяться, M_1 , M_2 , M_{i0} , M' . Обробна частина програми складає десятки кілобайт. Робоча програма написана на скороченому варіанті мови Паскаль, у обчислювальному середовищі Delphi.

Нижче як приклад наведено використання розробленої програми для моделювання процесу руху поїздів №№14, 21, 35 на ділянці залізниці (рис.2.7).

Цей малюнок зображує процес руху поїздів за допомогою транспортних дуг, що зв'язують позиції i_1 , i_3 , i_5 , i_7 . Позиції i_2 , i_4 , i_6 , i_8 зв'язані конвеєрними дугами; вони відображують "переміщення" номерів поїздів з використанням стримуючих дуг, показаних у нижній частині рис. 2.7, а. Переміщення поїздів з урахуванням безпеки* забезпечується стримуючими дугами, що входять у переходи $j_4 - j_6$ верхнього ряду рис. 2.7.

Розглянемо динаміку процесу переміщення поїздів. У початковому положенні в позиції i_1 знаходяться 3 мітки (вони моделюють 3 поїзди). У конвеєрній мережі в позиціях i_2 , i_4 , i_6 зберігаються 3 номери поїздів 14, 21, 35. У перший момент часу моделювання з позиції i_1 іде одна мітка, залишаючи в ній 2 інших. Ця мітка іде в позицію i_3 , при цьому перехід j_3 відкритий, тому що в позиціях i_5 та i_8 мітки відсутні. Мітка, що відповідає поїзду 35, знаходиться в позиції i_6 та переходить у вільну позицію i_8 . В другий момент часу з позиції i_3 мітка переходить у позицію i_5 , при цьому забороняється робота переходів j_3 та j_5 , що відповідають стримуючими дугами. У третій момент часу відкриваються переходи j_6 та j_2 . Це дає можливість помістити мітку поїзда в позицію i_7 з позиції i_5 і перемістити мітку, що відповідає поїзду №21 у позицію

* Безпека - це умова, коли під час руху в позиції знаходиться тільки одна мітка чи один номер поїзда.



M_1	M_2	M
1, 1, -1	1, 4, 0	1
1, 4, 1	2, 6, 0	2
2, 1, 0	3, 8, 0	3
3, 2, -1	4, 3, 1	4
3, 4, -1	5, 5, 1	5
3, 5, 1	6, 7, 1	6
4, 1, -1		7
4, 2, 0	M_{10}	8
5, 3, -1	3	
5, 5, -1	14	
5, 6, 1	0	
6, 2, -1	21	
6, 3, 0	0	
7, 6, -1	35	
8, 3, -1	0	
	0	

б)

Модельовання

№ такта	Позиції							
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8
0	3	14	0	21	0	35	0	0
1	2	14	1	21	0	0	0	35
2	2	14	0	21	1	0	0	35
3	1	14	1	0	0	21	1	35
4	1	14	0	0	1	21	1	35
5	0	14	1	0	1	21	1	35
6	0	0	1	14	1	21	1	35

в)

Рис. 2.7. Мережа Петрі для модельовання руху поїздів з №№14, 21, 35 на ділянці залізниці:

а) граф; б) матричний опис; в) модельовання

i_6 . Мітка поїзда з позиції i_1 іде також у перехід j_3 , залишаючи в переході i_1 лише одну мітку. У четвертий момент часу відкривається перехід j_5 та мітка (поїзд) переходить у позицію i_5 . У п'ятий момент часу відкритий перехід j_4 та на маршрут зі станції (позиція i_1) іде останній поїзд, відкриваючи перехід j_1 для передачі відповідного номера поїзда - №14. У шостий момент часу відкритий тільки перехід j_1 і в позицію i_4 по конвеєрній лінії надходить номер останнього поїзда (№14) (Далі мережа зупиняється, бо жоден перехід не може відкритися).

У такий спосіб рис.2.7,а відображує динаміку роботи моделі шляхом відображення ситуації за 6 моментів часу (номера тактів 1, 2, 3, 4, 5, 6 на рис.2.7,в). При цьому відзначимо, що переміщення по конвеєру здійснюються тільки при відсутності міток у транспортній позиції і конвеєрній лінії, а по транспортній лінії - тільки при відсутності мітки на наступній позиції (умова безпеки), тому що на ділянці (тобто в позиції повинен перебувати тільки один поїзд). Для випадку, коли на станції потрібно перебування більш одного поїзда (наприклад, n поїздів), позиція і відповідний перехід відображаються у вигляді рис. 2.8.

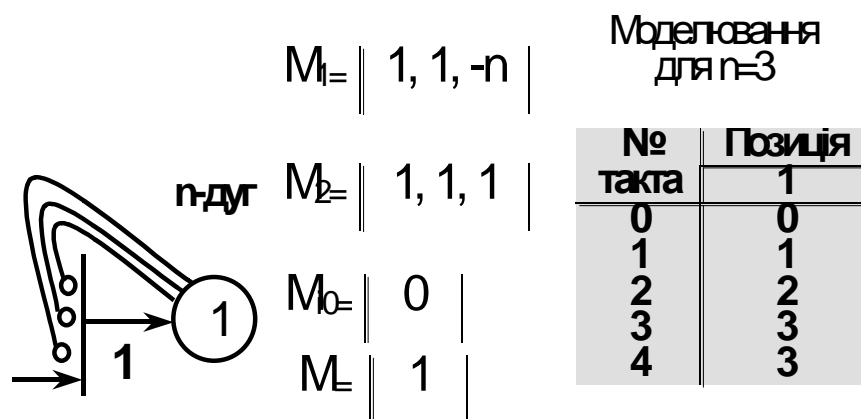


Рис. 2.8. Варіант одночасного прийому станцією n -поїздів

Висновки

1. На підставі розгляду перевізного процесу як об'єкту обґрунтована доцільність використання математичного апарату мереж Петрі для ефективного моделювання перевезень на ЗТ.

2. На основі запропонованих автором поширень узагальнених мереж Петрі розроблена технологічна мова моделювання ПП, що забезпечує маршрутизацію, відстеження номерів поїздів, враховує динаміку ПП, технологічні процеси, безпеку руху.

3. Особливості застосування математичного апарату мереж Петрі поставили вимоги щодо введення додаткових поширень у мережах. Як такі поширення автором введені конвеєрні і зважені стримуючі дуги, що дозволяють моделювати ПП на залізницях.

4. Створена програма Winpet, що коректно обробляє різні класи моделей мереж Петрі – від автоматних до ординарних.

5. Застосування розробленого програмного забезпечення дає можливість технологу, що не має спеціальної підготовки з програмування, вирішувати задачі моделювання ПП і його удосконалення при зміні виробничих ситуацій.

6. Автономність узагальненої моделі наближає моделювання до рівня інженерного експерименту, тобто дає можливість розподілу ресурсів оптимальним чином.

7. Знайдено варіант використання одного і того ж переходу для процедури управління, як рухом по транспортних мережах, так і по конвеєрних.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ НА МОВІ МЕРЕЖ ПЕТРІ

3.1. Загальні положення і визначення

Вперше в Україні публікації про ТК, які описуються за допомогою МП, з'явилися у середині 90-х років минулого сторіччя [41, 75, 76]. Вони були основою для розвитку методів моделювання на залізницях. До недоліків цих публікацій слід віднести деяку абсолютизацію поняття ТК, який являє собою частковий (хоча і важливий) випадок МП та відсутність єдиного підходу до мережі, якою є Укрзалізниця. Крім того, в цих роботах не ставилося питання розробки технологічної мови моделювання.

Нижче на основі системного підходу досліджені транспортні мережі наступного виду:

- мережі залізниць України (УЗ);
- мережі ТК без урахування супутніх перевезень.

Узагальнену схему УЗ можна представити у вигляді звичайної однодольної мережі (рис. 3.1).

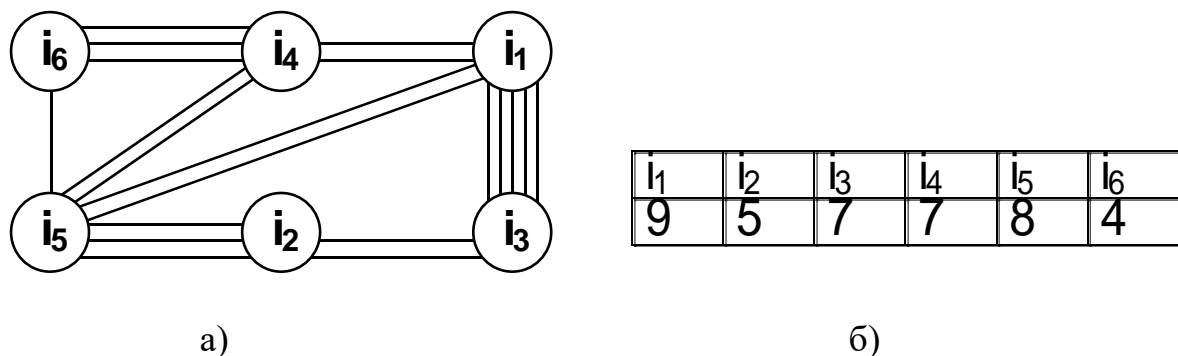


Рис. 3.1. Узагальнена структура мережі УЗ:

а) мережа УЗ; б) таблиця зв'язності УЗ

На рис. 3.1,а кожна дуга являє собою пару орієнтованих дуг прямого і

зворотного напрямків і відбиває історично сформовану в країні структуру перевезень.

У даному розділі поставлена і вирішена задача дослідження структури УЗ за допомогою описаного у розділі 2 ПММП. Ця задача складається з:

- дослідження існуючої структури УЗ на МП;
- формування перспективних ТК як частини структури УЗ;
- дослідження ефективності функціонування ТК.

Перша проблема полягає в означенні структури УЗ, що оцінюється зв'язністю елементів структури (рис. 3.1, б).

Поняття **транспортний коридор (ТК)** визначимо як тимчасову організацію залізничної транспортної мережі для забезпечення необхідної пропускної здатності у визначеному напрямку. Реалізацію ТК можна розглядати як одну із задач адаптації УЗ до умов ринкових перетворень і задоволення зростаючих вимог до якості й ефективності перевезень на Україні [45, 48, 53, 56]. ТК призначається для перевезення визначених видів вантажу при відомих обсягах і термінах початку і закінчення роботи ТК. Питання про доцільність організації ТК припускає, насамперед, його техніко-економічне обґрунтування. До числа факторів, що визначають можливість організації ТК у масштабах України, є пропускна здатність кожного з напрямків, а також обмеження, властиві для різних економічних регіонів. Помітимо, що ТК, який функціонує в режимі тривалої експлуатації, повинний бути двонаправленим, а його основна мета - проведення запланованих вантажно-розвантажувальних робіт на обох "кінцях" (А,В) коридору з транспортуванням вантажу між ними. Істотним є повернення вагонів у точку навантаження через шлях, установлений на практиці їх відповідності вимогам вантажу, що перевозиться. Абстрактна модель ТК приведена на рис. 3.2, де з використанням символіки МП позначені "кінці" ТК (позиції i_1 та i_6 , i_3 та i_4). Позиції i_2 та i_5 з відповідними переходами (j_1 - j_6) формують строки проходження поїздів, а величини α_n і β_m відображають відповідно товарний (вантажний) потік і супровідну інформа-

цію. На моделі відзначена двонаправленість ТК як основної його риси. У такий спосіб ТК являє собою сукупність двох множин, з яких перша – множина вантажів, а друга – інформаційна множина.

ТК можна представити як залізничну організаційну структуру, яка призначена для перевезень вантажів β_m ($\beta_m = \overline{1,4}$), що супроводжується передачею супутньої інформації α_m ($\alpha_m = \overline{1,4}$).

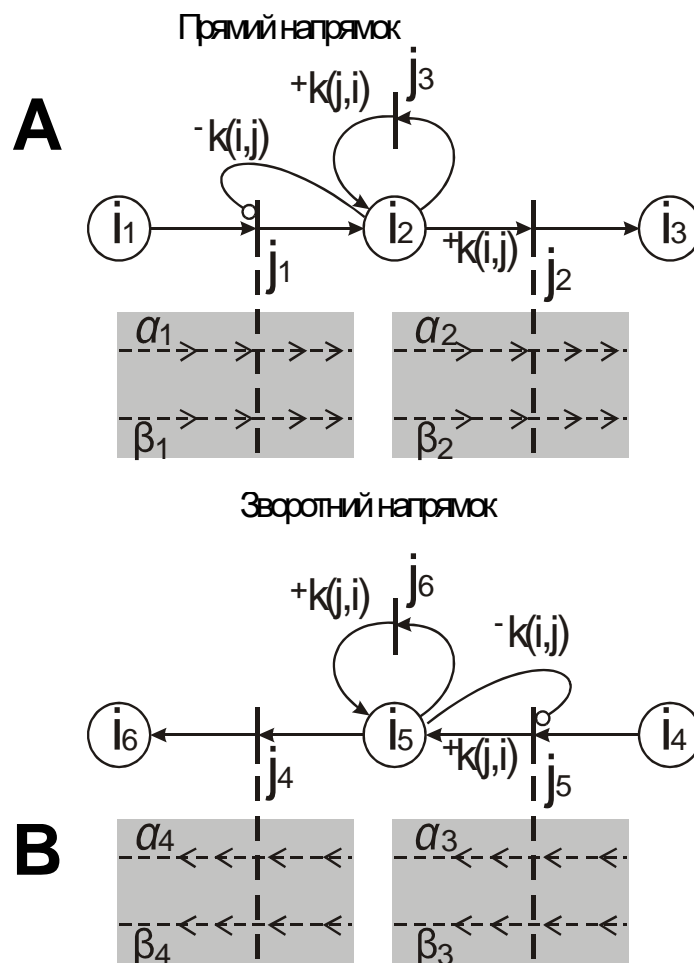


Рис. 3.2. Абстрактна модель ТК на мережах Петрі:

α_n ($n = \overline{1,4}$) – супровідна інформація; β_m ($m = \overline{1,4}$) – вантаж

Розглядаючи різні форми побудови ТК у їх вартісному вигляді, дійдемо висновку, що найбільш економічним і гнучким для УЗ є використання змішаних перевезень [15, 70, 71, 72]. Конкретизація абстрактної моделі породжує макромоделі.

3.2. Побудова макромоделі ТК

Розкриємо зміст абстрактної макромоделі за допомогою її конкретизації, що буде полягати в наступному. Сполучимо (зіллємо) по дві позиції рис. 3.2 в одну: i_1 з i_6 і i_3 з i_4 . У результаті одержимо типову узагальнену модель ТК, приведену на рис. 3.3. Тут позиція i_5 фіксує надходження вантажів, а i_6 – кількість составів, що повернулися після доставки вантажів*.

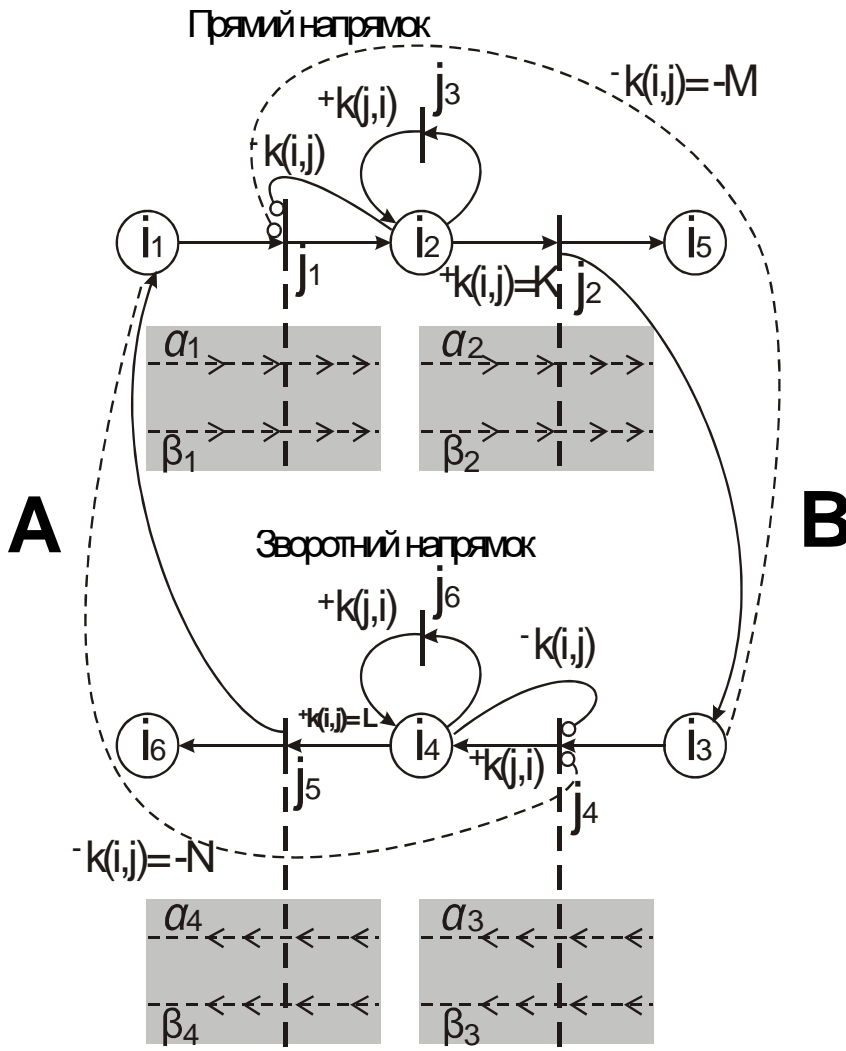


Рис. 3.3. Граф Петрі спрощеної моделі ТК

На рис. 3.4. наведено матричний опис функціонування моделі, зображеної на рис. 3.3.

* Тут і далі на всіх дугах з непроставленою вагою вага дорівнює 1

<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_1</th> <th>M_2</th> <th>M_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1, 1, 1</td><td>1, 2, 1</td><td>10</td></tr> <tr><td>2, 1, -1</td><td>2, 3, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 2, K</td><td>2, 5, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 3, 1</td><td>3, 2, 2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3, 4, 1</td><td>4, 4, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4, 4, -1</td><td>5, 1, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4, 5, L</td><td>5, 6, 1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	M_1	M_2	M_0	1, 1, 1	1, 2, 1	10	2, 1, -1	2, 3, 1	0	2, 2, K	2, 5, 1	0	2, 3, 1	3, 2, 2	0	3, 4, 1	4, 4, 1	0	4, 4, -1	5, 1, 1	0	4, 5, L	5, 6, 1	0	a)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_1</th> <th>M_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1, 1, 1</td><td>1, 2, 1</td></tr> <tr><td>2, 1, -1</td><td>2, 3, 1</td></tr> <tr><td>2, 2, 6</td><td>2, 5, 1</td></tr> <tr><td>2, 3, 1</td><td>3, 2, 2</td></tr> <tr><td>3, 4, 1</td><td>4, 4, 1</td></tr> <tr><td>4, 4, -1</td><td>5, 1, 1</td></tr> <tr><td>4, 5, 6</td><td>5, 6, 1</td></tr> </tbody> </table>	M_1	M_2	1, 1, 1	1, 2, 1	2, 1, -1	2, 3, 1	2, 2, 6	2, 5, 1	2, 3, 1	3, 2, 2	3, 4, 1	4, 4, 1	4, 4, -1	5, 1, 1	4, 5, 6	5, 6, 1	б)		
M_1	M_2	M_0																																											
1, 1, 1	1, 2, 1	10																																											
2, 1, -1	2, 3, 1	0																																											
2, 2, K	2, 5, 1	0																																											
2, 3, 1	3, 2, 2	0																																											
3, 4, 1	4, 4, 1	0																																											
4, 4, -1	5, 1, 1	0																																											
4, 5, L	5, 6, 1	0																																											
M_1	M_2																																												
1, 1, 1	1, 2, 1																																												
2, 1, -1	2, 3, 1																																												
2, 2, 6	2, 5, 1																																												
2, 3, 1	3, 2, 2																																												
3, 4, 1	4, 4, 1																																												
4, 4, -1	5, 1, 1																																												
4, 5, 6	5, 6, 1																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_1</th> <th>M_2</th> <th>I_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1, 1, 1</td><td>1, 2, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 1, -1</td><td>2, 3, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 2, 3</td><td>2, 5, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 3, 1</td><td>3, 2, 2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3, 4, 1</td><td>4, 4, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4, 4, -1</td><td>5, 1, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4, 5, 6</td><td>5, 6, 1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	M_1	M_2	I_0	1, 1, 1	1, 2, 1	0	2, 1, -1	2, 3, 1	0	2, 2, 3	2, 5, 1	0	2, 3, 1	3, 2, 2	0	3, 4, 1	4, 4, 1	0	4, 4, -1	5, 1, 1	0	4, 5, 6	5, 6, 1	0	в)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_1</th> <th>M_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1, 1, 1</td><td>1, 2, 1</td></tr> <tr><td>2, 1, -1</td><td>2, 3, 1</td></tr> <tr><td>2, 2, 6</td><td>2, 5, 1</td></tr> <tr><td>2, 3, 1</td><td>3, 2, 2</td></tr> <tr><td>3, 4, 1</td><td>4, 4, 1</td></tr> <tr><td>4, 4, -1</td><td>5, 1, 1</td></tr> <tr><td>4, 5, 3</td><td>5, 6, 1</td></tr> </tbody> </table>	M_1	M_2	1, 1, 1	1, 2, 1	2, 1, -1	2, 3, 1	2, 2, 6	2, 5, 1	2, 3, 1	3, 2, 2	3, 4, 1	4, 4, 1	4, 4, -1	5, 1, 1	4, 5, 3	5, 6, 1	г)		
M_1	M_2	I_0																																											
1, 1, 1	1, 2, 1	0																																											
2, 1, -1	2, 3, 1	0																																											
2, 2, 3	2, 5, 1	0																																											
2, 3, 1	3, 2, 2	0																																											
3, 4, 1	4, 4, 1	0																																											
4, 4, -1	5, 1, 1	0																																											
4, 5, 6	5, 6, 1	0																																											
M_1	M_2																																												
1, 1, 1	1, 2, 1																																												
2, 1, -1	2, 3, 1																																												
2, 2, 6	2, 5, 1																																												
2, 3, 1	3, 2, 2																																												
3, 4, 1	4, 4, 1																																												
4, 4, -1	5, 1, 1																																												
4, 5, 3	5, 6, 1																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_1</th> <th>M_2</th> <th>M_0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1, 1, 1</td><td>1, 2, 1</td><td>10</td></tr> <tr><td>2, 1, -1</td><td>2, 3, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 2, 3</td><td>2, 5, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2, 3, 1</td><td>3, 2, 2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3, 4, 1</td><td>4, 4, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4, 4, -1</td><td>5, 1, 1</td><td>0</td></tr> <tr><td>4, 5, 3</td><td>5, 6, 1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	M_1	M_2	M_0	1, 1, 1	1, 2, 1	10	2, 1, -1	2, 3, 1	0	2, 2, 3	2, 5, 1	0	2, 3, 1	3, 2, 2	0	3, 4, 1	4, 4, 1	0	4, 4, -1	5, 1, 1	0	4, 5, 3	5, 6, 1	0	д)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_1</th> <th>M_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1, 1, 1</td><td>1, 2, 1</td></tr> <tr><td>2, 1, -1</td><td>2, 3, 1</td></tr> <tr><td>2, 2, 3</td><td>2, 5, 1</td></tr> <tr><td>2, 3, 1</td><td>3, 2, 2</td></tr> <tr><td>3, 4, 1</td><td>4, 4, 1</td></tr> <tr><td>3, 5, 6</td><td>4, 4, 1</td></tr> <tr><td>3, 1, -10</td><td>5, 1, 1</td></tr> <tr><td>3, 4, -10</td><td>5, 6, 1</td></tr> </tbody> </table>	M_1	M_2	1, 1, 1	1, 2, 1	2, 1, -1	2, 3, 1	2, 2, 3	2, 5, 1	2, 3, 1	3, 2, 2	3, 4, 1	4, 4, 1	3, 5, 6	4, 4, 1	3, 1, -10	5, 1, 1	3, 4, -10	5, 6, 1	е)
M_1	M_2	M_0																																											
1, 1, 1	1, 2, 1	10																																											
2, 1, -1	2, 3, 1	0																																											
2, 2, 3	2, 5, 1	0																																											
2, 3, 1	3, 2, 2	0																																											
3, 4, 1	4, 4, 1	0																																											
4, 4, -1	5, 1, 1	0																																											
4, 5, 3	5, 6, 1	0																																											
M_1	M_2																																												
1, 1, 1	1, 2, 1																																												
2, 1, -1	2, 3, 1																																												
2, 2, 3	2, 5, 1																																												
2, 3, 1	3, 2, 2																																												
3, 4, 1	4, 4, 1																																												
3, 5, 6	4, 4, 1																																												
3, 1, -10	5, 1, 1																																												
3, 4, -10	5, 6, 1																																												

