


**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
Інститут транспорту і логістики
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**


галузь знань 27 – Транспорт
спеціальності 273 – Інтєроперабельність і безпека на залізничному транспорті

на тему: «Підвищення пропускної здатності залізничного полігону шляхом функціональної оцінки схем станцій»

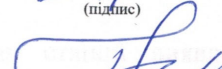
Виконав: студент групи ІБЗТ-19зм
Білоус Р.М.


.....
(підпис)

Керівник: проф. Роговий А.С.


.....
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.


.....
(підпис)

Рецензент: *Загнойко Є.В.*

.....
(підпис)

Севєродонецьк – 2021

ВСТУП

Перевезення вантажів – основна функція транспорту, що полягає в переміщенні вантажів, необхідному для продовження й завершення процесу виробництва продукції промисловості й сільського господарства в сфері обігу, а також задоволення особистих потреб населення. На Укрзалізниці перевезення вантажів здійснюються відповідно до правил, які затверджуються Укрзалізницею й публікуються в Збірниках правил перевезень і тарифів залізничного транспорту.

Сьогодні вже недостатньо розробити план формування й графік руху поїздів, технологічні процеси роботи станцій і відділень. Реальна експлуатаційна обстановка часто істотно відрізняється від нормативних умов, а виникаючі при цьому труднощі нерідко збільшуються не оптимально ухваленими рішеннями. Очевидно, що перераховані технологічні документи самі по собі не гарантують реалізації своїх можливостей. З одного боку, повинна бути створена оперативна система адаптації їх до експлуатаційної обстановки, а з іншого боку – для одержання високих кількісних показників необхідно створювати оптимальні умови роботи. Кардинальне підвищення ефективності роботи залізничного транспорту пов'язане з розробкою й впровадженням принципово нової інтенсивної технології на основі достовірного прогнозу майбутньої роботи, науково-обґрунтованих рішень, форсованих методів взаємодії плану формування й графіка руху поїздів з реальним перевізним процесом. Все це, в остаточному підсумку спрямовано на створення оптимальних умов експлуатаційної роботи, які забезпечать досягнення максимальних розмірів поїзної й вантажної роботи.

Показники навантаження, вивантаження, вантажообігу й інші кількісні показники роботи залізниць, що стрімко падали з 1991-го до 1998 року через відомі соціально-економічні проблеми держави, у 1999-2007 роках стабілізувалися, а згодом почалося й їх помірковане зростання. Високе завантаження багатьох ліній в умовах коливань обсягів перевезень,

викликаних нерівномірністю відвантаження багатьох видів продукції, збиральним жнивими й підготовкою до них, організацією запасів палива, «піком» пасажирських перевезень, ремонтно-будівельними роботами, снігопадами й заметілями й т.д., привела до того, що традиційні технологічні методи часто не забезпечують стійкість перевізного процесу. Виникаючі утруднення в експлуатаційній роботі викликають непоправні втрати навантажувальних ресурсів, пропускну здатності ділянок і станцій, погіршення використання вагонів і локомотивів, збільшення різниці між тарифними й експлуатаційними тонно-кілометровими роботами. Тому розробка інтенсивних технологій – це веління часу.

Актуальність теми

Сьогодні, як і вже багато років, залізниці – це привабливий спосіб транспортування з широким спектром застосування. Вони використовуються для забезпечення високої пропускну здатності місцевих перевезень пасажирів у великих містах, перевезення великої кількості вантажів від постачальника до споживача або портів, і для з'єднання міст зі зручною високою швидкістю послуги, що пропонує короткий час проїзду з центру одного міста в центр іншого міста. Згадані лише деякі, основні переваги залізничного транспорту. Насправді, їх значно більше. Загалом, залізничний транспорт є енергоефективним та може використати відновлювальні джерела енергії, крім того його привабливість має продовжувати зростати, що пов'язане зі збільшенням забруднення повітря та зміною клімату.

Попит на залізничні перевезення неухильно зростає у всьому світі. Зростання попиту збільшує інтенсивність дорожнього руху та приводить до перевантаження залізничних ліній. Багато залізничних ліній вже використовуються близько до їх максимальної потужності та, для задоволення нового попиту, необхідно вжити нагальних заходів. Такі заходи включають будівництво нової залізничної інфраструктури, модернізацію існуючої інфраструктури або способи більш ефективного використання існуючої інфраструктури. Створення нової залізничної інфраструктури є

коштовним, і тому важливо, щоб ці дії відбувалися в потрібний час. Це, у свою чергу, вимагає розуміння того, як залізнична система працює і реагує на посилення використання пропускної здатності.

Аналіз та опис пропускної здатності залізничної лінії – це багатовимірне завдання. Воно включає в себе кілька комплексів систем. Наприклад, залізничну інфраструктуру, рухомий склад, графік руху і поведінку людини. Деякі з чинників, що впливають на пропускну здатність це: кількість колій на залізничних станціях та на перегонах, система сигналізації, характеристики поїздів, різна швидкість руху поїздів, ринкові умови та попит на залізничні перевезення, надійність доставки пасажирів та його затримки на залізниці. Внаслідок складності, пропускну здатність залізниці, може бути визначена багатьма способами. Бартер та Нок дають доволі гарне загальне визначення пропускної здатності залізниць, що включає найважливіші аспекти: пропускну здатність залізниці – це кількість поїздів, які можуть бути включені до розкладу, є комерційно привабливими, та відповідають нормативним вимогам і можуть експлуатуватися в умовах передбачуваних рівнів первинних затримок, дотримуючись узгоджених показників цілі.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розв'язанні наступних задач:

1. Виявлено, що поряд з факторами, що негативно діють на виконання графіка руху, є й позитивні, насамперед резерв потужності локомотивів при проходженні з неповновагими поїздами. Фактично середня вага поїздів на 10-15% менше норми, що дозволяє їм йти з більшою швидкістю, чим передбачено графіком.

2. Зміна порядку пропуску поїздів на одноколійних ділянках дозволяє скоротити число схрещень поїздів і тривалість їх стоянки на станціях у порівнянні з максимальним графіком. Вирішального значення для скорочення затримок поїздів має оптимізація регулювання завантаженням ділянок і станцій.

3. За результатами функціональної оцінки схеми станції виявлено, що побудова шляхопроводу призводить до збільшення пропускної здатності на 20 потягів, і збільшення пропускної здатності зі станції 11 до станції 12 з 9 потягів до 19, тобто на десять потягів. Зменшення показника μ_s для схеми II призводить до зменшення витрат на обслуговування і експлуатацію постійних пристроїв розв'язки.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено блок-схему алгоритму розрахунку шляху найменшої довжини, та складено програму розрахунку. Проаналізувавши результати розрахунку за алгоритмом Дейкстри можна зробити висновок, що є чотири маршрути, причому шляхом найменшої довжини є шлях $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (7) \Rightarrow (8) \Rightarrow (13)$ із довжиною 331 км, але шляхом, що потребує найменших витрат є шлях $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (7) \Rightarrow (11) \Rightarrow (12) \Rightarrow (13)$, при якому витрати на перевезення складуть 33322 шв. фр., що на 1402 шв. фр. менше ніж при перевезенні шляхом найменшої довжини.

2. Величина максимального потоку дорівнює 27 потягів на добу. При чому маршрут, що має мінімальну собівартість перевезень, вичерпано до кінця через станцію 11, у якої максимальна пропускна здатність дорівнює 9 потягам на добу.

3. Якщо збільшити пропускну здатність станції 9, то можливе збільшення потоку за оптимальним маршрутом, що зменшить собівартість перевезень загалом у залізничному полігоні.

4. Оптимізація транспортного потоку залізничного полігону і побудова шляхопроводної розв'язки на станції 11 полігону (що дозволило збільшити пропускну здатність станції) призводить до економічного ефекту рівного 182,32 тис. грн. на рік.

1. АНАЛІЗ РУХУ ПОТОКІВ ПОЇЗДІВ

У місті *A* збільшується обсяг видобутку вугілля. Річний обсяг вугілля, що вивозять змінюється в діапазоні $Q_{\min} - Q_{\max}$. З міста *A* необхідно поставляти весь обсяг видобутку, що збільшується в пункт *Ц*.