Рис. 3.4. Матричний опис функціонування моделі ТК:

а) для довільних K і L ; б) для $K=L=6$; в) для $K=6$, $L=3$; г) для $K=3$, $L=6$; д) для $K=3$, $L=3$; е) з урахуванням стримуючих дуг з вагою $M=N=10$; K і L - величини, пропорційні затримкам поїздів при проходженні ними ТК; M - обмеження на вантаж; N - обмеження на число поїздів, виділене для роботи у ТК (K , L - відповідно швидкості руху в прямому і зворотному напрямках; M , N - число поїздів, що працюють на прямому і зворотньому напрямках).

Оцінимо, як будуть впливати на пропускну здатність контуру розходження різниця між K і L , тобто у швидкостях руху до місця призначення і назад. Для цього розглянемо випадки, коли K і L мають значення, наведені у підрисуночному напису до рис. 3.4 ($K=L=6$; $K=6, L=3$; $K=3, L=6$; $K=3, L=3$). Моделювання показує, що при $N=10$ (ресурс – з 10 поїздів) задача доставки вантажів у позицію i_3 здійснюється для випадків б), в), г) і д) відповідно за 42, 24, 46 і 24 такти. Для цих же випадків повернення поїздів у вихідну позицію i_1 здійснюється відповідно за 49, 46, 46 і 28 тактів, що відображено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Залежність числа тактів моделювання від пропускнуї здатності ТК

Розглянемо випадок (рис.3.4 б), коли $K=L=6$. Виконаний розрахунок показує, що 10 поїздів на 70-му такті часу моделювання доставили вантаж до місця призначення (позиція i_3). На 77-му такті всі 10 поїздів повернулися у вихідну станцію (позиція i_3). Якщо $K=L/2=6/2=3$, заміняємо в матриці M_1 рядок 2, 2, 3 на 2, 2, 6 і, при цьому час доставки вантажу складає 40 тактів, а час повернення поїздів - 74 такти. Доповнимо модель рис.

3.2 двома стримуючими дугами (показані пунктиром) з вагою 10. У масиві M_1 ця обставина відображена підкресленими рядками (5, 1, -10) і (6, 4, -10). Тоді одержуємо ті ж цифри, але поїзди залишаються на станціях відправлення. Нарешті, при $K=L=3$, природно одержуємо найбільш швидке розв'язання задачі: вантажі доставляються за 40 тактів, а вагони повертаються за 44 такти.

3.3. Моделювання перевезень на залізницях України

Виходячи зі сказаного, була розв'язана задача моделювання ПП на УЗ. Створена для цього поширена МП задовольняє вимогам як мікро-, так і макрорівнів. Прийнято допущення, що визначене число поїздів повинне вийти зі станції навантаження і розподілитися по полігонах УЗ довільним чином. На рис. 3.6 показаний граф Петрі, що моделює ситуацію на рівні усіх 6-ти залізниць, тобто кожна залізниця представляється однією позицією, межами є переходи з полігону однієї залізниці на полігон іншої (у даному випадку переходи пронумеровані довільним чином). Дослідження показали, що завдяки сформованій і відбитій на моделі структурі системи шести залізниць (Південної (i_1), Придніпровської (i_2), Донецької (i_3), Південно-Західної (i_4), Одеської (i_5) і Львівської (i_6)), вантаж розподіляється рівномірно по полігонах залізниць, хоча має місце певна несинхронність і коливальність перехідного процесу. Помітимо, що це відбувається у системі, коли переходи розподілені по пріоритетах (як було зазначено вище [38], більший пріоритет мають переходи з меншим номером). У першому наближенні одержуємо, що **пропускна здатність системи УЗ може бути оцінена сумою двонаправлених шляхів у кожному з напрямків на кожную з п'яти інших залізниць.**

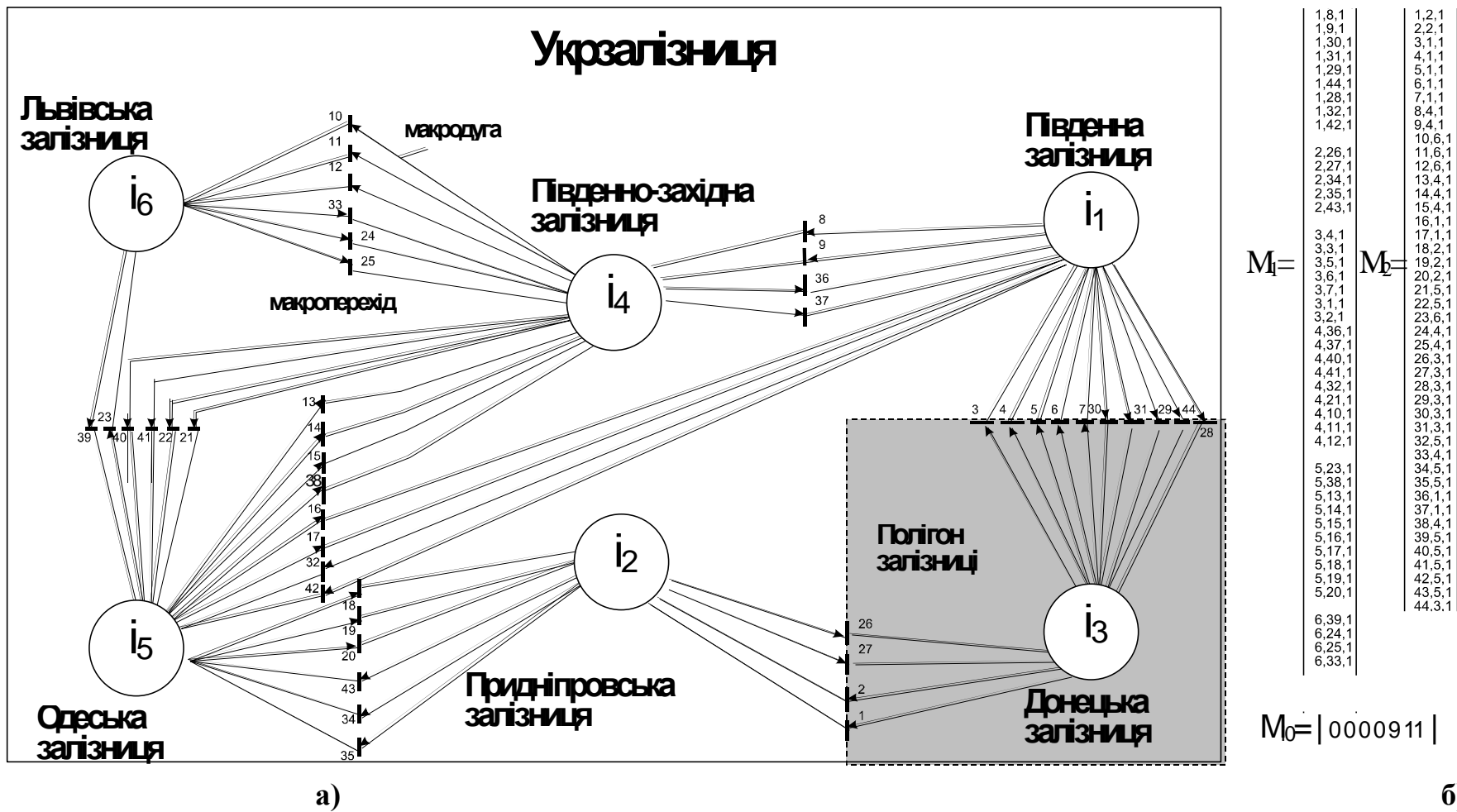


Рис. 3.6. Модель УЗ на МП з довільною нумерацією переходів:

а) мережа Петрі; б) масиви даних (макродуга несе інформацію про множину станцій, перегонів та їх безаварійний

стан; кожен макроперехід несе інформацію про перехід на полігон сусідньої залізниці)

Можна відзначити, що пріоритет займає особливе місце у **критичних ситуаціях***, що створюються в критичних позиціях. Критична – це така позиція, у якій є виходи більш, ніж на один перехід. Тобто сукупність вихідних з такої позиції дуг більше одиниці. З рис. 3.6 видно, що всі 6 залізниць України промодельовані у вигляді конфліктних позицій i_1 (9), i_2 (5), i_3 (7), i_4 (9), i_5 (10), i_6 (4). У дужках зазначені числа вихідних з позиції дуг. Для реалізації моделі потрібно раціонально (у порівнянні з рис. 3.6) пронумерувати всі переходи, кількість яких у моделі дорівнює 44 відповідно до виділеного ТК. Досліджуємо цю ситуацію стосовно ТК. Нижче наведена методика нумерації переходів з урахуванням створюваних в Укрзалізниці ТК.

Методика формулюється так:

- для ТК доцільно призначати мінімальний номер для переходу, починаючи від відправника, а наступний по порядку номер - від приймача вантажу;
- якщо ТК проходить більш, ніж через дві залізниці, то нумерацію варто продовжувати до переходу, що веде до приймача вантажу. Варто пам'ятати, що переходи (як і позиції графа Петрі) підлягають наскрізній нумерації, тобто не повинно бути жодного переходу (і позиції), що має однаковий з іншим переходом і позицією номер (наскрізна нумерація). Аналогічний підхід повинен бути вжитий і для позицій.

При цьому в моделі для вже організованих ТК номери переходів доцільно пронумерувати таким чином, як це показано на рис.3.7.

* Критична ситуація - це такий варіант процесу, коли в критичній позиції недостатньо ресурсів (поїздів) для відкриття всіх переходів моделі Петрі.

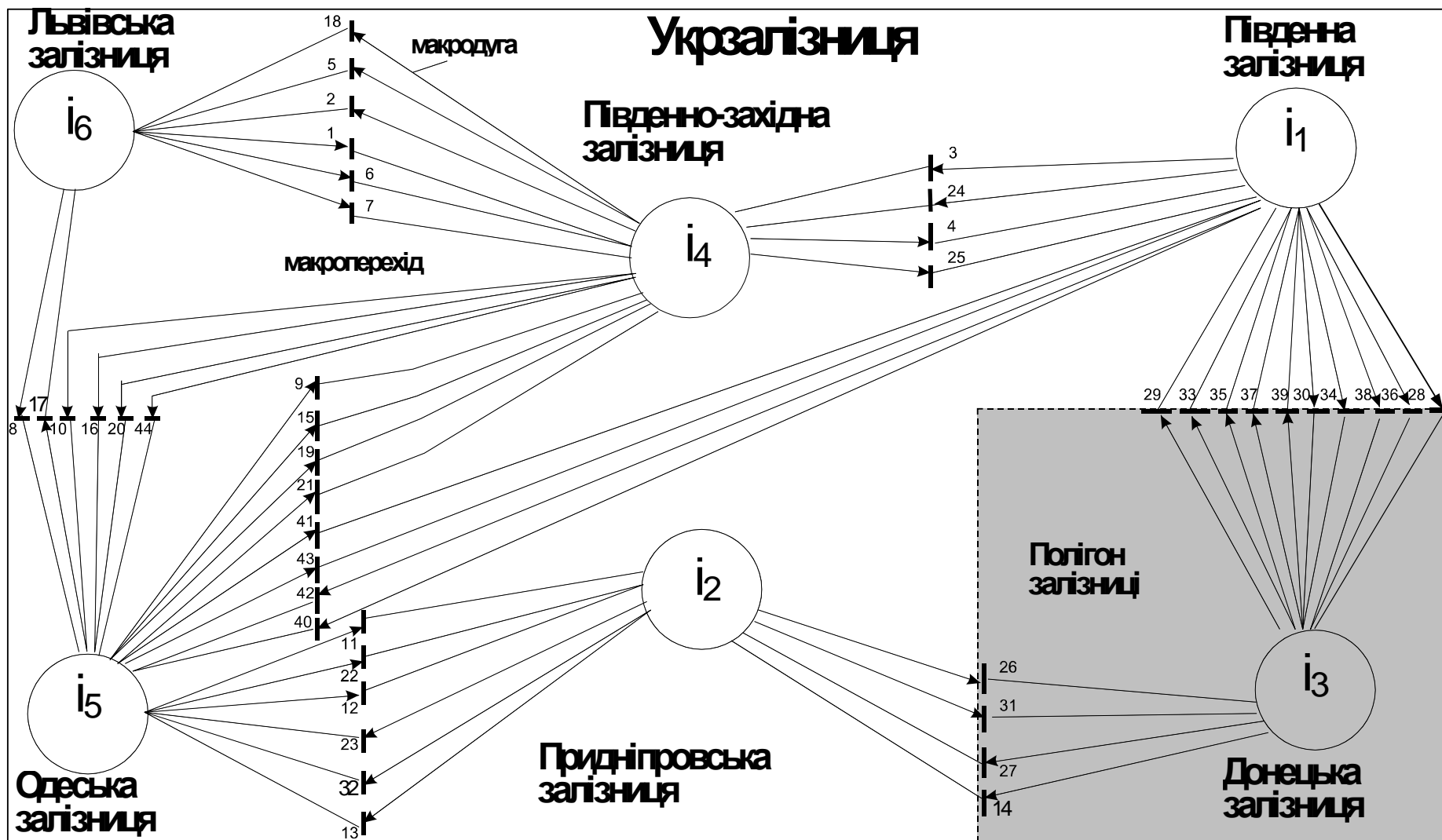


Рис.3.7. Модель УЗ на МП з пріоритетним маркуванням переходів і урахуванням ТК

З рис.3.7 впливають наступні масиви даних M_1 , M_2 , M_{i0} для моделювання.

$M_1 =$

1,	3,	1
1,	24,	1
1,	34,	1
1,	28,	1
1,	30,	1
1,	36,	1
1,	38,	1
1,	40,	1
1,	42,	1
2,	13,	1
2,	23,	1
2,	32,	1
2,	26,	1
2,	31,	1
3,	27,	1
3,	29,	1
3,	14,	1
3,	35,	1
3,	33,	1
3,	37,	1
3,	39,	1
4,	2,	1
4,	5,	1
4,	4,	1
4,	10,	1
4,	16,	1
4,	18,	1
4,	20,	1
4,	25,	1
4,	44,	1
5,	17,	1
5,	9,	1
5,	44,	1
5,	11,	1
5,	15,	1
5,	19,	1
5,	21,	1
5,	22,	1
5,	41,	1
5,	43,	1
6,	1,	1
6,	6,	1
6,	8,	1
6,	7,	1

$M_2 =$

1,	4,	1
2,	6,	1
3,	4,	1
4,	4,	1
5,	6,	1
6,	4,	1
7,	4,	1
8,	5,	1
9,	4,	1
10,	5,	1
11,	2,	1
12,	2,	1
13,	5,	1
14,	2,	1
15,	4,	1
16,	5,	1
17,	6,	1
18,	6,	1
19,	4,	1
20,	5,	1
21,	4,	1
22,	2,	1
23,	5,	1
24,	4,	1
25,	1,	1
26,	3,	1
27,	2,	1
28,	3,	1
29,	1,	1
30,	3,	1
31,	3,	1
32,	5,	1
33,	1,	1
34,	3,	1
35,	1,	1
36,	3,	1
37,	1,	1
38,	3,	1
39,	1,	1
40,	5,	1
41,	4,	1
42,	1,	1
43,	1,	1
44,	5,	1

$M_{i0} = |555555|$

Макромережа, описана вище, дозволяє провести експеримент, зв'язаний зі структурою мережі УЗ та її пропускнуою здатністю. Моделювання проведемо за умови, що на кожній із шести залізниць знаходиться по п'ять поїздів. Моделювання для цього випадку наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Моделювання для випадку перебування 5 поїздів на кожній із залізниць i при випадковій нумерації переходів (рис. 3.6)

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	5	5	5	5	5	5
t_1	5	2	5	8	6	4
t_2	7	3	5	8	4	3
t_3	6	2	6	8	5	3
t_4	6	2	6	8	3	5
t_5	6	2	6	8	5	3
...						
t_i	6	2	6	8	3	5
t_{i+1}	6	2	6	8	5	3

Якщо використовувати нумерацію переходів відповідно до рис.3.7, то одержимо результати моделювання, наведені у табл.3.2.

Таблиця 3.2

Моделювання для випадку перебування 5 поїздів на кожній залізниці з урахуванням ТК рис. 3.7 (впорядкована нумерація переходів)

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	5	5	5	5	5	5
t_1	5	5	4	7	6	3
t_2	5	5	4	5	7	4
t_3	4	5	4	7	7	3
t_4	5	5	3	6	7	4
t_5	5	4	4	7	7	3
t_6	5	4	4	6	6	4
t_7	5	4	4	6	7	3
...						
t_i	5	4	4	6	7	3

Аналіз показав істотний вплив структури на розподіл поїздів по залізницях і стійкість процесу розподілу поїздів. З табл. 3.2 видно, що перехідний процес зайняв 6 тактів і стійкий розподіл поїздів почався з такту t_7 .

Цікава задача дослідження структури при нерівномірному початковому розподілі поїздів по залізницях, що характерно при організації ТК. Розглянемо, наприклад, варіант зосередження 9 поїздів на Донецькій залізниці (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Варіант для початкового перебування 9 поїздів на Донецькій залізниці

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	0	0	9	0	0	0
t_1	5	2	2	0	0	0
t_2	1	1	3	2	2	0
t_3	3	2	0	1	1	2
t_4	0	0	1	4	2	2
t_5	2	1	0	2	2	2
t_6	1	1	0	4	1	2
t_7	1	0	0	3	3	2
t_8	2	1	0	3	1	2
t_9	1	0	0	4	2	2
t_{10}	1	1	0	3	2	2
...						
t_i	1	1	0	3	2	2

З табл. 3.3 виходить, що починаючи з 10 такту моделювання t_{10} наступив сталий розподіл поїздів.

Вище було відзначено, що номери переходів утворюють пріоритетну систему, що впливає на тривалість і місце закінчення перехідних процесів.

Якщо оцінювати цю мережу на підставі принципу кількості зв'язків, то ми одержимо перекручену картину структури транспортної мережі, оскільки i_1 володіє 9-ю двонаправленими зв'язками (перше місце), i_5 – 8-ю парами зв'язків (друге місце), i_3 та i_4 по – 7 пар кожна (третьє-четверте місця), i_2 – 5-ю парами зв'язків (п'яте місце), i_6 – 4-ма парами зв'язків (останнє, шосте місце).

Картина суттєво змінюється у випадку опису Укрзалізниці мовою МП. По-перше, вона краще передає інформацію про напрямок надходження ресурсів (міток) у позиції, а по друге, дозволяє визначити їхнє переміщення на наступному кроці моделювання. Задача ускладнюється при множині міток, що містяться в даній позиції. У попередньому розділі були розглянуті конфліктні позиції і задача призначення пріоритетів, що впливає з них. Імовірно, що при комбінаторній множині варіантів призначення номерів (пріоритетів) переходам будуть знайдені пріоритети, що раціонально відбивають МП.

Отже, було розроблено два варіанти нумерації 44 переходів (M_2), представлених на рис. 3.6 і рис. 3.7. Варіант, наведений на рис. 3.6, досягає насичення при ресурсі у 10 міток у кожній з 6 позицій. Це відбивається у відсутності динаміки моделі і може бути зрозуміле як модель реалізації регіонального принципу розподілу ресурсів на залізницях. Другий варіант нумерації переходів (рис. 3.7) практично не має насичення і відбиває принцип централізованого розподілу ресурсів. Використовуючи існуючу схему УЗ на МП (рис. 3.7), помістимо на кожну із шести доріг однаковий ресурс (від 1 до 10 міток). Як видно з 10 наведених нижче таблиць (табл. 3.4 – табл. 3.13), структура Укрзалізниці має важливу властивість автоконцентрації, причому центром концентрації ресурсу є Південно-Західна залізниця із центральною станцією в м. Києві (позиція i_4). Тривалість перехідного процесу прямо пропорційна величині ресурсів залізниці, що підтверджується аналізом наведених результатів моделювання.

Таблиця 3.4.

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	1	1	1	1	1	1
t_1	0	1	0	3	1	1
t_2	0	1	0	1	0	2
t_3	0	1	0	3	1	2
t_4	0	1	0	4	0	2
t_5	0	1	0	3	1	2

Таблиця 3.5.

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	2	2	2	2	2	2
t_1	0	3	1	4	2	1
t_2	1	3	0	4	2	2
t_3	1	3	0	5	1	2
t_4	1	2	0	6	1	2
t_5	0	2	0	6	1	3

Таблица 3.6.

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	3	3	3	3	3	3
t ₁	1	5	2	6	2	2
t ₂	1	3	3	6	2	3
t ₃	1	3	2	7	2	3
t ₄	1	3	1	8	2	3
t ₅	1	3	0	9	2	3
t ₆	2	3	0	9	1	3
t ₇	2	2	0	9	2	3

Таблица 3.7.

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	4	4	4	4	4	4
t ₁	2	5	3	6	6	2
t ₂	1	4	4	6	5	4
t ₃	1	4	3	7	5	4
t ₄	1	4	3	8	4	4
t ₅	1	4	3	9	4	3
t ₆	2	4	3	9	3	3

Таблица 3.8.

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	5	5	5	5	5	5
t ₁	3	5	5	7	6	4
t ₂	1	5	5	8	7	4
t ₃	1	4	5	10	6	4
t ₄	2	4	4	10	6	4
t ₅	2	4	3	10	7	4
t ₆	2	4	3	11	6	4

Таблица 3.9.

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	6	6	6	6	6	6
t ₁	4	6	6	7	7	6
t ₂	2	6	6	9	7	6
t ₃	2	5	6	10	7	6
t ₄	2	4	6	11	7	6
t ₅	2	4	5	12	7	6
t ₆	2	4	4	13	7	6
t ₇	2	4	3	14	7	6

Таблица 3.10.

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	7	7	7	7	7	7
t ₁	6	7	7	8	7	7
t ₂	4	7	7	10	7	7
t ₃	3	7	7	11	7	7
t ₄	2	7	7	12	7	7
t ₅	2	6	7	13	7	7
t ₆	2	5	7	14	7	7
t ₇	2	4	7	15	7	7
t ₈	2	4	6	16	7	7
t ₉	2	4	5	17	7	7
t ₁₀	2	4	4	18	7	7
t ₁₁	2	4	3	19	7	7
t ₁₂	2	4	3	20	6	7

Таблица 3.11.

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	8	8	8	8	8	8
t ₁	6	8	8	10	8	8
t ₂	5	8	8	11	8	8
t ₃	4	8	8	12	8	8
t ₄	3	8	8	13	8	8
t ₅	2	8	8	14	8	8
t ₆	2	7	8	15	8	8
t ₇	2	6	8	16	8	8
t ₈	2	5	8	17	8	8
t ₉	2	4	8	18	8	8
t ₁₀	2	4	7	19	8	8
t ₁₁	2	4	6	20	8	8
t ₁₂	2	4	5	21	8	8
t ₁₃	2	4	4	22	8	8
t ₁₄	3	4	3	23	8	8
t ₁₅	2	4	3	24	7	8
t ₁₆	2	4	3	25	6	8

Таблиця 3.12

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	9	9	9	9	9
t ₁	8	9	9	11	8	9
t ₂	7	9	9	12	8	9
t ₃	6	9	9	13	8	9
t ₄	5	9	9	14	8	9
t ₅	4	9	9	15	8	9
t ₆	3	9	9	16	8	9
t ₇	2	9	9	17	8	9
t ₈	2	8	9	18	8	9
t ₉	2	7	9	19	8	9
t ₁₀	2	6	9	20	8	9
t ₁₁	2	5	9	21	8	9
t ₁₂	2	4	9	22	8	9
t ₁₃	2	4	8	23	8	9
t ₁₄	2	4	7	24	8	9
t ₁₅	2	4	6	25	8	9
t ₁₆	2	4	5	26	8	9
t ₁₇	2	4	4	27	8	9
t ₁₈	2	4	3	28	8	9
t ₁₉	2	4	3	29	7	9
t ₂₀	2	4	3	30	6	9

Таблиця 3.13

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	10	10	10	10	10	10
t ₁	9	10	10	12	9	10
t ₂	8	10	10	14	8	10
t ₃	7	10	10	15	8	10
t ₄	6	10	10	16	8	10
t ₅	5	10	10	17	8	10
t ₆	4	10	10	18	8	10
t ₇	3	10	10	19	8	10
t ₈	2	10	10	20	8	10
t ₉	2	9	10	21	8	10
t ₁₀	2	8	10	22	8	10
t ₁₁	2	7	10	23	8	10
t ₁₂	2	6	10	24	8	10
t ₁₃	2	5	10	25	8	10
t ₁₄	2	4	10	26	8	10
t ₁₅	2	4	9	27	8	10
t ₁₆	2	4	8	28	8	10
t ₁₇	2	4	7	29	8	10
t ₁₈	2	4	6	30	8	10
t ₁₉	2	4	5	31	8	10
t ₂₀	2	4	4	32	8	10
t ₂₁	2	4	3	33	8	10
t ₂₂	2	4	3	34	7	10
t ₂₃	2	4	3	35	6	10

Тоновані рядки являють собою цикл – коливальний стан системи або кінець перехідного процесу.

Варто розрізнити варіанти організації ТК. ТК організуються в межах Укрзалізниці чи можуть створюватися у вигляді міждержавних коридорів, наприклад, “країни ЄС – Далекий схід” чи “країни ЄС – Середня Азія” і т.п. Перша постановка дає можливість Україні власного вибору варіанту, у той час як друга постановка може містити важко здійснимі вимоги і навіть бути спочатку збитковою.

Дослідимо вплив нумерації переходів з урахуванням ТК, наприклад, для формування ТК, що здійснює перевезення з заходу на схід України. Вплив нумерації з урахуванням ТК проявиться в тім, що менші номери переходів бу-

дуть йти з заходу на схід, а наступні за ними - в зворотньому напрямку.

З метою систематизації даних моделювання наведемо їх для різних (9 і 11) випадків розподілу поїздів по залізниці (табл. 3.14). Результати моделювання показані у табл. 3.15 – табл. 3.29.

Таблиця 3.14

Варіанти моделювання з різним початковим розподілом поїздів по залізниці

Номер варіанта	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
1	9	0	0	0	0	11
2	9	0	0	0	11	0
3	9	0	0	11	0	0
4	9	0	11	0	0	0
5	9	11	0	0	0	0
6	0	9	11	0	0	0
7	0	0	9	11	0	0
8	0	0	0	9	11	0
9	0	0	0	0	9	11
10	0	9	0	11	0	0
11	0	0	9	0	11	0
12	0	0	0	9	0	11
13	0	0	9	0	0	11
14	0	9	0	0	0	11
15	0	9	0	0	11	0

Таблиця 3.15

Результати експерименту (відповідає варіанту №1 табл. 3.14)

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	9	0	0	0	0	11
t_1	0	0	5	5	3	7
t_2	3	2	0	6	3	6
t_3	1	0	3	8	3	5
t_4	3	2	0	7	4	4
t_5	3	0	3	8	3	3
t_6	3	2	1	8	3	3
t_7	2	1	3	8	3	3
...						
t_i	3	2	1	8	3	3
t_{i+1}	2	1	3	8	3	3

Такт	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
t_0	9	0	0	0	0	11
t_1	0	0	5	5	3	7
t_2	5	3	0	3	3	6
t_3	2	1	4	5	4	4
t_4	4	3	0	6	4	3
t_5	3	1	3	5	5	3
t_6	4	3	0	5	5	3
t_7	2	2	3	5	5	3
t_8	4	3	1	5	4	3
t_9	3	1	3	5	5	3

Таблиця 3.16

Результати експерименту (відповідає варіанту №2 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	0	0	0	11	0
t ₁	2	3	5	6	3	1
t ₂	4	2	2	6	3	3
t ₃	1	2	4	8	2	3
t ₄	4	2	2	6	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	0	0	0	11	0
t ₁	2	3	5	6	3	1
t ₂	6	3	2	3	3	3
t ₃	3	2	4	4	5	2
t ₄	4	4	1	5	4	2
t ₅	3	1	3	5	5	3
t ₆	4	3	0	5	5	3
t ₇	2	2	3	5	5	3
t ₈	4	3	1	5	4	3

Таблиця 3.17

Результати експерименту (відповідає варіанту №3 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	0	0	11	0	0
t ₁	2	0	5	4	6	3
t ₂	5	3	0	8	1	3
t ₃	2	0	5	6	4	3
t ₄	5	2	0	8	2	3
t ₅	2	0	5	7	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	0	0	11	0	0
t ₁	2	0	5	4	6	3
t ₂	5	5	0	5	3	2
t ₃	2	1	4	4	6	3
t ₄	4	5	0	5	4	2
t ₅	2	1	3	5	6	3
t ₆	4	4	0	5	4	3

Таблиця 3.18

Результати експерименту (відповідає варіанту №4 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	0	11	0	0	0
t ₁	5	2	9	2	2	0
t ₂	5	2	7	4	0	2
t ₃	5	2	5	4	1	3
t ₄	3	2	5	6	1	3
t ₅	4	2	3	6	2	3
t ₆	2	2	4	7	2	3
t ₇	4	2	2	7	2	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	0	11	0	0	0
t ₁	5	2	9	2	2	0
t ₂	6	3	5	2	2	0
t ₃	4	3	4	4	3	2
t ₄	4	3	3	4	4	2
t ₅	4	2	3	5	4	2
t ₆	4	2	2	5	4	3
t ₇	3	2	2	5	5	3
t ₈	3	3	1	5	5	3

Таблиця 3.19

Результати експерименту (відповідає варіанту №5 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	11	0	0	0	0
t ₁	0	6	7	2	5	0
t ₂	7	2	3	3	3	2
t ₃	0	2	6	7	2	3
t ₄	6	2	2	5	2	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	9	11	0	0	0	0
t ₁	0	6	7	2	5	0
t ₂	7	5	2	1	3	2
t ₃	2	2	5	4	5	2
t ₄	5	4	1	5	3	2
t ₅	3	1	4	4	5	3
t ₆	4	4	0	5	5	2
t ₇	2	2	3	5	5	3
t ₈	4	3	1	5	4	3
t ₉	3	1	3	5	5	3
t ₁₀	4	3	0	5	5	3

Таблиця 3.20

Результати експерименту (відповідає варіанту №6 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	11	0	0	0
t ₁	5	6	6	0	3	0
t ₂	4	3	5	5	3	0
t ₃	3	2	4	5	3	3
t ₄	2	2	3	8	2	3
t ₅	3	2	2	7	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	11	0	0	0
t ₁	5	6	6	0	3	0
t ₂	5	4	4	2	4	1
t ₃	4	3	4	4	3	2
t ₄	4	3	3	4	4	2
t ₅	4	2	3	5	4	2
t ₆	4	2	2	5	4	3
t ₇	3	2	2	5	5	3
t ₈	3	3	1	5	5	3

Таблиця 3.21

Результати експерименту (відповідає варіанту №7 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	9	11	0	0
t ₁	7	2	2	2	4	3
t ₂	1	2	6	8	1	2
t ₃	6	2	2	4	3	3
t ₄	0	2	6	8	1	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	9	11	0	0
t ₁	7	2	2	2	4	3
t ₂	3	2	4	5	4	2
t ₃	4	3	1	5	4	3
t ₄	3	1	3	5	5	3
t ₅	4	3	0	5	5	3
t ₆	2	2	3	5	5	3

Таблиця 3.22

Результати експерименту (відповідає варіанту № 8 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	0	9	11	0
t ₁	4	3	0	4	5	4
t ₂	2	0	4	8	3	3
t ₃	4	2	0	8	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	0	9	11	0
t ₁	4	3	0	4	5	4
t ₂	2	2	3	6	5	2
t ₃	5	3	1	5	3	3
t ₄	3	1	4	4	5	3
t ₅	4	4	0	5	5	2
t ₆	2	2	3	5	5	3
t ₇	4	3	1	5	4	3
t ₈	3	1	3	5	5	3
t ₉	4	3	0	5	5	3
t ₁₀	2	2	3	5	5	3

Таблиця 3.23

Результати експерименту (відповідає варіанту №9 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	0	0	9	11
t ₁	2	3	0	6	1	8
t ₂	1	0	2	6	4	7
t ₃	2	2	0	7	3	6
t ₄	2	0	2	8	3	5
t ₅	2	2	0	8	4	4
t ₆	3	0	2	8	4	3
t ₇	3	2	1	8	3	3
t ₈	2	1	3	8	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	0	0	9	11
t ₁	1	3	0	7	1	8
t ₂	2	0	2	4	4	8
t ₃	3	2	0	6	3	6
t ₄	3	1	1	5	5	5
t ₅	3	2	0	6	5	4
t ₆	3	2	1	6	5	3
t ₇	4	2	1	5	5	3
t ₈	3	2	0	5	5	3
t ₉	3	3	1	5	5	3

Таблиця 3.24

Результати експерименту (відповідає варіанту №10 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	0	11	0	0
t ₁	2	4	2	2	7	3
t ₂	2	4	2	8	2	2
t ₃	2	2	2	6	5	3
t ₄	3	2	2	8	2	3
t ₅	2	2	3	7	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	0	11	0	0
t ₁	2	4	2	2	7	3
t ₂	3	4	2	6	3	2
t ₃	4	2	2	4	5	3
t ₄	3	3	2	5	5	2
t ₅	3	3	2	5	4	3
t ₆	3	2	2	5	5	3
t ₇	3	3	1	5	5	3

Таблиця 3.25

Результати експерименту (відповідає варіанту №11 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	9	0	11	0
t ₁	7	5	2	4	1	1
t ₂	0	2	6	4	5	3
t ₃	6	2	2	6	1	3
t ₄	1	2	6	6	2	3
t ₅	5	2	2	6	2	3
t ₆	1	2	5	2	2	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	9	0	11	0
t ₁	7	5	2	4	1	1
t ₂	2	1	5	3	7	2
t ₃	5	5	0	6	2	2
t ₄	2	1	4	4	6	3
t ₅	4	5	0	5	4	2
t ₆	2	1	3	5	6	3
t ₇	4	4	0	5	4	3

Таблиця 3.26

Результати експерименту (відповідає варіанту №12 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	0	9	0	11
t ₁	2	0	0	3	5	10
t ₂	2	0	0	8	1	9
t ₃	2	0	0	6	4	8
t ₄	2	0	0	8	3	7
t ₅	2	0	0	8	4	6
t ₆	3	0	0	8	4	5
t ₇	3	0	1	8	4	4
t ₈	3	1	1	8	4	3
t ₉	3	1	2	8	3	3
t ₁₀	2	2	2	8	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	0	9	0	11
t ₁	2	0	0	3	5	10
t ₂	2	2	0	6	2	8
t ₃	2	1	1	5	4	7
t ₄	3	1	0	6	4	6
t ₅	3	1	0	6	5	5
t ₆	3	2	0	6	5	4
t ₇	3	2	1	6	5	3
t ₈	4	2	1	5	5	3
t ₉	3	2	2	5	5	3
t ₁₀	3	3	1	5	5	3

Таблиця 3.27

Результати експерименту (відповідає варіанту №13 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	9	0	0	11
t ₁	5	2	2	3	1	7
t ₂	0	2	5	6	1	6
t ₃	4	2	2	4	3	5
t ₄	0	2	4	8	2	4
t ₅	4	2	2	5	4	3
t ₆	1	2	4	8	2	3
t ₇	4	2	2	6	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	0	9	0	0	11
t ₁	5	2	2	3	1	7
t ₂	2	1	3	5	4	5
t ₃	4	2	0	6	4	4
t ₄	3	1	2	6	5	3
t ₅	4	3	0	5	5	3
t ₆	2	2	3	5	5	3
t ₇	4	3	1	5	4	3
t ₈	3	1	3	5	5	3

Таблиця 3.28

Результати експерименту (відповідає варіанту №14 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	0	0	0	11
t ₁	0	4	2	3	4	7
t ₂	1	2	2	6	3	6
t ₃	1	2	2	7	3	5
t ₄	2	2	2	7	3	4
t ₅	2	2	2	8	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	0	0	0	11
t ₁	0	4	2	3	4	7
t ₂	3	2	2	4	4	5
t ₃	3	2	1	6	5	3
t ₄	4	2	1	5	5	3
t ₅	3	2	2	5	5	3
t ₆	3	3	1	5	5	3

Таблиця 3.29

Результати експерименту (відповідає варіанту №15 табл. 3.14)

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	0	0	11	0
t ₁	2	7	2	4	4	1
t ₂	1	4	2	6	4	3
t ₃	2	2	2	7	4	3
t ₄	3	2	2	8	2	3
t ₅	2	2	3	7	3	3

Такт	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆
t ₀	0	9	0	0	11	0
t ₁	2	7	2	4	4	1
t ₂	3	4	2	4	5	2
t ₃	3	3	2	5	5	2
t ₄	3	3	2	5	4	3
t ₅	3	2	2	5	5	3
t ₆	3	3	1	5	5	3

Порівняння двох варіантів (двох стовпців табл. 3.15-табл. 3.29) для оцінки впливу пріоритету з метою аналізу впливу наявності ТК показує, що час перехідних процесів по сумі інженерних експериментів збільшився майже в 1.5 рази (128 переходів при нумерації переходів з урахуванням ТК проти 85 без їхнього урахування). Це відповідає інтуїтивному уявленню про вплив "збурювань", внесених пріоритетністю переходів ТК на роботу УЗ. Отже, збільшений короткочасний обсяг перевезень (збурювання) призводить до перевантажень ЗТ країни в цілому. Серія проведених інженерних експериментів переконливо показує, що:

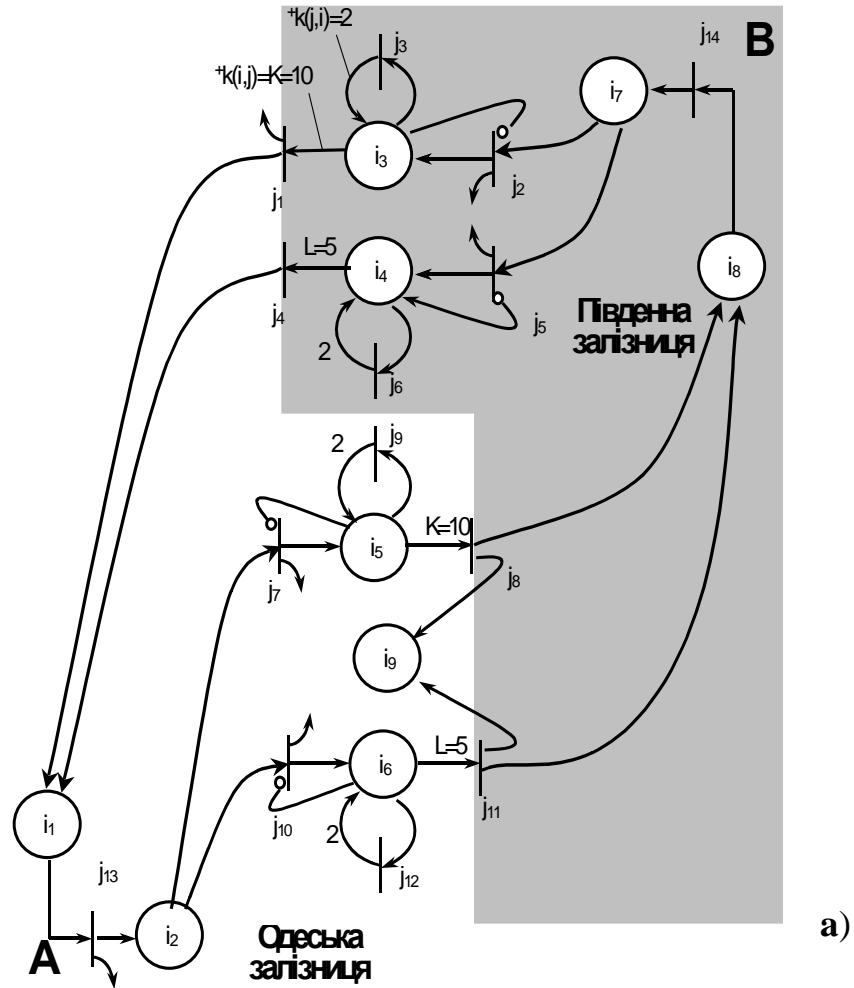
- Поширені МП, запропоновані у дослідженні, дозволяють швидко розв'язувати задачі проведення інженерних експериментів на макрорівні.
- Нумерація переходів повинна вестися з метою мінімізації обсягу перевезень при їх високій ефективності.