Необхідно розробити проект оптимальної організації транспортних потоків перевезення вугілля залізничного полігона й доставки його в кінцевий пункт *Ц*.

1.1. Характеристика руху потоків поїздів і ділянок

Сучасні умови формування потоку поїздів. Високе завантаження багатьох ліній в умовах коливань обсягів перевезень привели до того, що традиційні технологічні методи часто не забезпечують стійкість перевізного процесу. Тому необхідно розробляти інтенсивні технології, які повинні передбачати роботу, як у нормальних умовах, так і при зниженні пропускної здатності через різні причини й періодичні зміни обсягу перевезень. Ефективним засобом вивчення, а потім практичної реалізації інтенсивних методів є моделювання перевізного процесу. Моделювання дозволяє виробити оптимальні умови роботи станцій, ділянок, напрямків, розгалужених полігонів, у яких реалізується максимальний обсяг перевезень і досягаються мінімальні експлуатаційні витрати. Це особливо актуально в умовах самофінансування підприємств залізничного транспорту.

Приведенню у відповідність потреб у перевезеннях із пропускними здатностями ліній може сприяти фактичне вв'язування плану перевезень вантажів із планом формування й графіком руху поїздів.

Залізничні лінії й рух потоків поїздів на них представляють складну композицію явищ, що змінюються як у часі, так й у просторі. За довжиною

ділянки змінюються елементи профілю й плану колії, всі характеристики руху поїздів. Це викликано випадковою комбінацією профілю колії, постійними змінами кліматичних умов, впливом людини на перевізний процес, стохастичним характером поїздоутворення, тобто елементами невизначеності факторів, що впливають на формування потоків поїздів (рис. 1.1). Під впливом цих факторів змінюються характеристики руху потоків поїздів: состав, швидкості руху, використання пропускної здатності ділянок й ін.

1.2. Параметри потоку поїздів.

Планування поїзної роботи, керування рухом поїздів, розвиток пропускної здатності залізничних ліній і вибір технічного оснащення пов'язані з вивченням характеру потоку поїздів. На основі дослідження руху поїздів і практики його організації вироблені численні вимірники, тому доцільно встановити єдиний комплекс характеристик. При розгляді показників руху поїздів варто виділити ті з них, які є основними. Із цією метою всі задачі, які виникають в організації руху, ділять на два класи:

1) задачі аналізу, пов'язані з визначенням обсягу перевізної роботи (розмірів руху поїздів) і показників використання рухомого складу залежно від технічного оснащення й способу організації руху поїздів;

2) задачі синтезу, що зводяться до вибору технічного оснащення й способу організації руху виходячи із заданого обсягу поїзної роботи.

Тимчасова нерівномірність інтенсивності руху поїздів може бути охарактеризована коефіцієнтом нерівномірності, що може бути визначений для будь-якого періоду часу (за рік, місяць, добу, годину).

Коливання інтенсивності руху вантажних поїздів протягом року (рис. 1.2.) багато в чому залежить від коливань обсягів перевезених вантажів на конкретних ділянках.