- Розроблена поширена МП є ресурсозберігаючою, тобто при всіх режимах моделювання сума ресурсів у рядках постійна.
- Мережа УЗ як система масового обслуговування схильна до самостабілізації. Вантажопотік, що утвориться у вигляді надлишку ресурсу на одній з 6-ти залізниць, при відсутності управління розподіляється по всіх залізницях приблизно рівномірно.
- Будь-яка практична постановка задачі (наприклад, зв'язок із закордонними залізницями, облік часу перебування у дорозі, підрахунок вартості перевезення, передача супутньої поїздам інформації і т.п.) потребує лише збільшення розмірності описуючого цієї задачі графу Петрі і відповідних йому матриць M_1, M_2, M_{i0} без необхідності розробки спеціальної програми.
- УЗ припускає організацію раціональних транспортних коридорів.

3.4. Розробка моделі транспортного коридору

Розглянемо модель ТК на макрорівні. При цьому основну увагу приділимо описовій стороні роботи ТК, оскільки при конкретизації розгляду граф збільшується в розмірах, не змінюючи первісної структури. Будемо розглядати задачу організації ТК у двох напрямках: географічних меридіанів (“**вертикальний**” ТК) і географічних паралелей (“**горизонтальний**” ТК). На абстрактному рівні приклад моделі “вертикального” ТК може бути представлений у вигляді рис. 3.8.

Вважаємо, що ТК формується за рахунок внутрішніх резервів, тобто власної пропускної здатності мережі УЗ і визначення напрямку перевезень. При рішенні істотними будуть три фази: початок роботи ТК, експлуатація ТК (повне навантаження), закінчення роботи ТК. Умовою роботи ТК, як уже згадувалося, є забезпечення своєчасного навантаження і розвантаження на його кінцях. Цей процес також можна промоделювати на мережах Петрі, але на більш пізніх етапах моделювання. Модель ТК, наведена на рис. 3.8, незважаючи на свою простоту, багатоцільова. Наприклад, на ній можна промоделювати задачі визначення часу транспортування заданого обсягу вантажу.



Номер рядка	M_1	M_2	$M_{i_0}^T$
1	1,13,1	1,1,1	10
2	2,7,1	2,3,1	0
3	2,10,1	3,3,2	0
4	3,1,10	4,1,1	0
5	3,3,1	5,4,1	0
6	3,2,-1	6,4,2	0
7	3,3,1	7,5,1	0
8	4,4,5	8,8,1	0
9	4,5,-1	8,9,1	0
10	4,6,1	9,5,2	M'
11	5,8,10	10,6,1	1
12	5,7,-1	11,8,1	2
13	5,9,1	11,9,1	3
14	6,11,5	12,6,2	4
15	6,10,-1	13,2,1	5
16	6,12,1	14,7,1	6
17	7,2,1		7
18	7,5,1		8
19	8,14,1		9

Рис. 3.8. Модель “вертикального” ТК: а) граф Петрі, б) його матричний опис

Розглянемо докладніше модель “вертикального” ТК, наведену на рис. 3.8. Позиції i_1, i_2 та i_7, i_8 з відповідними переходами моделюють кінці ТК (на позиції i_1 відбувається завантаження поїздів, на i_8 – їх розвантаження). Позиція i_9 використовується для обліку числа минаючих поїздів. Позиції i_3, i_4, i_5, i_6 з відповідними переходами моделюють час перебування в дорозі. Як видно з матриці M_1 , тривалості перебування поїздів (міток) у дорозі обрані рівними п'яти ($L=5$) і десяти ($K=10$) відносним одиницям модельної тривалості (рядки M_1 з номерами 8 і 14, а також 4 і 11 відповідно). Поїзди рухаються паралельно по двох гілках ТК із різним часом перебування на них. З рішення задачі, наведеної у табл. 3.30, впливає динаміка завантаження ТК і означається виникнення стабільного процесу його роботи. Під останнім варто розуміти повернення під завантаження першого і наступних розвантажених поїздів. Аналіз табл. 3.30 показує, що це зайняло 19 тактів моделювання (усі 10 поїздів відправлені з вантажем, 9 знаходяться в дорозі, а 1 повернувся під нове завантаження до позиції i_1). Причому розвантажено 3 поїзди (позиція i_9 табл. 3.30). За 100 тактів число розвантажених поїздів склало 25, що видно з накопичених у позиції i_9 міток (поїздів). Ця модель цікава тим, що дозволяє методом перебору визначити кількість рухомого складу, необхідного для організації максимально ефективної роботи ТК. Виявилось, що число 10 близьке до оптимального. Також виявилось, що починати нумерувати переходи потрібно з тих, котрі відкривають найбільш швидкий шлях до досягнення мети. Вибір симетричних шляхів за часом “туди” і “назад” також сприяє створенню швидкодіючого ТК. Нарешті, істотно різний час по паралельних шляхах не набагато збільшує ефективність ТК: з 25 поїздів (табл. 3.30) по шляху з великим часом пройшло 8 поїздів. Це відповідає співвідношенням тривалості перебування поїздів по шляху: 5 і 10 тактів моделювання (номери рядків 4, 8, 11, 14 у матриці M_1). Слід зазначити малий час, відведений на формування складів на кінцях ТК: він займає 1 такт. Збільшення цього часу також можна регулювати відповідним додаванням до розробленого графа ряду нових позицій і переходів, а також застосуванням паралельних структур маршрутизації.

Таблиця 3.30

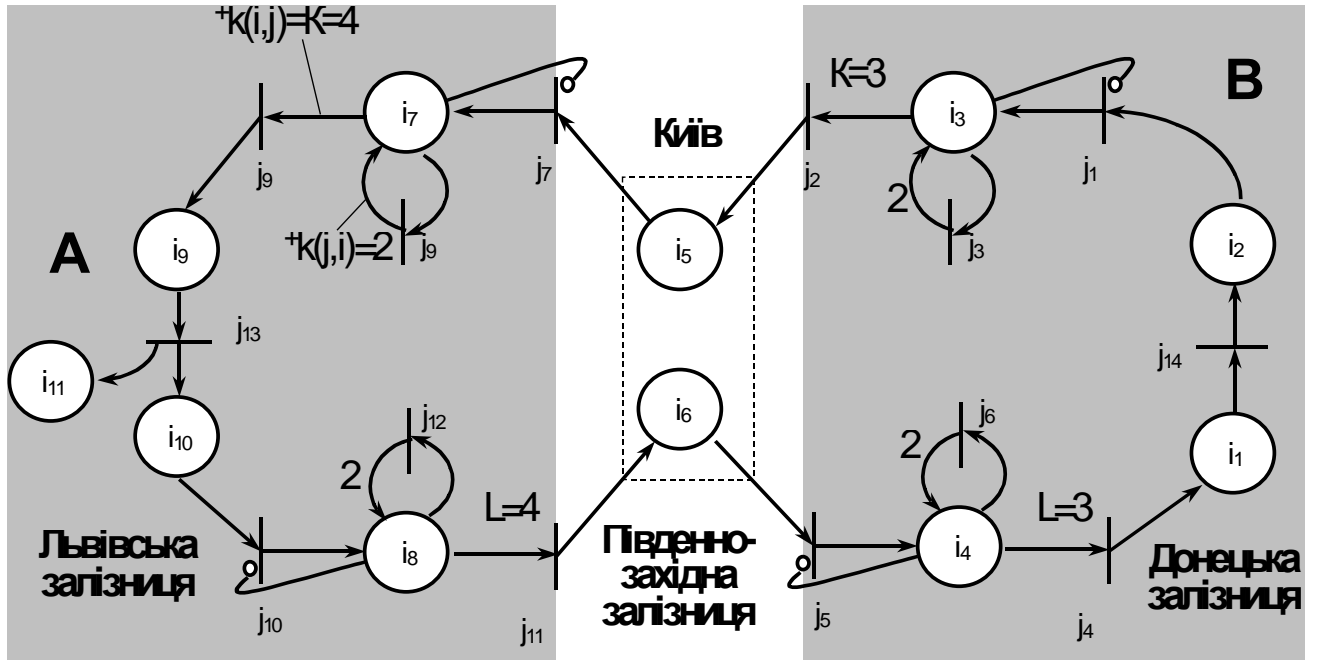
Результати моделювання ТК "вертикального"

Такт t	Номери позицій (станцій)								
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9
t_0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
t_1	9	1	0	0	0	0	0	0	0
t_2	8	1	0	0	1	0	0	0	0
t_3	7	1	0	0	2	1	0	0	0
t_4	6	2	0	0	3	2	0	0	0
t_5	5	3	0	0	4	3	0	0	0
t_6	4	4	0	0	5	4	0	0	0
t_7	3	5	0	0	6	5	0	0	0
t_8	2	6	0	0	7	0	0	1	1
t_9	1	6	0	0	8	1	1	0	1
t_{10}	0	7	1	0	9	2	0	0	1
t_{11}	0	7	2	0	10	3	0	0	1
t_{12}	0	7	3	0	0	4	0	1	2
t_{13}	0	6	4	0	1	5	1	0	2
t_{14}	0	6	5	1	2	0	0	1	3
t_{15}	0	5	6	2	3	1	1	0	3
t_{16}	0	5	7	3	4	2	1	0	3
t_{17}	0	5	8	4	5	3	1	0	3
t_{18}	0	5	9	5	6	4	1	0	3
t_{19}	1	5	10	1	7	5	0	0	3
t_{20}	1	6	0	2	8	0	0	1	4
t_{21}	0	6	0	3	9	1	1	0	4
t_{22}	0	6	1	4	10	2	0	0	4
t_{23}	0	6	2	5	0	3	0	1	5
t_{24}	1	5	3	0	1	4	1	0	5
t_{25}	0	6	4	1	2	5	0	0	5
t_{26}	0	6	5	2	3	0	0	1	6
t_{27}	0	5	6	3	4	1	1	0	6
t_{28}	0	5	7	4	5	2	1	0	6
t_{29}	0	5	8	5	6	3	1	0	6
t_{30}	1	5	9	1	7	4	0	0	6
t_{31}	0	6	10	2	8	5	0	0	6
t_{32}	1	6	0	3	9	0	0	1	7
t_{33}	0	6	0	4	10	1	1	0	7
t_{34}	0	6	1	5	0	2	0	1	8
t_{35}	1	5	2	0	1	3	1	0	8
t_{36}	0	6	3	1	2	4	0	0	8
t_{37}	0	6	4	2	3	5	0	0	8
t_{38}	0	6	5	3	4	0	0	1	9
t_{39}	0	5	6	4	5	1	1	0	9
t_{40}	0	5	7	5	6	2	1	0	9
t_{41}	1	5	8	1	7	3	0	0	9
t_{42}	0	6	9	2	8	4	0	0	9
t_{43}	0	6	10	3	9	5	0	0	9
t_{44}	1	6	0	4	10	0	0	1	10
t_{45}	0	6	0	5	0	1	1	1	11
t_{46}	1	5	1	0	1	2	1	0	11
t_{47}	0	6	2	1	2	3	0	0	11
t_{48}	0	6	3	2	3	4	0	0	11

Продовження таблиці 3.30

t ₄₉	0	6	4	3	4	5	0	0	11
t ₅₀	0	6	5	4	5	0	0	1	12
t ₅₁	0	5	6	5	6	1	1	0	12
t ₅₂	1	5	7	1	7	2	0	0	12
t ₅₃	0	6	8	2	8	3	0	0	12
t ₅₄	0	6	9	3	9	4	0	0	12
t ₅₅	0	6	10	4	10	5	0	0	12
t ₅₆	1	6	0	5	0	0	0	2	14
t ₅₇	1	5	0	0	1	1	1	1	14
t ₅₈	0	6	1	0	2	2	1	0	14
t ₅₉	0	6	2	1	3	3	0	0	14
t ₆₀	0	6	3	2	4	4	0	0	14
t ₆₁	0	6	4	3	5	5	0	0	14
t ₆₂	0	6	5	4	6	0	0	1	15
t ₆₃	0	5	6	5	7	1	1	0	15
t ₆₄	1	5	7	1	8	2	0	0	15
t ₆₅	0	6	8	2	9	3	0	0	15
t ₆₆	0	6	9	3	10	4	0	0	15
t ₆₇	0	6	10	4	0	5	0	1	16
t ₆₈	1	5	0	5	1	0	1	1	17
t ₆₉	1	5	1	0	2	1	1	0	17
t ₇₀	0	6	2	1	3	2	0	0	17
t ₇₁	0	6	3	2	4	3	0	0	17
t ₇₂	0	6	4	3	5	4	0	0	17
t ₇₃	0	6	5	4	6	5	0	0	17
t ₇₄	0	6	6	5	7	0	0	1	18
t ₇₅	1	5	7	0	8	1	1	0	18
t ₇₆	0	6	8	1	9	2	0	0	18
t ₇₇	0	6	9	2	10	3	0	0	18
t ₇₈	0	6	10	3	0	4	0	1	19
t ₇₉	1	5	0	4	1	5	1	0	19
t ₈₀	0	6	1	5	2	0	0	1	20
t ₈₁	1	5	2	0	3	1	1	0	20
t ₈₂	0	6	3	1	4	2	0	0	20
t ₈₃	0	6	4	2	5	3	0	0	20
t ₈₄	0	6	5	3	6	4	0	0	20
t ₈₅	0	6	6	4	7	5	0	0	20
t ₈₆	0	6	7	5	8	0	0	1	21
t ₈₇	1	5	8	0	9	1	1	0	21
t ₈₈	0	6	9	1	10	2	0	0	21
t ₈₉	0	6	10	2	0	3	0	1	22
t ₉₀	1	5	0	3	1	4	1	0	22
t ₉₁	0	6	1	4	2	5	0	0	22
t ₉₂	0	6	2	5	3	0	0	1	23
t ₉₃	1	5	3	0	4	1	1	0	23
t ₉₄	0	6	4	1	5	2	0	0	23
t ₉₅	0	6	5	2	6	3	0	0	23
t ₉₆	0	6	6	3	7	4	0	0	23
t ₉₇	0	6	7	4	8	5	0	0	23
t ₉₈	0	6	8	5	9	0	0	1	24
t ₉₉	1	5	9	0	10	1	1	0	24
t ₁₀₀	0	6	10	1	0	2	0	1	25

Розглянемо модель “горизонтального” ТК. В її основу покладені розуміння загальної структури УЗ про перевагу “меридіанного” напрямку магістралей над “паралельним”, а також одержання додаткової інформації порівняння з розглянутою вище структурою. У результаті в тому ж самому обов’язі була складена одноканальна модель ТК, що проходить по залізницях: Львівській, Південно-Західній, Придніпровській і Донецькій. Модель подана на рис. 3.9 (позиції i_1 - i_{10} - станції, а позиція i_{11} виділена для обліку кількості перевезеного вантажу. Розглядався різний час проходження составом шляху ($K=3$ і 4 , а $L= 3$ і 4). Моделювання, аналогічне описаному вище, подано в табл. 3.31. Як видно з табл. 3.31, при тому ж часі виходу на робочий режим має місце затримка в роботі ТК за рахунок малої пропускної здатності ділянки залізниць (Південно-Західна– Львівська), тобто в районі Києва (позиція i_5) утворилася наростаюча черга з розвантажених поїздів. До моменту закінчення моделювання, тобто до 100-го такту, розвантаженими виявилось 18 поїздів. Таким чином, щоб розвантажити Київ, краще затримати поїзди на Донецькій залізниці, тобто менш інтенсивно, але більш адресно робити завантаження. Для вивчення процесу закінчення роботи ТК приведені моделі необхідно збільшити приблизно на 3 позиції і на стільки ж переходів та збільшити число тактів моделювання приблизно на 20. Не викликає утруднень вирішити задачу побудови ТК при заданих обов’язі перевезень і часі, а також інших обмеженнях (вагонний парк, використання інших видів доставки та ін.). Методика, проілюстрована вище, здобуває особливу цінність у випадку рішення реальних задач моделювання ситуацій, що постійно виникають у процесі перевезень на ЗТ. При цьому, природно, розмірність графів Петрі істотно збільшується, пропорційно цьому підвищується цінність і обґрунтованість результатів моделювання.



а)

M_1	M_2	$M_{i_0}^T$	M'
1,14,1	1,3,1	10	1
2,1,1	2,5,1	0	2
3,1,-1	3,3,2	0	3
3,2,3	4,1,1	0	4
3,3,1	5,4,1	0	5
4,4,3	6,4,2	0	6
4,5,-1	7,7,1	0	7
4,6,1	8,9,1	0	8
5,7,1	9,7,2	0	9
6,5,1	10,8,1		10
7,7,-1	11,6,1		11
7,8,4	12,8,2		
7,9,1	13,10,1		
8,10,-1	13,11,1		
8,11,4	14,2,1		
8,12,1			
9,13,1			
10,10,1			

б)

Рис. 3.9. Модель "горизонтального" ТК:

а) граф Петрі, б) його матричний опис

Таблиця 3.31

Результати моделювання "горизонтального" ТК

Такт t	Номери позицій (станцій)										
	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆	i ₇	i ₈	i ₉	i ₁₀	i ₁₁
t ₀	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₁	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₂	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₃	7	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₄	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₅	5	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0
t ₆	4	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0
t ₇	3	5	2	0	0	0	2	0	0	0	0
t ₈	2	6	3	0	0	0	3	0	0	0	0
t ₉	1	7	0	0	1	0	4	0	0	0	0
t ₁₀	0	7	1	0	1	0	0	0	1	0	0
t ₁₁	0	7	2	0	0	0	1	0	0	1	1
t ₁₂	0	7	3	0	0	0	2	1	0	0	1
t ₁₃	0	7	0	0	1	0	3	2	0	0	1
t ₁₄	0	6	1	0	1	0	4	3	0	0	1
t ₁₅	0	6	2	0	1	0	0	4	1	0	1
t ₁₆	0	6	3	0	0	1	1	0	0	1	2
t ₁₇	0	6	0	1	1	0	2	1	0	0	2
t ₁₈	0	5	1	2	1	0	3	2	0	0	2
t ₁₉	0	5	2	3	1	0	4	3	0	0	2
t ₂₀	1	5	3	0	1	0	0	4	1	0	2
t ₂₁	0	6	0	0	1	1	1	0	0	1	3
t ₂₂	0	5	1	1	1	0	2	1	0	0	3
t ₂₃	0	5	2	2	1	0	3	2	0	0	3
t ₂₄	0	5	3	3	1	0	4	3	0	0	3
t ₂₅	1	5	0	0	2	0	0	4	1	0	3
t ₂₆	0	5	1	0	1	1	1	0	0	1	4
t ₂₇	0	5	2	1	1	0	2	1	0	0	4
t ₂₈	0	5	3	2	1	0	3	2	0	0	4
t ₂₉	0	5	0	3	2	0	4	3	0	0	4
t ₃₀	1	4	1	0	2	0	0	4	1	0	4
t ₃₁	0	5	2	0	1	1	1	0	0	1	5
t ₃₂	0	5	3	1	1	0	2	1	0	0	5
t ₃₃	0	5	0	2	2	0	3	2	0	0	5
t ₃₄	0	4	1	3	2	0	4	3	0	0	5
t ₃₅	1	4	2	0	2	0	0	4	1	0	5
t ₃₆	0	5	3	0	1	1	1	0	0	1	6
t ₃₇	0	5	0	1	2	0	2	1	0	0	6
t ₃₈	0	4	1	2	2	0	3	2	0	0	6
t ₃₉	0	4	2	3	2	0	4	3	0	0	6
t ₄₀	1	4	3	0	2	0	0	4	1	0	6
t ₄₁	0	5	0	0	2	1	1	0	0	1	7
t ₄₂	0	4	1	1	2	0	2	1	0	0	7
t ₄₃	0	4	2	2	2	0	3	2	0	0	7
t ₄₄	0	4	3	3	2	0	4	3	0	0	7
t ₄₅	1	4	0	0	3	0	0	4	1	0	7
t ₄₆	0	4	1	0	2	1	1	0	0	1	8
t ₄₇	0	4	2	1	2	0	2	1	0	0	8
t ₄₈	0	4	3	2	2	0	3	2	0	0	8

Продовження таблиця 3.31

t ₄₉	0	4	0	3	3	0	4	3	0	0	8
t ₅₀	1	3	1	0	3	0	0	4	1	0	8
t ₅₁	0	4	2	0	2	1	1	0	0	1	9
t ₅₂	0	4	3	1	2	0	2	1	0	0	9
t ₅₃	0	4	0	2	3	0	3	2	0	0	9
t ₅₄	0	3	1	3	3	0	4	3	0	0	9
t ₅₅	1	3	2	0	3	0	0	4	1	0	9
t ₅₆	0	4	3	0	2	1	1	0	0	1	10
t ₅₇	0	4	0	1	3	0	2	1	0	0	10
t ₅₈	0	3	1	2	3	0	3	2	0	0	10
t ₅₉	0	3	2	3	3	0	4	3	0	0	10
t ₆₀	1	3	3	0	3	0	0	4	1	0	10
t ₆₁	0	4	0	0	3	1	1	0	0	1	11
t ₆₂	0	3	1	1	3	0	2	1	0	0	11
t ₆₃	0	3	2	2	3	0	3	2	0	0	11
t ₆₄	0	3	3	3	3	0	4	3	0	0	11
t ₆₅	1	3	0	0	4	0	0	4	1	0	11
t ₆₆	0	3	1	0	3	1	1	0	0	1	12
t ₆₇	0	3	2	1	3	0	2	1	0	0	12
t ₆₈	0	3	3	2	3	0	3	2	0	0	12
t ₆₉	0	3	0	3	4	0	4	3	0	0	12
t ₇₀	1	2	1	0	4	0	0	4	1	0	12
t ₇₁	0	3	2	0	3	1	1	0	0	1	13
t ₇₂	0	3	3	1	3	0	2	1	0	0	13
t ₇₃	0	3	0	2	4	0	3	2	0	0	13
t ₇₄	0	2	1	3	4	0	4	3	0	0	13
t ₇₅	1	2	2	0	4	0	0	4	1	0	13
t ₇₆	0	3	3	0	3	1	1	0	0	1	14
t ₇₇	0	3	0	1	4	0	2	1	0	0	14
t ₇₈	0	2	1	2	4	0	3	2	0	0	14
t ₇₉	0	2	2	3	4	0	4	3	0	0	14
t ₈₀	1	2	3	0	4	0	0	4	1	0	14
t ₈₁	0	3	0	0	4	1	1	0	0	1	15
t ₈₂	0	2	1	1	4	0	2	1	0	0	15
t ₈₃	0	2	2	2	4	0	3	2	0	0	15
t ₈₄	0	2	3	3	4	0	4	3	0	0	15
t ₈₅	1	2	0	0	5	0	0	4	1	0	15
t ₈₆	0	2	1	0	4	1	1	0	0	1	16
t ₈₇	0	2	2	1	4	0	2	1	0	0	16
t ₈₈	0	2	3	2	4	0	3	2	0	0	16
t ₈₉	0	2	0	3	5	0	4	3	0	0	16
t ₉₀	1	1	1	0	5	0	0	4	1	0	16
t ₉₁	0	2	2	0	4	1	1	0	0	1	17
t ₉₂	0	2	3	1	4	0	2	1	0	0	17
t ₉₃	0	2	0	2	5	0	3	2	0	0	17
t ₉₄	0	1	1	3	5	0	4	3	0	0	17
t ₉₅	1	1	2	0	5	0	0	4	1	0	17
t ₉₆	0	2	3	0	4	1	1	0	0	1	18
t ₉₇	0	2	0	1	5	0	2	1	0	0	18
t ₉₈	0	1	1	2	5	0	3	2	0	0	18
t ₉₉	0	1	2	3	5	0	4	3	0	0	18
t ₁₀₀	1	1	3	0	5	0	0	4	1	0	18

3.5 Розробка моделі багатоканального транспортного коридору

З метою демонстрації можливостей розробленої вище методики розглянемо модель багатоканального ТК, розпаралеленого по навантаженню, доставці, розвантаженню і поверненню составів. Структури такого типу на УЗ відсутні, але вони широко розповсюджені на дорожньому і станційному рівнях. Вантаж на станції відправлення (позиція 1) очікує состав, що повернувся після розвантаження. Потоки составів проходять формування (навантаження) по трьох незалежних лініях і виходять на маршрут (точка виходу - позиція 11). З цієї позиції поїзди розходяться по двох каналах і по закінченні часу перебування в дорозі розвантажуються з позиції 16. Одночасно в позиції 25 реєструється кількість прибулого вантажу.

Далі поїзди розходяться по двох каналах повернення порожняком і зупиняються у джерелі отримання нового ресурсу (позиції 23 і 24).

Вихідні дані, що описують функціонування ТК, зображеного на рис. 3.9, наведена нижче (табл. 3.32).

Така структура доцільна при наявності великого запасу вантажу в позиції i_1 та можливостях його накопичення і споживання в позиції i_{20} . Режим роботи такої структури може бути представлений у вигляді 3-х фаз:

- Фаза 1 – інтенсивне транспортування, коли формуються паралельно 3 поїзди;
- Фаза 2 – помірне (рівномірне) транспортування. Воно характеризується меншою інтенсивністю вантажно-розвантажувальних робіт. При цьому всі поїзди знаходяться в дорозі або на навантаженні (розвантаженні). Це відповідає мінімальному числу поїздів у позиції i_{11} протягом декількох тактів моделювання;

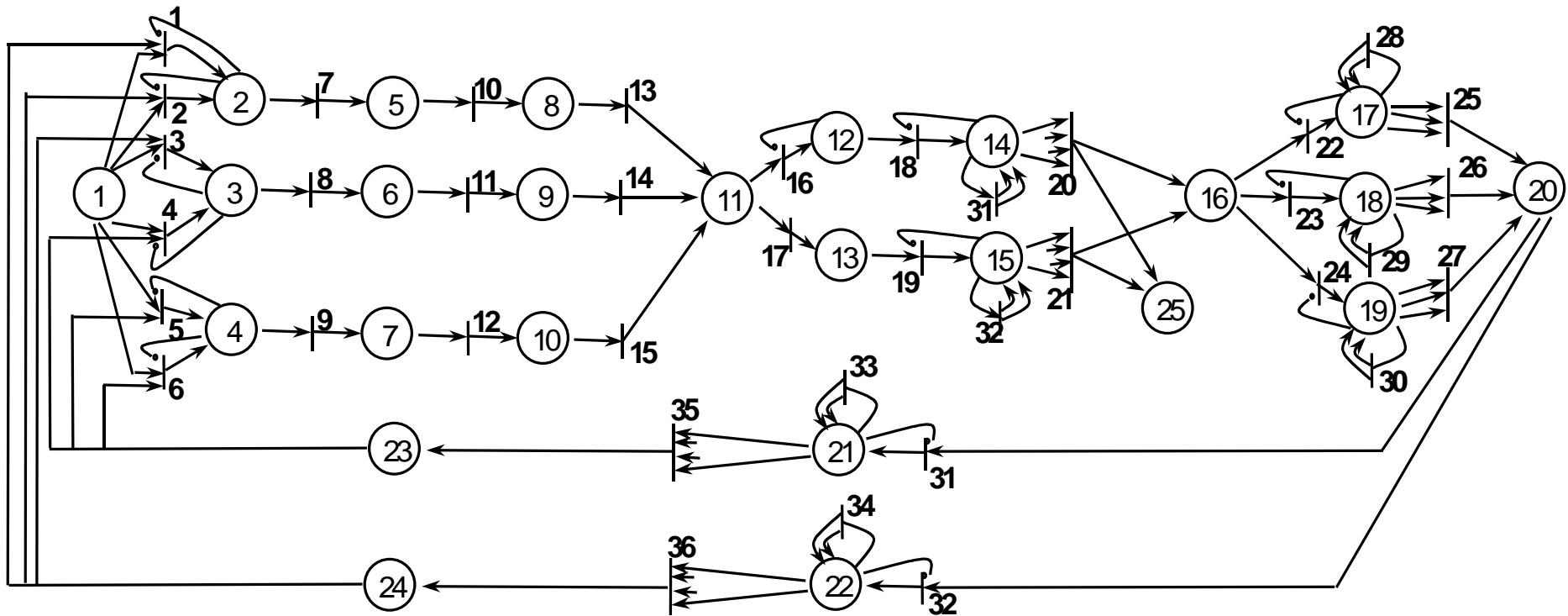


Рис. 3.9. Модель двоканального ТК, розпаралеленого по навантаженню, розвантаженню і поверненню вагонів

Таблиця 3.32

Матричний опис моделі ТК рис.3.9

M_1			M_2			M_{i0}^T	M'
1	1	1	1	2	1	20	1
1	2	1	2	2	1	0	2
1	3	1	3	3	1	0	3
1	4	1	4	3	1	0	4
1	5	1	5	4	1	0	5
1	6	1	6	4	1	0	6
2	1	-1	7	5	1	0	7
2	7	1	8	6	1	0	8
2	2	-1	9	7	1	0	9
3	3	-1	10	8	1	0	10
3	4	-1	11	9	1	0	11
3	8	1	12	10	1	0	12
4	5	-1	13	11	1	0	13
4	6	-1	14	11	1	0	14
4	9	1	15	11	1	0	15
5	10	1	16	12	1	0	16
6	11	1	17	13	1	0	17
7	12	1	18	14	1	0	18
8	13	1	19	15	1	0	19
9	14	1	20	16	1	0	20
10	15	1	21	16	1	0	21
11	16	1	22	17	1	0	22
11	17	1	23	18	1	6	23
12	16	-1	24	19	1	6	24
12	18	1	25	20	1	0	25
13	12	-1	26	20	1		
13	19	1	27	20	1		
14	20	4	28	17	2		
14	18	-1	29	18	2		
14	31	1	30	19	2		
15	19	-1	31	14	2		
15	21	4	32	15	2		
15	32	1	33	21	1		
16	22	1	34	22	1		
16	23	1	35	23	1		
16	24	1	36	24	1		
17	22	-1	37	21	2		
17	25	3	38	22	2		
17	28	1	20	25	1		
18	23	-1	21	25	1		
18	26	3					
18	29	1					
19	24	-1					
19	27	3					
19	30	1					
20	33	1					
20	34	1					
21	33	-1					
21	35	4					
21	37	1					
22	34	-1					
22	36	4					
22	38	1					
23	4	1					
23	5	1					
23	6	1					
24	1	1					
24	2	1					
24	3	1					

- Фаза 3 – завершальна. Вона характеризується вичерпанням вантажу в позиції i_1 . Про настання цієї фази можна судити по накопиченню поїздів у позиціях i_3 та i_{24} (більше 2-х). При цьому варто виводити з позиції 2 поїзди на розформування, тобто використовувати їх для перевезень крім ТК.

Графічно фази подані на рис. 3.10

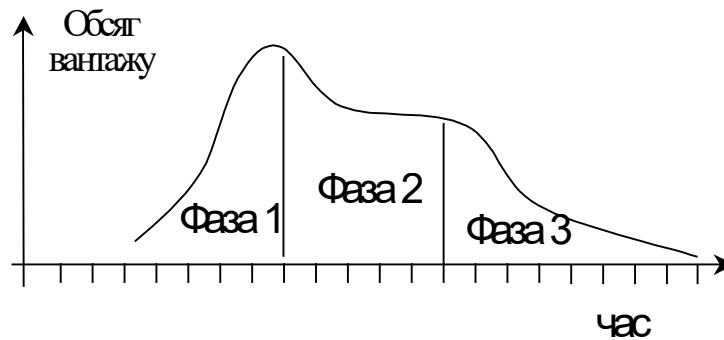


Рис. 3.10. Графік роботи ТК по фазах

Цікавим є вибір оптимальної пропускнуої здатності розглянутої структури в наступних випадках:

- заданій кількості вантажу, що транспортується;
- заданому обсязі перевізних засобів;
- мінімальних витратах на перевезення.

Зокрема можна зупиняти процес перевезення після закінчення фази 2, надаючи здійснення фази 3 (завершальної фази перевезень) іншим засобам транспортування вантажу.

Висновки

1. На основі розробленої в розділі 2 моделі обслуговування сформульовано поняття транспортного коридору. Запропоновано абстрактну модель ТК із виділенням позицій, що відображають вантажно-розвантажувальні роботи на кінцях коридору, і дуг, що позначають напрямки транспортуван-

ня вантажів і передачі супровідної інформації.

2. Вирішено задачу моделювання ПП на УЗ. Для цього розроблено граф Петрі, що охоплює всі шість залізниць України. Уперше введені поняття макродуги, що несе інформацію про множину станцій, перегонів і їх стан, а також поняття макропереходів, що несуть інформацію про характеристики переходів з полігону однієї дороги на полігон іншої.
3. Уперше показано, що для реалізації ефективної моделі ТК потрібно раціонально нумерувати переходи, призначаючи менший номер для переходу, починаючи від відправника вантажу, а наступний по порядку – від приймачника вантажу. Якщо ТК проходить більш, ніж через дві залізниці, то нумерацію варто продовжувати до переходу, що веде до приймачника вантажу.
4. Уперше з використанням запропонованої в дисертації ПММП розроблені графи мережі УЗ, що враховують географічний принцип організації коридорів (відповідно до географічних меридіанів і паралелей). ТК, утворені таким чином, названі "вертикальними" і "горизонтальними".
5. Мережа УЗ як система масового обслуговування схильна до самостабілізації. Вантажопотік, що утвориться у вигляді надлишку ресурсу на одній з шести залізниць, при відсутності управління розподіляється по всіх залізницях приблизно рівномірно.
6. Будь-яка практична постановка задачі (наприклад, зв'язок із закордонними залізницями, облік часу перебування в дорозі, підрахунок вартості перевезення, передача інформації супутньої поїздам і т.п.) вимагає лише збільшення розмірності описуючого ці задачі графа Петрі і відповідних йому матриць M_1, M_2, M_{i0} без потреби написання спеціальної програми.
7. Таким чином, концепція транспортного коридору є похідною від концепції перевізного процесу і може бути охарактеризована як передача ресурсів (у вигляді вантажів) з одного географічного району в інший.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ПММП

На основі результатів, що отримані в розділах 2 і 3 [38, 39], нижче розглянуто 5 прикладів моделювання, що ілюструють ефективність використання ПММП.

У першому прикладі з позицій семіотики [65] виділено напрямки перспективних поширень, починаючи з прагматики; другий та третій приклади удосконалюють отримані раніше результати з точки зору синтаксису; четвертий і п'ятий – підтверджують методологію моделювання (тобто семантику), яку розроблено у дисертації. Одержані результати можуть бути покладені у подальший розвиток запропонованої технології моделювання [13].

4.1. Евристичний (гіпотетичний) транспортний коридор

З метою можливості моделювання будь-якого ТК нижче наведено приклад побудови ТК на основі евристичного підходу. З цією метою ТК (рис. 3.9) був модернізований у неоднорідний.

Гіпотетичний ТК реалізовано в основному на транспортних та стримуєчих дугах, він моделює собою багатоканальний коридор, що діє паралельно щодо навантаження, доставки вантажів, їх розвантаження та повернення поїздів. Структура коридорів такого типу на залізницях України не використовується, але вони ефективні для моделювання технологічних процесів на станціях і перегонах між ними.

Модель гіпотетичного ТК такого типу наведено на рис. 4.1, а її матричний опис – у табл. 4.1. Розглянемо структуру такого ТК, побудовану на основі “ієрогліфів”. Вона включає 23 позиції, 33 переходи і 81 дугу (45 дуг типу $^+k(i,j)$, $^-k(i,j)$ та 36 дуг типу $^+k(j,i)$ з їх прагматикою відповідно).

Таблиця 4.1

Матричний опис гіпотетичного ТК

	M_1			M_2			M_{i0}^T	M'
1	1	1		1	2	1	20	1
1	2	1		2	2	1	0	2
1	3	1		3	3	1	0	3
1	4	1		4	3	1	0	4
1	5	1		5	4	1	0	5
1	6	1		6	4	1	0	6
2	1	-1		7	5	1	0	7
2	7	1		8	6	1	0	8
2	2	-1		9	7	1	0	9
3	3	-1		10	8	1	0	10
3	4	-1		11	9	1	0	11
3	8	1		12	10	1	0	12
4	5	-1		13	11	1	0	13
4	6	-1		14	11	1	0	14
4	9	1		15	11	1	0	15
5	10	1		16	12	1	0	16
6	11	1		17	13	1	0	17
7	12	1		18	14	1	0	18
8	13	1		19	15	1	0	19
9	14	1		20	16	1	0	20
10	15	1		20	23	1	0	21
11	16	1		21	16	1	0	22
11	17	1		21	23	1	0	23
12	16	-3		22	17	1		
12	18	1		23	18	1		
13	12	-1		24	19	1		
13	19	1		25	20	1		
14	20	2		26	20	1		
14	18	-1		27	20	1		
14	31	1		28	17	2		
15	19	-1		29	18	2		
15	21	2		30	19	2		
15	32	1		31	14	2		
16	22	1		32	15	2		
16	23	1		33	21	2		
16	24	1		34	22	2		
17	22	-1		35	1	1		
17	25	2		36	1	1		
17	28	1		37	21	1		
18	23	-1		38	22	1		
18	26	2						
18	29	1						
19	24	-1						
19	27	3						
19	30	1						
20	37	1						
20	38	1						
21	32	2						
21	30	-1						
12	13	-4						
21	34	-1						
22	31	-1						
22	33	2						
22	35	1						

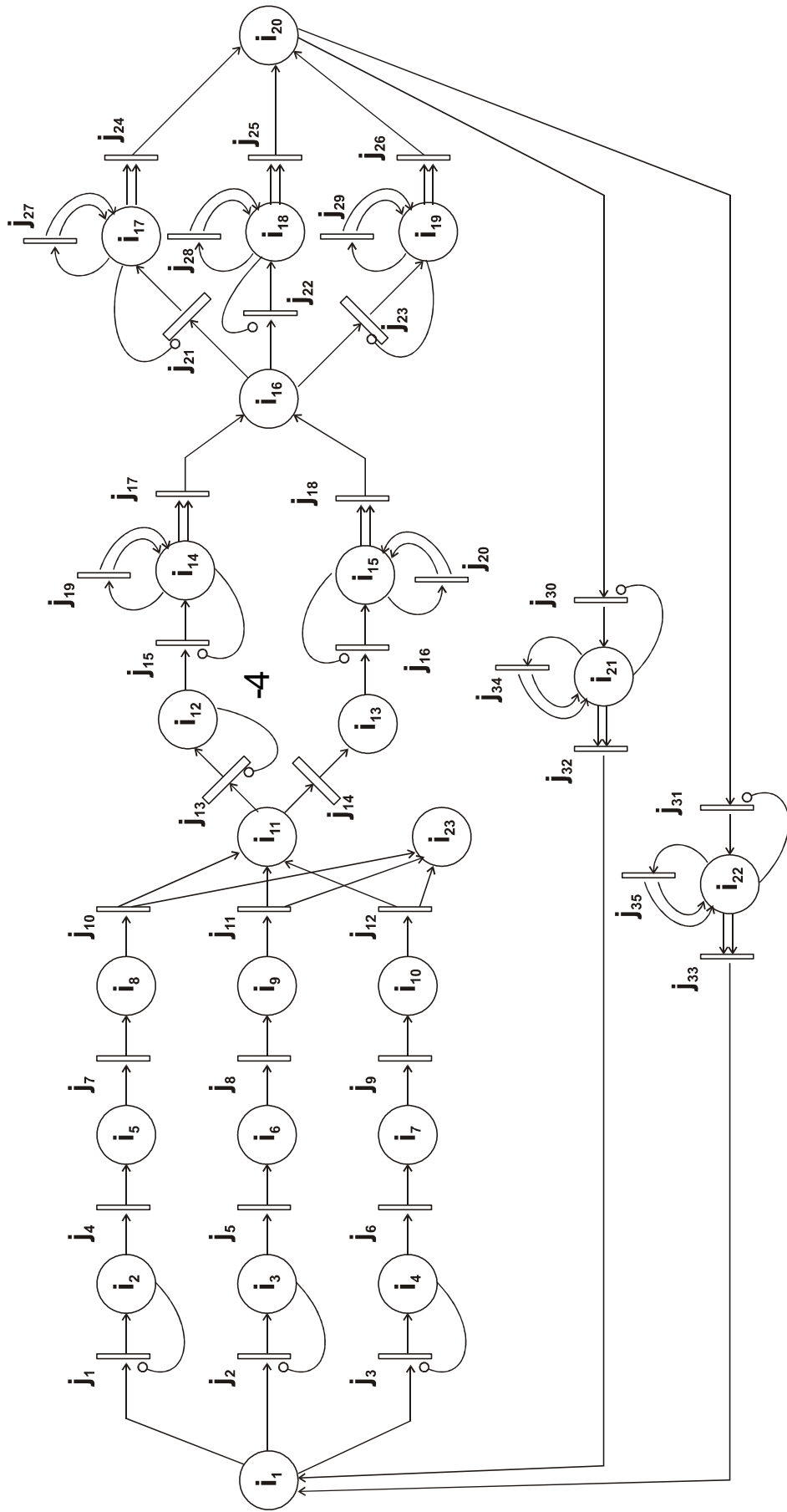


Рис. 4.1. Модель гіпотетичного ТК

Семантично модель складається з 7 приладів обслуговування (позиції i_{14} , i_{15} для доставки, i_{17} - i_{19} при розвантаженні та i_{21} , i_{22} при поверненні поїздів сумісно із з'єднаними з ними переходами). Позиції i_2 - i_{13} разом із своїми переходами моделюють три трьохканальні лінії навантаження поїздів з їх подальшим двохканальним транспортуванням, починаючи з позиції i_{12} та i_{13} .