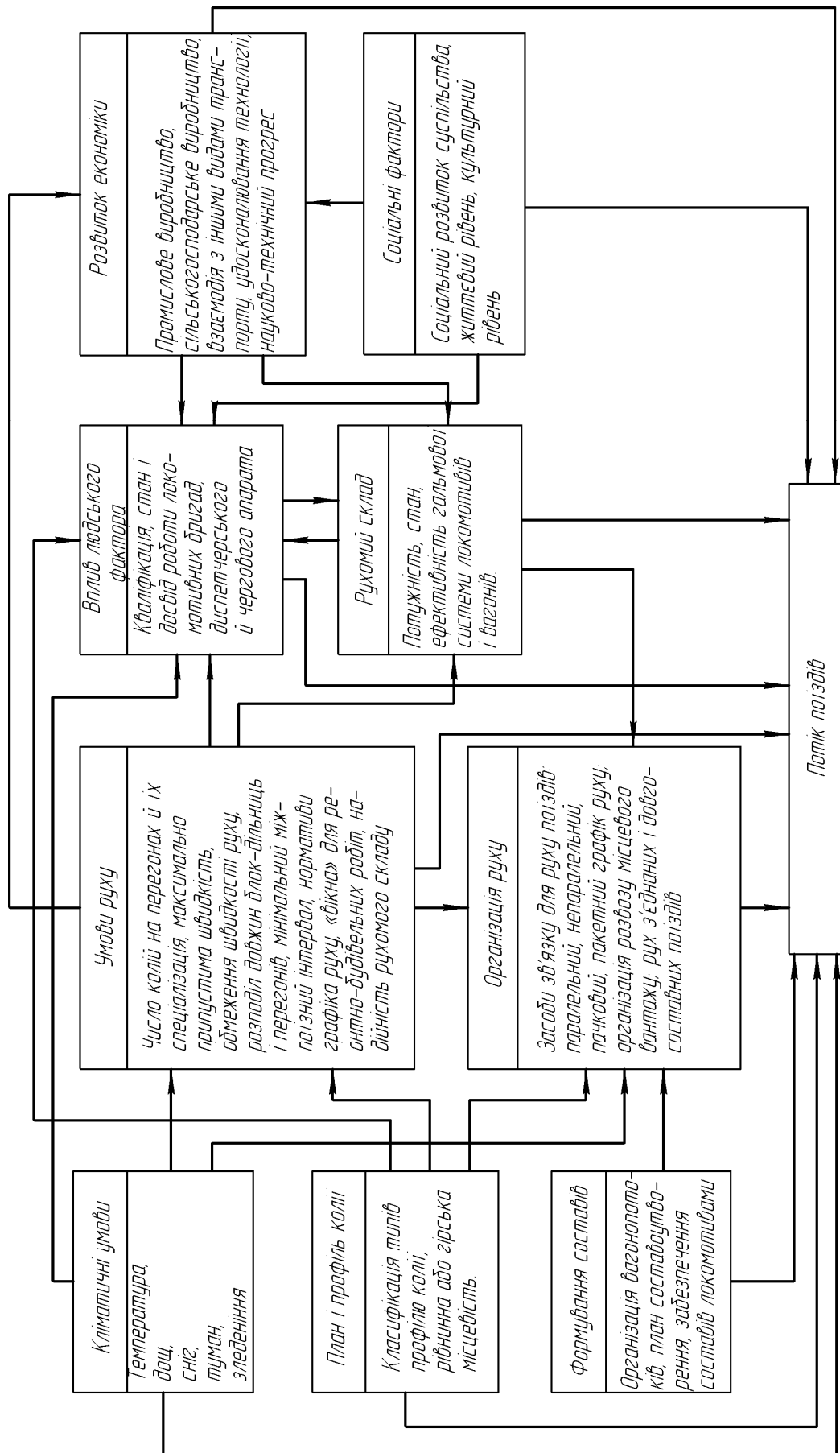


Рис. 1.1. Фактори, що впливають на формування потоків поїздів

Основні причини цих коливань – сезонність виробництва й споживання окремих видів продукції, зміна господарської діяльності, проведення посівних компаній, збір урожаю й т.д. Нерівномірність інтенсивності потоку поїздів для однієї з ділянок характеризується коефіцієнтом нерівномірності руху.