Для того, щоб не створювати структурних перевантажень, застосовано зважену стримуючу дугу на вході каналу доставки вантажів (12, 13, -4).

Моделювання роботи цього ТК (рис. 4.1) наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Моделювання роботи гіпотетичного ТК

Такт t	Позиції																						
	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8	i_9	i_{10}	i_{11}	i_{12}	i_{13}	i_{14}	i_{15}	i_{16}	i_{17}	i_{18}	i_{19}	i_{20}	i_{21}	i_{22}	i_{23}
t_0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
t_1	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	1	0
t_2	7	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	2	0
t_3	5	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
t_4	5	0	0	0	1	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	1	2
t_5	2	1	1	1	0	0	2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	6	2	2	2
t_6	3	0	0	0	1	1	3	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	6	0	0	4
t_7	0	1	1	1	0	0	3	1	1	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	4	1	1	4
t_8	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	2	1	1	0	0	2	0	0	0	4	2	2	6
t_9	1	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	4	0	0	6
t_{10}	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	2	1	1	2	2	0	2	4	2	2	1	1	8

В цілому аналіз моделювання наведеного ТК показав неоднорідність структури коридора (для трьохканальних навантажень та розвантажень реалізовано двоканальну доставку вантажів та їх повернення).

Різниця швидкостей дво- і трьохканальних структур викликає створення “пробок” у точках переходу ТК на структуру з меншою кількістю каналів. Це завжди зменшує швидкість і є прикладом слабкості евристики як методу проектування.

4.2. Дослідження моделі спрощеного ТК

У [38] наведено модель чотирьохгілкового ТК (доставка вантажів та повернення поїздів здійснюються за допомогою двох гілок відповідно кожна). З метою економії ресурсів розглянемо побудову спрощеного ТК, тобто двоканального щодо доставки вантажів та одноканального з їх повернення.

Для цього модифікуємо схему двоканального ТК (рис. з [38]) шляхом вилучення з цього рисунку надлишкових позицій $i_8, i_{12}, i_{16}, i_{20}$ (повернення поїздів по другому каналу). При цьому із складу ТК вилучено чотири станції без зменшення пропускної спроможності ТК (рис. 4.2). Матричний опис цього ТК наведено у табл. 4.3, а процес моделювання у табл. 4.4.

Оптимальним числом поїздів, що обслуговують такий ТК, є 8 поїздів, що можна побачити із табл. 4.5. Табл. 4.6 складено за результатами одержаного у табл. 4.4 оптимального числа поїздів в залежності від обсягу замовленого вантажу, що дозволяє оцінити необхідну кількість тактів моделювання. Як видно із табл. 4.6, ця залежність лінійна.

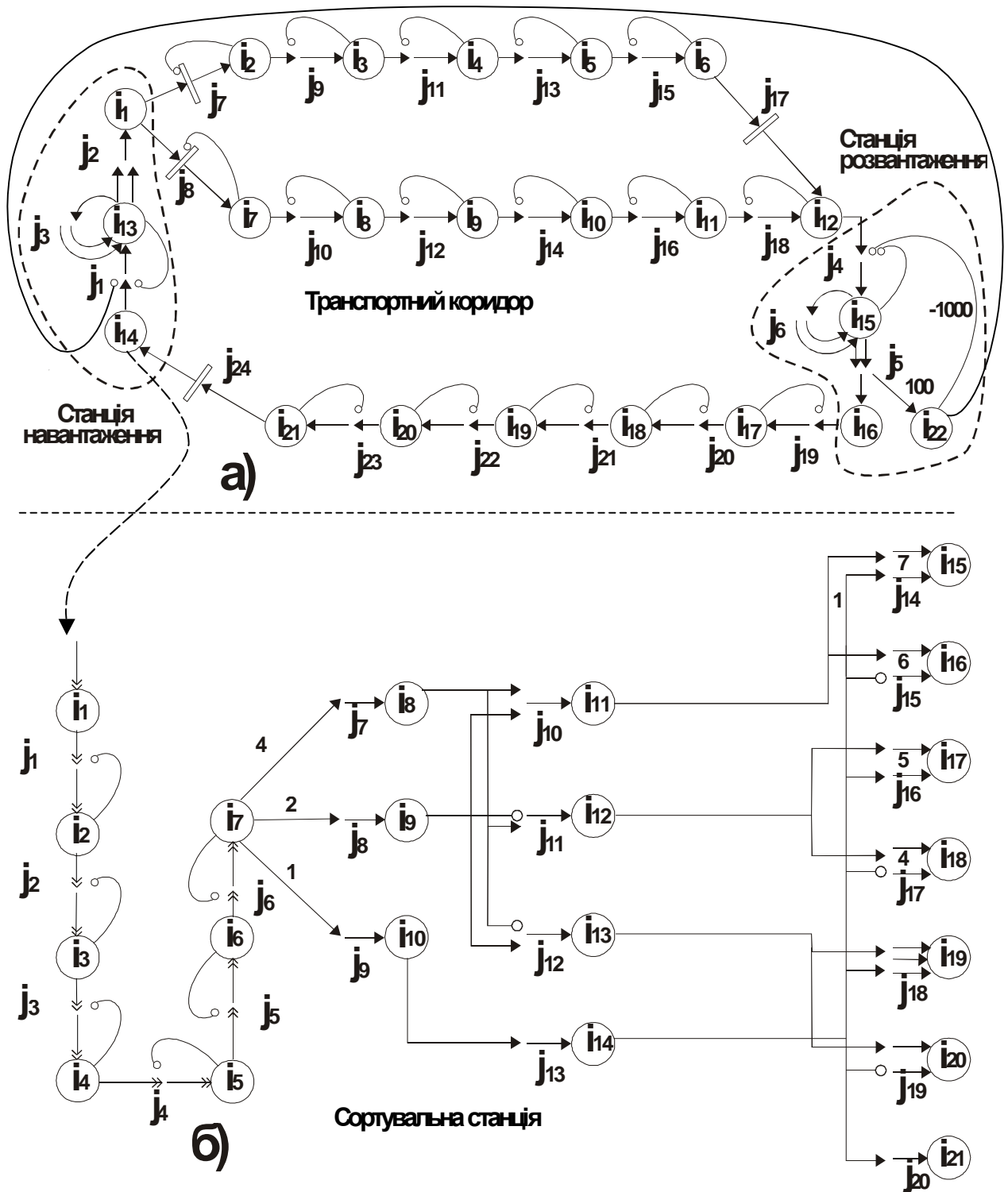


Рис. 4.2. Спрощена модель:
 а) ТК, б) сортувальної станції

Таблица 4.3

Матричный опис спрощеного ТК

M_1	M_2	M_{i0}^T	M'
1 7 1	1 13 1	8	1
1 8 1	2 1 1	0	2
2 7 -1	3 13 2	0	3
2 9 1	4 15 1	0	4
3 9 -1	5 16 1	0	5
3 11 1	5 22 100	0	6
4 11 -1	6 15 2	0	7
4 13 1	7 2 1	0	8
5 13 -1	8 7 1	0	9
5 15 1	9 3 1	0	10
6 15 -1	10 8 1	0	11
6 17 1	11 4 1	0	12
7 8 -1	12 9 1	0	13
7 10 1	13 5 1	0	14
8 10 -1	14 10 1	0	15
8 12 1	15 6 1	0	16
9 12 -1	16 11 1	0	17
9 14 1	17 12 1	0	18
10 14 -1	18 12 1	0	19
10 16 1	19 17 1	0	20
11 16 -1	20 18 1	0	21
11 18 1	21 19 1	0	22
12 18 -1	22 20 1		
12 4 1	23 21 1		
13 3 1	24 14 1		
13 1 -1			
14 1 1			
15 6 1			
15 5 2			
16 19 1			
17 19 -1			
17 20 1			
18 20 -1			
18 21 1			
19 21 -1			
19 22 1			
20 22 -1			
20 23 1			
21 23 1			
21 24 1			
22 4 -1000			

Таблиця 4.4

Процеси у спрощеному ТК

Такт t	Позиції																					
	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆	i ₇	i ₈	i ₉	i ₁₀	i ₁₁	i ₁₂	i ₁₃	i ₁₄	i ₁₅	i ₁₆	i ₁₇	i ₁₈	i ₁₉	i ₂₀	i ₂₁	i ₂₂
t ₀	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₁	6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₂	6	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₃	4	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₄	4	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₅	2	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₆	2	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₇	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
t ₈	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	100
t ₉	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	100
t ₁₀	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	1	0	1	0	0	0	200
t ₁₁	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	1	0	1	0	1	0	0	200
t ₁₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1	0	1	0	1	0	300
t ₁₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	1	0	1	0	1	300
t ₁₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	400
t ₁₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	400
t ₁₆	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	500
t ₁₇	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	500
t ₁₈	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	600
t ₁₉	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	600
t ₂₀	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	700
t ₂₁	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	700
t ₂₂	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	800
t ₂₃	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	800
t ₂₄	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	900
t ₂₅	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	900
t ₂₆	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1000
t ₂₇	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1000

Таблиця 4.5.

Залежність часу доставки вантажу від кількості поїздів

Число поїздів	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число тактів	152	73	55	41	31	29	27	25	25

Таблиця 4.6.

Залежність трудомісткості від обсягу вантажу

Вантаж (в умовних одиницях моделі)	1000	2000	3000	4000	5000	10000
Число тактів	25	45	65	85	105	205

4.3. Спрощена модель сортувальної станції

В забезпеченні роботи ТК важливу роль відіграють сортувальні станції, що готують поїзди [16, 17, 32]. На рис. 4.2,б наведено спрощену модель сортувальної гірки і показано перетворення номера шляху, на який адресовано поїзд, що здійснюється переключенням двопозиційних стрілок. Моделювання адреси шляху, на який мусить прийти поїзд, полягає у представленні його числом міток у десятковій системі счислення.

Перетворювач працює наступним чином. В позицію i_7 надходять мітки з множини $\{0-7\}$. Якщо це 7, то відкривається три переходи j_7-j_9 . При цьому важливо додержувати вказану нумерацію переходів, користуючись правилом надання більшого пріоритету тим переходам, які мають більшу кількість вхідних дуг.

Легко переконатися, що будь яке число із вказаного інтервалу перетворюється у трьохрозрядний двійковий код. За перетворювачем слідує дешифратор, що визначає номер шляху (позиції i_8-i_{14} та переходи $j_{10}-j_{20}$).

Модель розподілу поїздів на сортувальній станції доцільно доповнити стрічкою з конвеєрними дугами (рис. 4.2,б), що складається з позицій i_1-i_7 і переходів j_1-j_6 із стримуючими дугами. Тут позиція i_7 є датчиком десятичного коду, переходи j_7-j_9 є перетворювачем десятиково-двійкового коду, що надходить до позицій i_8-i_{10} , а переходи $j_{10}-j_{20}$ – утворюють пірамідальний дешифратор. Позиції $i_{15}-i_{21}$ моделюють шляхи доставки рухомого складу.

Матричний опис для мережі рис. 4.2,б наведено у табл. 4.7. Процес моделювання відображено у табл. 4.8.

Як показує аналіз результатів моделювання (табл. 4.8), маршрутизація всіх сьоми вагонів черги тривала 15 тактів моделювання, що висуває особливі вимоги щодо оперативності роботи навантажувально-розвантажувальних терміналів у режимі ТК.

Таблиця 4.7

Матричний опис мережі рис. 4.3

M_1	M_2	M_{i0}^T	M'
1 1 0	1 2 0	8	1
2 2 0	2 3 0	0	2
2 1 -1	3 4 0	0	3
3 3 0	4 5 0	0	4
3 2 -1	5 6 0	0	5
4 4 0	6 7 0	0	6
4 3 -1	7 8 1	0	7
5 5 0	8 9 1	0	8
5 4 -1	9 10 1	0	9
6 6 0	10 11 1	0	10
6 5 -1	11 12 1	0	11
7 6 -1	12 13 1	0	12
7 7 4	13 14 1	0	13
7 8 2	14 15 7	0	14
7 9 1	15 16 6	0	15
8 10 1	16 17 5	0	16
8 11 1	17 18 4	0	17
8 12 -1	18 19 3	0	18
8 11 1	19 20 2	0	19
9 10 1	20 21 1	0	20
9 11 -1		0	21
9 12 1			
10 15 1			
11 14 1			
11 15 1			
12 17 1			
12 16 10			
13 18 1			
13 19 1			
14 14 1			
14 15 -1			
14 16 1			
14 17 -1			
14 18 1			
14 19 -1			
14 20 1			

Таблиця 4.8

Результати моделювання

Такт t	Позиції																				
	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆	i ₇	i ₈	i ₉	i ₁₀	i ₁₁	i ₁₂	i ₁₃	i ₁₄	i ₁₅	i ₁₆	i ₁₇	i ₁₈	i ₁₉	i ₂₀	i ₂₁
t₀	1	2	7	4	5	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t₁	1	2	7	4	5	6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t₂	1	2	7	4	5	0	6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
t₃	1	2	7	4	0	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
t₄	1	2	7	0	4	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
t₅	1	2	0	7	0	4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	6	0	0	3	0	0
t₆	1	0	2	0	7	0	4	0	0	0	0	1	0	1	0	6	0	0	3	0	0
t₇	0	1	0	2	0	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6	5	0	3	0	0
t₈	0	0	1	0	2	0	7	0	0	0	0	1	0	0	0	6	5	0	3	0	0
t₉	0	0	0	1	0	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	6	5	4	3	0	0
t₁₀	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	6	5	4	3	0	0
t₁₁	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	7	6	5	4	3	0	0
t₁₂	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	7	6	5	4	3	0	0
t₁₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7	6	5	4	3	2	0
t₁₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	6	5	4	3	2	0
t₁₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	5	4	3	2	1
t₁₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	5	4	3	2	1

4.4. Задача автоматичного розвантаження бункерів сипучих матеріалів

Розвантаження матеріалів виконується на конвеєрну стрічку. Початкові дані такі: число бункерів – 7; послідовність розвантаження бункерів - починаючи з найближчого до виходу з конвеєру. Отже, кожен бункер, що завантажений, моделюється однією з семи позицій (i_1-i_7 рис. 4.3), в них розміщено по 10 міток. Конвеєрна стрічка моделюється множиною (наприклад із 13 елементарних конвеєрних ланцюгів). Одна з позицій - i_{15} моделює наявність ресурсу (три мітки), тобто враховує обмеження, при якому число одночасно розвантажуваних бункерів не перевищує 3. Обмеження щодо не припущення пересипання вантажу із стрічки задовольняється шляхом підбору часу затримки одного з приладів обслуговування (позиції $i_{16}-i_{20}$).

Модель процесу розвантаження складається як з алгоритму керування, так і з моделі об'єкту (конвеєрна стрічка), що надає змогу одночасно контролювати працездатність мережі.

Також передбачені позиції предикатного типу логічного управління (i_8-i_{14}) для контролю за станом бункерів. Переходи моделюють передачу вантажів на вказані позиції конвеєра лише при їх відкритті. Таким чином з'єднання дугами позицій з переходами утворило мережу, що складається з 34 позицій та 44 переходів (рис. 4.3).

Матричний опис мережі рис. 4.3 наведено у табл. 4.9, а процес моделювання – у табл. 4.10.

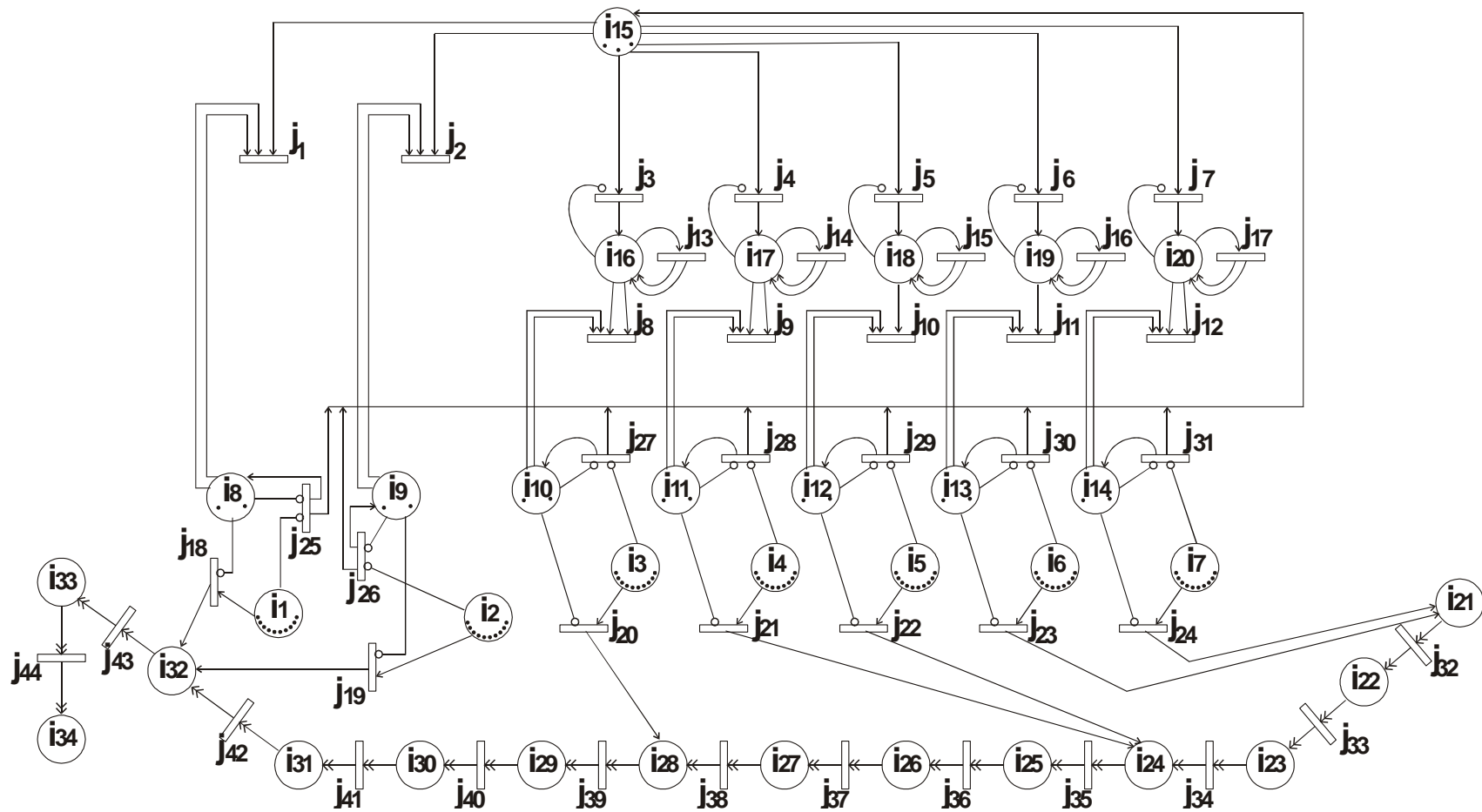


Рис. 4.3. Граф процесу управління розвантаженням на стрічку

Таблиця 4.9

Матричний опис мережі рис. 4.3.

M1	M2	M ^T ₁₀	M'
1 18 1	4 17 1	10	1
1 25 -1	5 18 1	10	2
2 19 1	6 19 1	10	3
2 26 -1	7 20 1	10	4
3 20 1	13 16 2	10	5
3 27 -1	14 17 2	10	6
4 21 1	15 18 2	10	7
4 28 -1	16 19 2	2	8
5 22 1	17 20 2	2	9
5 29 -1	18 32 1	2	10
6 23 1	19 32 1	2	11
6 30 -1	20 28 1	2	12
7 24 1	21 24 1	2	13
7 31 -1	22 24 1	2	14
8 1 2	23 21 1	3	15
8 18 -1	24 21 1	0	21
8 25 -1	25 8 1	0	22
9 2 2	25 15 1	0	23
9 19 -1	26 9 1	0	24
9 26 -1	26 15 1	0	25
10 8 1	27 10 1	0	26
10 3 1	27 15 1	0	27
10 20 -1	28 11 1	0	28
10 27 -1	28 15 1	0	29
11 9 2	29 12 1	0	30
11 21 -1	29 15 1	0	31
11 28 -1	30 13 1	0	32
12 10 2	30 15 1	0	33
12 22 -1	31 14 1	0	34
12 29 -1	31 15 1	0	
13 11 2	32 22 0	0	
13 23 -1	33 23 0	0	
13 30 -1	34 24 0	0	
14 24 -1	35 25 0	0	
14 12 2	36 26 0		
14 31 -1	37 27 0		
15 1 1	38 28 0		
15 2 1	39 29 0		
15 3 1	40 30 0		
15 4 1	41 31 0		
15 5 1	42 32 0		
15 6 1	43 33 0		
15 7 1	44 34 0		
16 13 1			
16 3 -1			
16 8 7			
17 4 -1			
17 14 1			
17 9 3			
18 5 -1			
18 15 1			
18 10 2			
19 6 -1			
19 11 1			
19 16 1			
20 12 1			
20 7 -1			
20 17 1			
21 32 0			
22 33 0			
23 34 0			
24 35 0			
25 36 0			
26 37 0			
27 38 0			
28 39 0			
29 40 0			
30 41 0			
31 42 0			
32 43 0			
33 44 0			

Таблиця 4.10

Моделювання процесів у мережі рис. 4.3.

Такти	Позиції																																	
	i ₁	i ₂	i ₃	i ₄	i ₅	i ₆	i ₇	i ₈	i ₉	i ₁₀	i ₁₁	i ₁₂	i ₁₃	i ₁₄	i ₁₅	i ₂₁	i ₂₂	i ₂₃	i ₂₄	i ₂₅	i ₂₆	i ₂₇	i ₂₈	i ₂₉	i ₃₀	i ₃₁	i ₃₂	i ₃₃	i ₃₄					
t ₀	10	10	10	10	10	10	10	2	2	2	2	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
t ₁	9	9	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0		
t ₂	8	8	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2			
t ₃	7	7	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4			
t ₄	6	6	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6			
t ₅	5	5	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8			
t ₆	4	4	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10			
t ₇	3	3	10	10	10	10	10	0	0	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12			
t ₈	2	2	9	10	10	10	10	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	14				
t ₉	1	1	8	10	10	10	10	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	16					
t ₁₀	0	0	7	10	10	10	10	1	1	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	18					
t ₁₁	0	0	6	10	10	10	10	1	1	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	20					
t ₁₂	0	0	5	10	10	10	10	1	1	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	20				
t ₁₃	0	0	4	10	9	10	10	1	1	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	21				
t ₁₄	0	0	3	9	8	10	10	1	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	22				
t ₁₅	0	0	2	8	7	10	10	1	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	23				
t ₁₆	0	0	1	7	6	10	10	1	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	24				
t ₁₇	0	0	0	6	5	10	10	1	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	25				
t ₁₈	0	0	0	5	4	10	10	1	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	26				
t ₁₉	0	0	0	4	3	10	10	1	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	27				
t ₂₀	0	0	0	3	2	10	10	1	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	28				
t ₂₁	0	0	0	2	1	10	10	1	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	29			
t ₂₂	0	0	0	1	0	10	10	1	1	1	0	1	2	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	31			
t ₂₃	0	0	0	0	0	10	10	1	1	1	1	1	2	2	1	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	33			
t ₂₄	0	0	0	0	0	10	10	1	1	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	35			
t ₂₅	0	0	0	0	0	10	10	1	1	1	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	37			
t ₂₆	0	0	0	0	0	10	10	1	1	1	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	39			
t ₂₇	0	0	0	0	0	10	10	1	1	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	41			
t ₂₈	0	0	0	0	0	9	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	43			

Таблица 4.10 (Продовження)

t29	0	0	0	0	0	8	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	45
t30	0	0	0	0	0	7	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	47
t31	0	0	0	0	0	6	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	49
t32	0	0	0	0	0	5	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50
t33	0	0	0	0	0	4	10	1	1	1	1	1	0	2	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	50
t34	0	0	0	0	0	3	10	1	1	1	1	1	0	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	50
t35	0	0	0	0	0	2	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	50
t36	0	0	0	0	0	1	10	1	1	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	50
t37	0	0	0	0	0	0	10	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	50
t38	0	0	0	0	0	0	10	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	50
t39	0	0	0	0	0	0	9	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	50
t40	0	0	0	0	0	0	8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	51
t41	0	0	0	0	0	0	7	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	52
t42	0	0	0	0	0	0	6	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	53
t43	0	0	0	0	0	0	5	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	54
t44	0	0	0	0	0	0	4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	55
t45	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	56
t46	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	57
t47	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	58
t48	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	59
t49	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	60
t50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	60
t51	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	61
t52	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	62
t53	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	63
t54	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	64
t55	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	65
t56	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	66
t57	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	67
t58	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	68
t59	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
t60	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
t61	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70

4.5. Модель дозатора

Приклад, що наводиться нижче, також сполучає у собі переваги спільного використання як транспортних, так і конвейєрних дуг мови ПММП. Мережу для дозатора наведено на рис. 4.4.

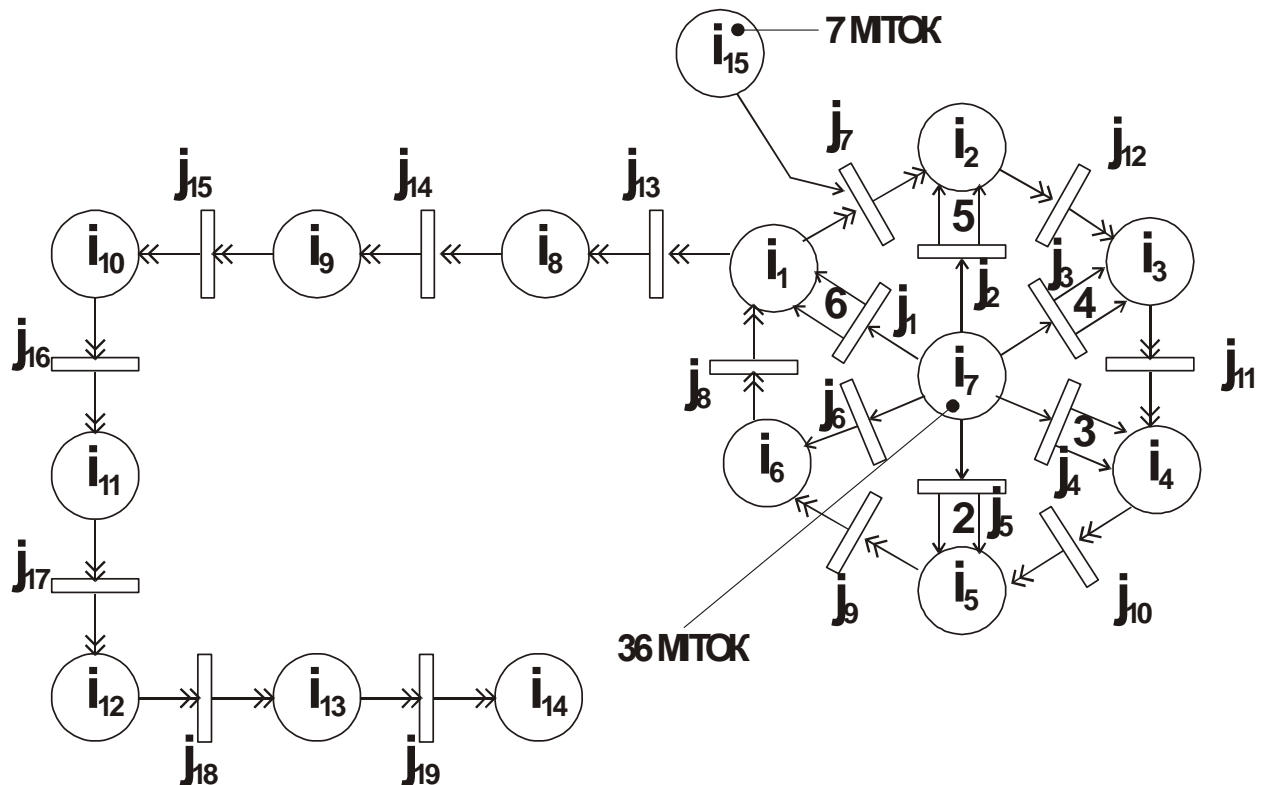


Рис. 4.4. Мережа Петрі, що моделює дозатор

В моделі відображено взаємодію дуг при розв'язанні задач дозування та транспортування багатоконпонентних продуктів з урахуванням наявного ресурсу (у позиції i_7 є 36 міток).

Переходи j_1 - j_6 при їх відкритті мітками з позиції i_7 наповнюють позиції i_1 - i_6 кожен своєю кількістю міток, що моделюють дозу багатоконпонентного продукту, коштовність дози і т.п. При цьому з позиції i_{15} на кожному такті забирається по одній мітці. Коли з позиції i_{15} піде остання мітка, керований конвеєрний перехід j_7 буде зачинено і почнеться процес доставки дозо-

ваних вантажів по другому конвеєрному ланцюгу з позиціями i_1, i_2-i_6, i_8-i_{14} до місця споживання (такт t_7 і подальші такти у табл. 4.12). Незважаючи на те, що у позицію i_{13} надійшло 7 міток (заявок) на комплектацію у результуючій позиції i_{14} виявилось 6 комплектів міток ($6 \times 21 = 126$), оскільки у позиції i_7 вичерпався ресурс.

Наведена структура може знайти застосування у різних системах дозування як впорядковуюча ланка. При потребі така структура може бути доповнена до моделі рівномірного завантаження вагонів від джерел різної продуктивності. Матричний опис мережі рис. 4.4 наведено у табл. 4.11.

Таблиця 4.11.

Матричний опис дозатора

M_1	M_2	$M_{i_0}^T$	M'
1 7 0	1 1 6	0	1
1 13 0	2 2 5	0	2
2 12 0	3 3 4	0	3
3 11 0	4 4 3	0	4
4 10 0	5 5 2	0	5
5 9 0	6 6 1	9	6
6 8 0	7 2 0	36	7
7 1 1	8 1 0	0	8
7 2 1	9 6 0	0	9
7 3 1	10 5 0	0	10
7 4 1	11 4 0	0	11
7 5 1	12 3 0	0	12
7 6 1	13 8 0	0	13
8 14 0	14 9 0	0	14
9 15 0	15 10 0	0	15
10 16 0	16 11 0		
11 17 0	17 12 0		
12 18 0	18 13 0		
13 19 0	19 14 0		
15 7 1			

Таблиця 4.12

Моделювання роботи дозатора

Такти t	Позиції															
	<i>i</i> ₁	<i>i</i> ₂	<i>i</i> ₃	<i>i</i> ₄	<i>i</i> ₅	<i>i</i> ₆	<i>i</i> ₇	<i>i</i> ₈	<i>i</i> ₉	<i>i</i> ₁₀	<i>i</i> ₁₁	<i>i</i> ₁₂	<i>i</i> ₁₃	<i>i</i> ₁₄	<i>i</i> ₁₅	<i>i</i> ₁₆
t ₀	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	7
t ₁	1	6	5	4	3	2	30	0	0	0	0	0	0	0	0	6
t ₂	3	7	11	9	7	5	24	0	0	0	0	0	0	0	0	5
t ₃	6	9	12	15	12	9	18	0	0	0	0	0	0	0	0	4
t ₄	10	12	14	16	18	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0	3
t ₅	15	16	17	18	19	20	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2
t ₆	21	21	21	21	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
t ₇	21	21	21	21	21	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₈	21	0	21	21	21	21	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₉	21	0	0	21	21	21	0	21	21	0	0	0	0	0	0	0
t ₁₀	21	0	0	0	21	21	0	21	21	21	0	0	0	0	0	0
t ₁₁	21	0	0	0	0	21	0	21	21	21	21	0	0	0	0	0
t ₁₂	21	0	0	0	0	0	0	0	21	21	21	21	21	0	0	0
t ₁₃	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	21	21	21	21	0	0
t ₁₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	21	21	21	21	0
t ₁₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	21	21	42	0
t ₁₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	21	63	0
t ₁₇	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	84	0
t ₁₈	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	105	0
t ₁₉	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	0

Висновки

1. Аналіз процесу моделювання гіпотетичного транспортного коридора показав структурну неоднорідність (при трьохканальних структурах наван-

таження та розвантаження реалізовані двоканальні структури транспортування та повернення). Різниця у швидкостях двох- і трьохканальних структур призводить до створення “пробок” в місці переходів ТК на структуру з меншою кількістю каналів. Це завжди знижує швидкість ПП. Щоб послабити структурні перевантаження, рекомендується використання стримуючих дуг, наприклад дуга між i_{12} та i_{13} з вагою $\bar{k}(i,j) = -4$ (рис. 4.1), що тимчасово зменшує її розмір.

2. Аналіз моделювання наведеної неоднорідної структури ТК також показав можливість зменшення числа каналів на фазі повернення вагонів. Запропонована методика дозволяє досліджувати структури з метою їх оптимізації і верифікації на рівні комп’ютерного моделювання.

3. Як видно з пп.. 4.4 та 4.5, ресурс (мітки) мають вирішальну роль як при визначенні кінцевої адреси, так і при обчисленні кінцевого результату.

4. Четвертий (найбільш великий з наведених в розділі прикладів) свідчить про можливість застосування розробленої методики та створеної мови ПММП не тільки для моделювання процесів на залізничному транспорті, але і у інших технологічних процесах.

ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано важливу задачу розробки наукових, методичних і прикладних основ побудови моделей, що адекватно відбивають ПП на залізничних ТК, скорочують час моделювання та витрати обчислювального ресурсу. При цьому отримані такі результати:

1. Виконаний аналіз математичних моделей процесу перевезень показав, що існуючі технології моделювання не відображають: просторової розподіленості перевезень на залізницях; експлуатаційних особливостей залізниць; комп'ютерного представлення цих процесів у динаміці. У зв'язку з цим математичні моделі перевезень по транспортних коридорах необхідно будувати на основі нових інформаційних технологій.

2. З метою опису моделей процесу перевезень на рівні, доступному широкому колу фахівців-технологів, розроблено мову моделювання на основі узагальненого математичного апарата мереж Петрі. Існуюча мова мереж Петрі доповнена новими елементами – спеціальними дугами та їх сполученнями, що збільшило образотворчі засоби мови і поширило можливості її застосування.

3. На основі введеного поширення мереж Петрі (використані нові типи дуг, у тому числі конвеєрні; відомі типи дуг отримали нову інтерпретацію як транспортні; усім дугам присвоюється важливий цілочисельний параметр – вага) розроблено технологію моделювання транспортних коридорів на основі абстрактної моделі, яка породжує макромоделі. Запропоновано макромоделі транспортних коридорів "вертикального" (південь-північ) та "горизонтального" (схід-захід) типів.

4. Розроблено моделюючу програму Winpet на основі введеного автором нового поширення мереж Петрі та технологічної мови моделювання. Winpet використовує узагальнені, автономні і пріоритетні мережі Петрі. Суттєвим є той факт, що при введені в ПЕОМ даних, необхідних для моделю-

вання, використовується списковий опис графу мережі Петрі замість громіздких масивів даних, які мають місце в інших методах на основі мереж Петрі. Це дає змогу спростити програмне забезпечення, верифікувати результати моделювання, зменшити обсяг пам'яті.

5. Запропоновано будувати макромоделі транспортних коридорів по одно- і двоканальній структурі, а також показана можливість побудови багатоканальних моделей. Виявлено, що двоканальні коридори скорочують час перерозподілу ресурсів у 1.5 рази.

6. Показано, що виграш у витратах часу на моделювання по запропонованому в дисертації методу в порівнянні з традиційними (на основі прогнаних логічних моделей) складає 5-7 разів.

7. Запропоновано поширити метод моделювання процесу перевезень на вантажно-розвантажувальні роботи, виконувані в кінцевих пунктах коридорів.

8. Достовірність отриманих у роботі результатів підтверджується наступним: коректним використанням адекватного математичного апарата для розв'язання поставленої наукової задачі, результатами комп'ютерного моделювання на ПЕОМ, впровадженням окремих результатів роботи підприємствами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алгебраические средства оценивания характеристик дискретно-событийных систем /Г. Коэн, П. Моллер, Ж.П. Кадра, М. Вью // ТИИЭР. – 1989. - №1. – С. 30-53.
2. Алгоритмическая и программная реализация задачи распределения сортировочной работы в узлах. /А.П.Осипов, Е.В. Христовская // Вестник ВНИИЖТ. - 1992. - №5. - С.21-23.
3. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве. – М.: Мир, 1979. – 638с.
4. Блаувелт П., Мессина Р. Информационная система о грузах на железных дорогах // Железные дороги мира. – 1996. - №11. – С. 13-15.
5. Боума А., Олтродж Ч. Проектирование и моделирование линий общественного транспорта // Железные дороги мира. – 1996. - №1. – С. 11-18.
6. Боборовский В.И. Компьютерное моделирование в проектировании железнодорожных станций // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1998. - №4. – С.15-23.
7. Бергер Р. Управление информацией по перевозкам в смешанных сообщениях // Железные дороги мира. – 1998. - №1. – С. 15-23.
8. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 472с.
9. Большие технические системы. Проектирование и управление / Под ред. П.А. Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.
10. Вычислительные сети и сетевые протоколы. / Д.Дэвис, Д.Барбер и др. – М.: Наука, 1980. – 564с.
11. Ги М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. - М.: Мир, 1982. – 281с.
12. Глушков В.М. Введение в АСУ. – К.: Техника, 1972. - 230с.
13. Данько Н.И., Луханин Н.И., Михаль О.Ф. Адаптивные распределен-

ные нечеткие управляющие системы с интеграцией эволюционного опыта на локально-параллельных алгоритмах // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2002. - №4,5. - С.60-64.

14. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 396с.

15. Дьомін Ю.В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем. – К.: "Юнікон-Прес", 2001. – 342 с.

16. Жуковицкий И.В., Пахомова В.Н., Луханин Н.И. Исследование структуры ЛВС в перспективных системах автоматизации стрелочной зоны на сортировочных горках различных типов. Часть 1 // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - №4. - С.85-90.

17. Жуковицкий И.В., Загарий Г.И., Луханин Н.И. Управление замедлителями тормозной позиции сортировочной горки. Часть 1. Модель системы // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - №5. - С.10-15.

18. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К.: Вища школа, 1988. – 550с.

19. Закон України “Про інформатизацію народного господарства”.

20. Захаров Г.П. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений. - М.: Радио и связь, 1988. - 350с.

21. Зиятдинов Ю.К. Методы определения оптимальных параметров технических систем при наличии ограничений // Космическая наука и технология. - 1996. - №1,2 – С. 62-67.

22. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: ФМЛ, 1987. – 382 с.

23. Інформатизація України. Концепція державної політики інформатизації. Основні напрями Національної програми інформатизації України. / Під керівництвом В.С. Михалевича. // УСИМ. - 1994. - №4-5. – С.7-21.

24. Исследование операций: В 2т. /Под ред. Дж. Моудера и С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – Т.1-2. – 752с.
25. Козлов П.А. Управляющие системы на железнодорожном транспорте // Автоматика, связь, информатика. – 2003. - №1. – С.4-5.
26. Котов В.Е. Сети Петри. -М.: Наука, 1984. - 160с
27. Кунаева Е.А. Фирменное транспортное обслуживание на базе информатизации // Железнодорожный транспорт. – 1998. - №6. – С. 74-77.
28. Куренков П.В. Проблема управления доставкой внешнеторговых грузов в смешанных сообщениях в условиях рынка // Транспорт. Наука, техника, управление. – М.: ВИНТИ, 1998. - №11. – С.13-24.
29. Лapidус Б.М. Системы фирменного транспортного обслуживания // Железнодорожный транспорт. – 1997. - №1. – С.2-6.
30. Лapidус Б.М., Мазо Л.А. Проблемы информатизации в управлении экономикой, маркетингом и финансами // Железнодорожный транспорт. – 1998. - №6. – С.86-89.
31. Ласдон Л.С. Оптимизация больших систем. – М.: Наука, 1975. – 432с.
32. Луханин Н.И. Адаптивная система управления тормозной позицией горки. Часть 1. Структура локального контура управления скоростью отцепки // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1999. - №4. -С.105-107.
33. Луханин М.І., Селецький В.С. Застосування методу декомпозиції для моделювання підсистеми розформування на сортувальній станції // Інформаційно-керувальні системи на залізничному транспорті. - 2001. - №4. - С.16-19.
34. Майкина Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. - М.: Мир, 1981. – 320с.
35. Мамиконов А.Г., Пискунов А.Н., Цвиркун А.Д. Модели и методы проектирования информационного обеспечения АСУ. – М.: Статистика, 1978. – 381с.

36. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344с.

37. Методика расчета количественных показателей безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. / Гавзов Д.В., Самонина Е.В. // Вестн. ВНИИЖТ. – 1992. - №5. - С.9-12.

38. Моделирование работы транспортного коридора / Балановский А.А., Загарий Г.И., Луханин Н.И. и др. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2001. - №5. - С.12-16.

39. Моделирование технологического процесса с помощью расширенных сетей Петри / Балановский А.А., Загарий Г.И., Луханин Н.И. и др. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2001. - №3. - С.57-59.

40. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

41. Мойсеенко В.И., Маркин О.М. Представление технологических процессов в транспортных системах управления сетями Петри // Сб. науч. тр. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1996. – С.69-74.

42. Мурата Т. Сети Петри: свойства, анализ, приложения // ТИИЭР. – 1988. – Т.77, №4. – С.41-85.

43. Нечипоренко В.И. Структурный анализ системы (эффективность и надежность). – М.: Сов. Радио, 1997. – 385 с.

44. Нечеткие множества и теория возможностей / Под ред. Р.Р. Ляера. – М.: Радио и связь, 1986. – 406с.

45. О развитии железных дорог в Европейском сообществе: Директива Совета Европейского сообщества 91/440/ЕЕС от 29.07.1991 г. / Official Journal of European Communities NL237/25. – Брюссель, 1991. – 6с.

46. Оре О. Графы и их применение. – М.: Мир, 1965. – 174с.

47. Оценка временных характеристик прохождения вычислительных процессов в SIMD-системах с использованием аппарата сетей Петри. / Башин

Ю.А. //Пробл. Ориент. Прогр. Модели, интерфейс, обуч. //Ин-т пробл. упр. – М. - 1990. – с.68-73.

48.Павоне ДЖ. Оценка качества транспортных услуг //Железные дороги мира. -1998. -№1. -С.23-30.

49.Первое знакомство с сетями Петри: Учебное пособие /Мурашко А.Г.//Л.: УМК ВО, 1988. –71с.