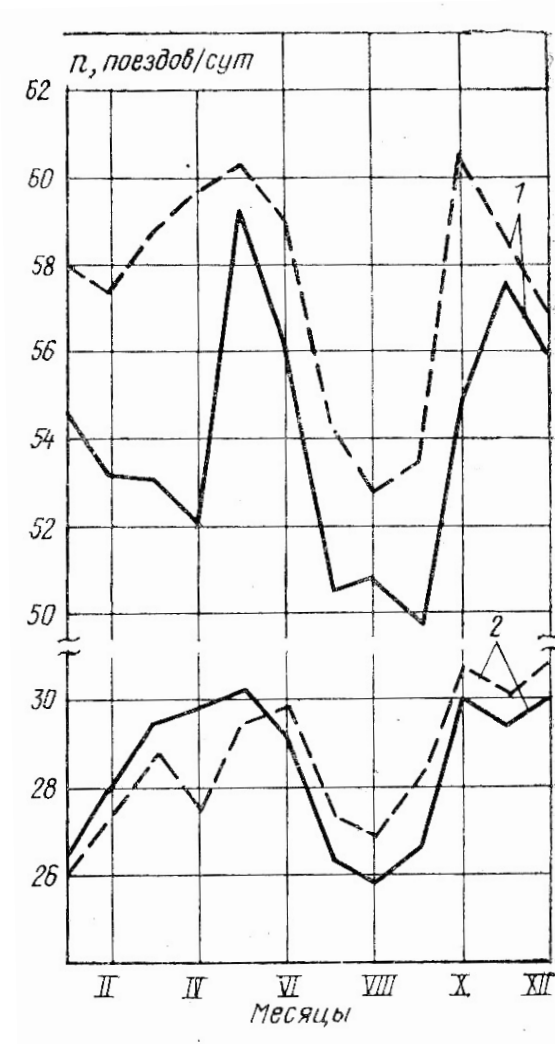


Рис. 1.2. Зміна інтенсивності потоку поїздів протягом року на двоколійному (1) і одноколійному (2) ділянках (- парний напрямок; - - - непарний напрямок)

Для опису властивостей потоку поїздів доцільно користуватися законами розподілу: поїздів по категоріях (структура поїздопотоку); просторовими й тимчасовими інтервалами між поїздами, швидкостями руху. Закон розподілу інтервалів між поїздами містить інформацію про

інтенсивність руху, чисельно рівній зворотній величині середнього міжпоїзного інтервалу. На основі закону розподілу міжпоїзних інтервалів можна знайти закон розподілу інтенсивності руху. Для цього можуть бути використані загальні методи перетворення випадкових величин.

Поряд з факторами, що негативно діють на виконання графіка руху, є й позитивні, насамперед резерв потужності локомотивів при проходженні з неповновагими поїздами. Фактично середня вага поїздів на 10-15% менше норми, що дозволяє їм йти з більшою швидкістю, чим передбачено графіком. Але, як показує аналіз швидкостемірних стрічок, через відсутність взаємодії диспетчерського апарата з локомотивними бригадами можливість ця не реалізується. Іншими можливостями зменшення впливу затримок на виконання графіка руху є скорочення часу простою составів на станціях технічного обслуговування (у деяких поїздах потреба в ремонті може взагалі бути відсутньою) і використання вільних «ниток» графіка для прискорення пропуску поїздів. Зміна порядку пропуску поїздів на одноколійних ділянках дозволяє скоротити число схрещень поїздів і тривалість їхньої стоянки на станціях у порівнянні з максимальним графіком. Вирішального значення для скорочення затримок поїздів має оптимізація регулювання завантаженням ділянок і станцій.

1.3. Залізничний полігон, що розглядається в проекті

Залізничний полігон, що розглядається в проекті, являє собою ділянку Донецької залізниці в рамках Луганської дирекції від станції Баронська до станції Дегтево. Станція Дегтево (станція Ц) є кінцевим пунктом доставки вугілля. Схема розглянутого полігона представлена на рис. 1.3.