50.Перевод железнодорожных билетов на ИС-карты /Мики Сигэо. //Keisoku to seigyo.=I.Soc. Instrum and Control Eng. –1991. –30. №11. - P.999-1001.

51.Петренко А.И. Основы автоматизированного проектирования. – К.: Техніка, 1982. – 295с.

52.Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984. - 265с.

53.Плахов Е.М., Егоров Н.В. Компьютерные технологии управления перевозками // Железнодорожный транспорт. – 1997. - №3. – С.2-6.

54.Поддавашкин Э.С. Железнодорожный транспорт по пути информатизации // Железнодорожный транспорт. - 1998. - №6. - С.42-49.

55.Постанова кабінету міністрів України від 04.08.1997 р. №812. Створення і функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів.

56.Пути и методы реструктуризации железных дорог // Железные дороги мира. – 1998. - №4. – С.32-38.

57.Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

58.Проблемы информатизации на железнодорожном транспорте / Сб. науч. тр. ВНИИЖТ / Ред. Ф.Д. Лист, А.В. Кутыркин. – М.: Транспорт, 1992. – 160с.

59.Разделение функций контроля за инфраструктурой и эксплуатацией // Железные дороги мира. – 1998. - №4. – С. 39-42.

60. Разработка оптимальных программ управления движением транспортных средств. /Монахов О.И. и др. // Изв. Вузов. Электромех. – 1991. - №5. – С.61-66.
61. Райс Л. Эксперименты с локальными сетями микро-ЭВМ. –М.: Мир. 1990. –268с.
62. Резер С.М. Управление транспортом за рубежом. – М.: Наука, 1994. – 315с.
63. Розен Э. Цель – оптимальность – решение: Математическая модель принятия оптимальных решений. – М.: Радио и связь, 1982. –169с.
64. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними проблемы. – М.: Мир, 1973. – 276с.
65. Семиотический анализ языка Петри и его расширений / Гусев И.В., Данько Н.И., Луханин Н.И. и др. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2001. - №6. - С.54-58.
66. Система диспетчерского наблюдения и контроля, обеспечивающая безопасность движения / Сасама Хироси. // RRR: Railway Res. Rev. – 1991. - №2. Р.9-14.
67. Советов Б.Л., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1985. – 266 с.
68. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков дорог. – М.: Транспорт, 1976. – 268с.
69. Технология программирования параллельных вычислительных систем на базе транспьютерных сетей /Семик В.П., Агаронян А.Л., Каменнова М.С. // Итоги науки и техники. Серия техн. Киберн. ВИНТИ. - 1990. - №30. - с.3-50.
70. Тенденции развития железнодорожного транспорта в Европе // Железные дороги мира. – 1996. - №11. – С.3-5.
71. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / Под ред. П.С. Грунтова. – М.: транспорт,

1994. – 543с.

72. Управление информацией по перевозкам в смешанных сообщениях // Железные дороги мира. - 1998. - №1. - С.15-23.

73. Федоров Л.С., Сергеев П.А., Шуйская О.В. Транспорт: тенденции и перспективы развития // Железнодорожный транспорт. – 1999. - №2. – С.70-74.

74. Федюшин Ю.М. Информатизация железнодорожного транспорта Украины // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. №4. -С.3-5.

75. Федюшин Ю.М. Сети Петри. Применение и состояние теории (обзор) // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №6. - С.11-15.

76. Федюшин Ю.М. Реструктуризация отрасли, информатизация железных дорог и перспективы создания корпоративной информационно-управляющей системы Укрзалізниці // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №5, 6. - С.3-4.

77. Україна у цифрах у 1999 р.: коротка статистична довідка. / Державний комітет статистики України. – К.: Наукова думка, 2000. – 263с.

78. Харланович И.В. Основные направления развития науки и научных исследований на ж.д. транспорте стран СНГ // Бюллетень ОСЖД. – 1992. - №3/4. – С.15-19.

79. Хейт П. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 324с.

80. Цвиркун А.Д. Основы синтеза сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 192с.

81. Центры управления движением поездов и техническое управление // Железные дороги мира. - 1996. - №3. - С.5-9.

82. Цурков В.И. Декомпозиционные методы решения задач большой размерности. – М.: Наука, 1981. – 352с.

- 83.Червинский Р.А. Методы синтеза систем в целевых программах. – М.: Наука, 1987. – 223с.
- 84.Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в теорию информационных систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 277с.
- 85.A hybrid methodology for synthesis of Petry nets models for manufacturing Systems / Zhou Meng Chu, DiCegare Frank, Degrochers Alan A. //IEEE Trans. Rob. And Autom. –1992.-8. №3, p.350-361.
- 86.An intelligent urban traffic network controller and simulator /Mital Dinesh P. //IETE Techn. Rev. -1990. -7. 1. -p.52-57.
- 87.Automated protocol modeling and verification combining an entry bagged specification Language and Petri Nets. /Shatz S., Suzuki T., Muzata T. //COMPSAC'89: 13th Annu. Int. Comput Software and Appl. Conf., Orlando, Fla, Sept. 20-22, 1989: Proc.-Washington (DC.). - 1989. - p.580-587.
- 88.Batisse F. Грузовые перевозки: прогнозы и реальность // Le Rail. – 1995. - №52. – С.18-20.
- 89.Berger R. Управление информацией по перевозкам в смешанном сообщении. //Железные дороги мира, - 1998. - №1. - С.15-22.
- 90.Bernard P., Lagneau H. Новые технологии для гармонизации железных дорог Европы. // European Railway Review. - 1995. - №1. - p.16-19.
- 91.Designaltechnik der OBB. /Staindl Helmut. // Signal+Draht. - 1991. - №4. -p.66-68, 70-71.
- 92.Европейский стандарт CEN TC 237 WGE (№69).
- 93.Etessami Farhad, Hura S./Rule - Based design for solving control problems. // JEEE Trans. Software Eng. - 1991. - №3. - p.273-282.
- 94.Fast computers open the way for advanced controls. /Babb Michael. // Control Eng. - 1991. - №1. - p.45-47,49,51.
- 95.Graph: A graphical system for Petri net design and simulation. /Suay Zbigniev. // Petri Net Newslett. - 1990. - №35. - P.32-36.
- 96.Ibaraki I. Integer programming formulation of combinatorial optimization

problems // Diskrete Math. – 1976. – №1. – P.39-52.

97. Implementing large scale automation projects in an environment of changing. /Zel Michael, Dockrill Pezzy. //Adv. Instrum. And Contr.: Proc. ISA Int. Conf. And Exhib., Philadelphia. Pa. 1989. Vol. 44. Ptl.-Research Triangle Park (N.C.). - 1989. - p.229-238.

98. Jahnke В. Новые системы железнодорожных грузовых перевозок // Eisenbahntechnische Rundschau. – 1995. - №4. – С.233-240.

99. Марсилле Ж. Системы электронного обмена данными как средство информационного обслуживания клиентов // Железные дороги мира. - 1997. - №1. - С.54-61.

100. Methodologies for meeting hard deadlines in industrial distributor real-time systems . /Halagan Wolfgang A., Kramer Bernd. //COMPSAC'89: 13th Annu. Int. Comput Software and Appl. Conf., Orlando, Fla, Sept. 20-22, 1989: Proc.-Washington (DC.). - 1989. - p.567-573.

101. Neuerungen der Servicehilfen für die Gleisschaltung an EBUT-Anlagen. /Becker August, Schwipper Frits-Erwin. // Signal+ Draht. - 1991. - №83. - p.53-58.

102. On Technical safety and security (contonend). /C.A. Petri, C.Y. Yuan. // Petri net Newslett. - 1990. - №35, - P.8-15.

103. Pierick K., Wiegand K.-D. Система МСДС как основа интегрированного регулирования технологического процесса на железных дорогах // Eisenbahntechnische Rundschau. - 1994. - №6. - p. 46-51.

104. Petri net tools for the specification and analysis of discrete controllers. /Wilson Reg G., Krogh Bruce H. // IEEe Trans. Software Eng. - 1990. - №1. - P.39-50.

105. Preston J.M. Тенденции развития железнодорожного транспорта в Европе // Railway Garette International. – 1996. – №7. – P.450-451.

106. Radtke A. Автоматизированная система планирования и оптимизации оборота тягового подвижного состава // Eisenbahntechnische Rund-

schaut. - 1994. - №8, - p. 57-61.

107. Representation of assembly and automatic Robot planning by Petri net / Zhang Weixiong. // IEEe. Trans. Syst., Man. And Cybern. - 1989. - №2. - p.418-422.

108. Rule-based design methodology for solving control problems / Etessami Farhad S., Hura S. // IEEe Trans. Software Eng. - 1991. - №3. - P.270-282.

109. Satisfiability testing for non-clausal propositional calculus by using Petri nets / Chung Won Ho. Oh Ha Ryoung. Kim Myunghwan // Trans. Inst. Electron Inform. And Commun. Eng. E. - 1990. - №4. - p.539-544.

110. Serf V., Mackenzie A. Proposal for an Internetwork End-to-End Transport Protocol. – In Computer Network Protocols. – 1988. Lige, Belgium. - p.5-45.

111. Stenerung und informations elektronische Auszustung der Serientriebzue BR270 der Berliner S-Bahn / Nikoloff Ivan, Ernst Gerhard, Schroder Klous-Peter, Sefert Ernst-Eberchard // Schienenfahrzeuge. - 1990. - №5. - p.227-229.

112. Yoshida T. Основные направления научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте Японии // Japanese Raikway Engineering. – 1994. - №131. – P.9-10.

Додаток А

Програма Winpet*

```

Program Winpet;
uses dos;

Const About='Petry net. Version 1.0. ';
Const CountMas = 1001;

Var FName1,FName2 : string;
    f1,f2          : text;
    M1,M2          : array[1..CountMas,1..4] of integer;
    F,F_,O         : array[1..CountMas] of integer;
    CountP,CountV  : integer;
    s,s1,s2        : string;
    i,j,k,l,Code   : integer;
    CountM1,CountM2,CountF : integer;
    Oper,Lines     : integer;
    StartStep      : integer;
    StartStep1     : integer;
    w1,w2,w3,w4    : word;
    { Массив требующий распечатки }
    MasPrint       :array[1..CountMas] of integer;

Begin
{Инициализация}
    StartStep1 :=0;
    CountP:=0;
    CountV:=0;

```

* Автор вносить подяку Вовку М.О. за програмну реалізацію алгоритму моделювання, наведеного в дисертації

```
j:=0;
CountM1:=0;
CountM2:=0;
CountF :=0;
Oper   :=0;
LineS  :=0;
For i:=1 to CountMas do begin
    F[i] := 0;
    F_[i]:= 0;
    O[i] := 0;
    MasPrint[i] := 0;
    For j:=1 to 4 do begin
        m1[i,j] := 0;
        M2[i,j] := 0;
    end;
end;
Writeln(About);

if ParamCount = 0 then
begin
    Writeln('Формат командной строки: setpet <имя
файла>');
    Halt(1);
end;
FName1 := ParamStr(1);

{Чтение программы}
assign(f1,FName1);
{$I-}
```

```

    reset (F1);
    {$I+}
    if IOresult<>0 then begin
        Writeln('Не верное имя файла имя
файла', FName1);
        Halt(2);
    end;

    While Not EOF(f1) do
    begin
        inc(LineS);
        readln(f1,s);
        If Pos('POSITION',s)<>0 then begin Oper := 1; con-
tinue; end;
        If Pos('ENTER',s)<>0 then begin Oper := 2; continue;
end;
        If Pos('MET',s)<>0 then begin Oper := 3; continue;
end;
        If Pos('PRINT',s)<>0 then begin Oper := 4; continue;
end;

    s1:=s+' ';
    case Oper of
        1:begin
            inc(CountM1);
            For i:=1 to 3 do
                begin
                    s2:=copy(s1,1,pos(' ',s1)-1);
                    Val(s2,M1[CountM1,i],Code);
                    if Code<>0 then

```

```

begin
    Writeln('Не верный формат файла
в строке:',LineS,' ',s);
    Halt(3);
end;
delete(s1,1,pos(' ',s1));
end;
end;{1}
2:begin
inc(CountM2);
For i:=1 to 3 do
begin
s2:=copy(s1,1,pos(' ',s1)-1);
Val(s2,M2[CountM2,i],Code);
if Code<>0 then
begin
Writeln('Не верный формат файла
в строке:',LineS,' ',s);
Halt(3);
end;
delete(s1,1,pos(' ',s1));
end;
end;{2}
3:begin
inc(CountF);
Val(s,F[CountF],Code);
if Code<>0 then
begin
Writeln('Не верный формат файла

```

```

в строке:',LineS,' ',s);
                Halt(3);
            end
        end;{3}
4:begin
    inc(CountF);
    Val(s,k,Code);
    if Code<>0 then
        begin
            Writeln('Не верный формат файла
в строке:',LineS,' ',s);
                Halt(3);
            end;
            MasPrint[k]:=1;
        end;
    end;{case}
end;{while}
close(f1);
{Инициализация файла-результата}
FName2 := FName1;
if      Pos('.',FName2)<>0      then      de-
lete(FName2,Pos('.',FName2),length(FName2)-
Pos('.',FName2)+1);
FName2:=FName2+'.res';
Writeln('Результат - в файле: ',FName2);
assign(f2,FName2);
{$i-}
    rewrite(F2);
{$I+}

```

```

if IOresult<>0 then begin
    Writeln('Не удается открыть файл
результата:', FName2);
    Halt(2);
end;

writeln(f2, about);
write(f2, 'Результаты моделирования файла: ', FName1, '
// ');
GetDate(w1, w2, w3, w4);
write(f2, w3:2, ':', w2:2, ':', w1:4, ' / ');
GetTime(w1, w2, w3, w4);
writeln(f2, w1:2, ':', w2:2, ':', w3:2);

writeln(f2);
{Определение числа вершин и переходов}
For i:=1 to CountM1 do
    begin
        if CountV<M1[i,1] then CountV:=M1[i,1];
        if CountP<M1[i,2] then CountP:=M1[i,2];
    end;
For i:=1 to CountM2 do
    begin
        if CountV<M2[i,2] then CountV:=M2[i,2];
        if CountP<M2[i,1] then CountP:=M2[i,1];
    end;
{Начальная сортировка}
For i:=1 to CountM1-1 do for j:=1 to CountM1-i do
    begin
        if M1[j,2] <= M1[j+1,2] then continue;

```

```

M1[CountM1+1] := M1[j];
M1[j] := M1[j+1];
M1[j+1] := M1[CountM1+1];
end;
{Моделирование}
Write('Введите      число      шагов      моделирования:');
Readln(StartStep);
If StartStep <= 0 then
    begin
        Writeln('Процесс остановлен - не-
корректное число шагов. ');
        Halt(5);
    end;
{Запись исходного состояния}
Writeln(f2, 'Выводимые вершины');
for i:=1 to CountV do
    If MasPrint[i]>0 then Write(f2, ' ', i:4);
Writeln(f2);
Writeln(f2, 'Шаг N', StartStep1);
For i:=1 to CountV do  If MasPrint[i]>0 then write(f2, '
', f[i]:4);
writeln(f2);

repeat
    for i:=1 to CountMas do F_[i] := 0;
    {Определение открытых переходов}
    StartStep1 := StartStep1 + 1;
    for i:=1 to CountP do O[i]:=0;
    k:=1;l:=1;

```

```

for i:=1 to CountM1 do
  begin
    if k<>m1[i,2] then
      begin
        if O[k] = 0 then
          For j:=1 to i-1 do
            if M1[j,3]>0 then F[M1[j,1]] :=
F[M1[j,1]] - M1[j,3];
            l:=i;
            inc(k);
          end;
        if (F[M1[i,1]] < M1[i,3]) then O[k] := 2;
        if ( F[M1[i,1]] >= - M1[i,3] ) and ( M1[i,3] < 0 )
then O[k] := 2;
        IF (I = CountM1) and (O[k] = 0) then
          For j:=1 to i do
            if M1[j,3]>0 then F[M1[j,1]] := F[M1[j,1]]
- M1[j,3];
          end;
        {Срабатывание переходов}
        For i:=1 to CountM2 do if O[M2[i,1]]=0 then
F[M2[i,2]]:=F[M2[i,2]]+M2[i,3];
        {Срабатывание конвейерных переходов}
        For i:=1 to CountM2 do
          if (O[M2[i,1]]=0) and (M2[i,3]=0) then
            for j:=1 to CountM1 do
              if (M1[j,2] = M2[i,1]) then
                begin if (M2[i,3]=0) then
F_[M2[i,2]]:=F_[M2[i,2]]+F[M1[j,1]];

```

```
        F[M1[j,1]] := 0;
    end;
For i:=1 to CountF do  F[i] := F[i] + F_[i];
{Запись результата шага моделирования}
Writeln(f2,'Шаг N',StartStep1);
For i:=1 to CountV do if MasPrint[i]>0 then write(f2,'
',f[i]:4);
writeln(f2);
dec(StartStep);
until StartStep = 0;
close(f2);
End.
```

Додаток Б
Акт впровадження



МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ

65023, м. Одеса, вул. Пантелеймонівська, 19

Тел.: (0482) 27-42-50

Факс: (0482) 22-52-16

« 18 » 11 2002 р.

№ 722 / Нтех

Затверджую

головний інженер

Одеської залізниці

Бойко Г.А.

« 18 » листопада 2002 р.



АКТ

використання результатів дисертаційної роботи

Цей акт складено у тому, що розроблена у дисертації Луханіна М.І. "Моделювання залізничних транспортних коридорів на базі поширених мереж Петрі" нова технологія описання технологічних процесів використана в інформаційно-довідковій підсистемі на Одеській залізниці.

Важливою особливістю розробленої технології моделювання є описання необхідних даних у вигляді простих списків, що скорочує час моделювання і зменшує необхідний обсяг пам'яті.

Запропонована автором методологія дає змогу відображати процес перевезень на залізниці у динаміці, що має важливе значення для оперативного управління процесом перевезень, а також дає змогу планувати та прогнозувати перевезення.

**Начальник технічної
служби залізниці**

М.І.Гриньов

028273

Додаток В

Акт впровадження



Затверджую:

Перший заступник начальника ДГТО
"Південно-західна залізниця"

 Г.В. Крицький
20 грудня 2002 року.

АКТ

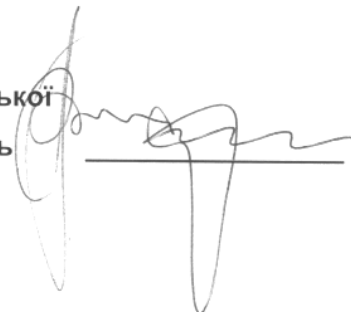
про впровадження результатів дисертаційної роботи Луханіна М.І.

Цим актом підтверджується, що протягом 2002 р. галузевою службою перевезень Південно-західної залізниці були використані при проведенні робіт з удосконалення вантажних перевезень (згідно з програмою реструктуризації на залізничному транспорті України, а також Директивою Ради Європейського співтовариства 91/440/ЕСС) такі результати дисертаційної роботи здобувача Української державної академії залізничного транспорту (м.Харків) Луханіна М.І.:

1. Технологічна мова описання вантажних перевезень, що побудована на основі графічного апарату мереж Петрі при створенні динамічної моделі підсистеми контролю і прогнозування перевезень на Південно-західній залізниці.
2. Методика опису транспортних коридорів з урахуванням динаміки процесу перевезень вантажів і технологічної інформації, що супроводжує процес перевезень.
3. Моделююча програма Winpet, яка займає незначний обсяг пам'яті та не потребує участі у процесі моделювання програмістів (в моделюванні беруть участь тільки технологи з процесу перевезень).

Використання перерахованих результатів дає змогу при моделюванні аналізувати процеси перевезень, враховувати їх технічні характеристики (потреби у поїздах та вагонах, витрати енергоресурсів та ін.) і в результаті виконувати прогнозування перевезень, що дуже важливо в умовах функціонування залізничних транспортних коридорів.

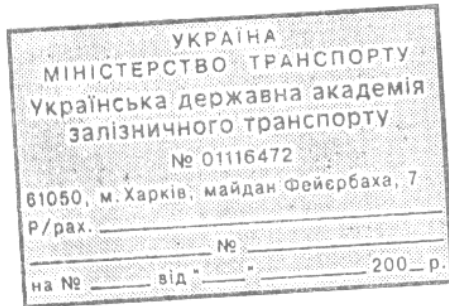
Заступник начальника
залізниці – начальник Козятинської
дирекції залізничних перевезень


В.О. Жураківський

Додаток Г

Акт впровадження

ЗАТВЕРДЖУЮ:



ректор УкрДАЗТ

д.т.н., професор

Соболев Ю.В.

"17" 01 2003р.

А К Т

про впровадження результатів дисертації

Луханіна Миколи Івановича

у навчальному процесі УкрДАЗТ

Основні результати дисертації Луханіна М.І., а саме:

- технологія моделювання процесу перевезень на залізницях на основі графового опису мереж Петрі;
- нова технологічна мова моделювання на основі поширених мереж Петрі;

• програма Winpet, яка обробляє інформацію, що необхідна для проведення моделювання і яка задається у вигляді компактних списків

використовуються в навчальному процесі і викладанні навчальних дисциплін "Теорія систем управління", "Моделювання технологічних процесів", в курсовому та дипломному проектуванні на спеціальностях 7.09.25.07 "Автоматика та автоматизація на транспорті", 7.100403 "Організація перевезень і управління на залізничному транспорті".

Проректор з навчальної
роботи, к.е.н., доцент

І.М.Писаревський