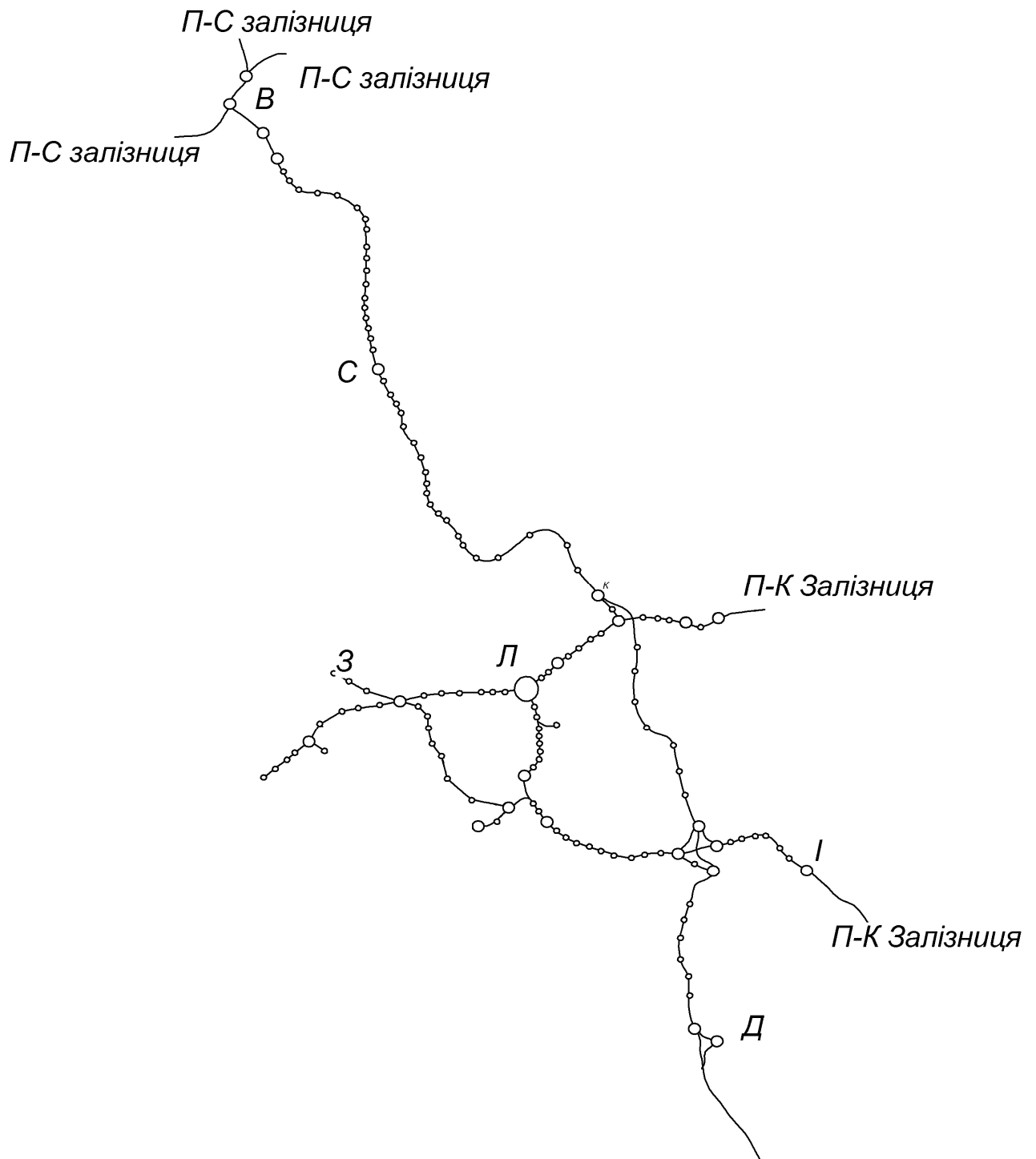


Рис. 1.3. Схема залізничного полігона

Донецька залізниця пролягає по території південно-східної частини України, по Донецькій, Луганській, частково Дніпропетровській, Запорізькій і Харківській областях. Керування дороги знаходиться в Донецьку. До складу дороги входять п'ять Дирекцій по залізничних перевезеннях: Ясинуватська, Краснолиманська, Попаснянська, Луганська, Дебальцевська. Дорога

граничить із рядом залізних доріг України: Південною (по ст. Сватово, Букино, Лозова, Старобільськ); Придніпровською (ст. Чаплино, Очерет-Зоря); Росії (ст. Квашено, Червона Могила, Ізварино, Вільхова, Лантратовка) [6, 7].

Експлуатаційна довжина дороги (01.01.2000) 2927,6 км (13 % загальної довжини залізничної мережі України). Дорога зв'язує єдиний транспортний конвеєр Донбас із Придніпров'ям, центральні райони Російської Федерації й України з Поволж'ям і Кавказом. На півдні Донецька залізниця має вихід до Азовського моря через Маріупольський торговельний порт. На частку перевезень по дорозі доводиться 47% навантаження й 36% вивантаження від загального обсягу вантажної роботи залізниць України. У межах дороги розташовані 100 вуглевантажних станцій і найбільші на Україні сортувальні станції, на яких формуються вугільні маршрути й інші поїзди: Ясинувата, Дебальцеве, Красноармійськ, Попасна, Червоний Лиман, Волноваха.

Залізниця в Донбасі є основним видом транспорту, по густоті мережі не має собі рівних у світі. Дорога обслуговує більше 3000 підприємств (у Донецькій і Луганській областях – 94%, інші – у Харківській, Дніпропетровській, Запорізькій областях), у т.ч. вугільні шахти, металургійні, коксохімічні й трубні, машинобудівні й верстатобудівні заводи, збагачувальні фабрики, заводи гірського встаткування, металоконструкцій і металовиробів, сотні підприємств хімічної, легкої, харчової й іншої галузей промисловості, підприємств по видобутку й виробництву будівельних матеріалів, хімічних і мінеральних добрив, ряд сільськогосподарських підприємств. По відправленню кам'яного вугілля дорога займає 1-е місце на Україні. Підприємства, що примикають до дороги, мають розвинену мережу під'їзних колій (св. 7,5 тис. км), довжина яких в 2,6 рази перевищує експлуатаційну довжину дороги. Наприкінці 1980-х років на них здійснювалося понад 94 % вантажної роботи. Поряд з розвитком залізничних колій і станцій на дорозі проводиться велика робота з використання

високопродуктивних методів навантаження, ущільненого розміщення вантажів й ін.

На дорозі в 1988 р. введено диспетчерське керування з Дорожнім центром у Донецьку й районними керування, що поєднують станції Ясинуватського й Маріупольського відділення дороги; з 1991 року на станціях Іловайського й Краснолиманського відділення дороги, з 2000 року – Луганського й Попаснянського. У районах керування працює автоматизована система оперативного керування перевезеннями (АСОКП). Керування рухом поїздів забезпечує система контролю диспетчерського керування, що діє на основі автоматичного одержання інформації із застосуванням ЕОМ, що дозволяє здійснювати об'єктивний контроль за поїзною ситуацією на керованій ділянці.

У найстаршому на мережі залізниць локомотивному депо Червоний Лиман впроваджені великоагрегатний метод періодичного ремонту, створені комплекси по «оздоровленню» вузлів й агрегатів локомотивів на потокових лініях і механізованих позиціях (механізоване до 96% робіт); здійснюється заводський ремонт електровозів за прогресивною технологією. Вагонне депо Красноармійськ – одне з перших на мережі високомеханізованих підприємств із поточковим методом ремонту піввагонів. На дорозі розроблена вагоноремонтна машина «Донбас», успішно застосовувана на пунктах підготовки вагонів до навантаження на інших залізницях. Вагоноколісні майстерні в Дебальцеві ремонтують колісні пари для всієї дороги. В 1988 р. на базі вагонного депо Маріуполь організований ремонт пасажирських вагонів. На станціях Червоний Лиман, Ясинувата, Дебальцеве, Волноваха впроваджені автоматизовані системи керування роботою сортувальних станцій (АСКСС).

У дорожніх майстернях на станції Ступки щодоби випускають до 240 м² фігурної плитки й бордюрів для мощення перонів і платформ станцій. Відремонтовано 200 вокзалів, перони, посадочні платформи.

На станціях Маріуполь-Порт і Дружковка повністю оновлено колійне господарство й всі напольні пристрої засобів сигналізації й зв'язку.

У груд. 1999 р. закінчена електрифікація одного із ключових для магістралі напрямків Щетово – Красна Могила загальною розгорнутою довжиною 137 км, що допомогло вирішити проблему дефіциту палива, дало можливість збільшити вантажопотоки. На дорозі в майстернях Дебальцеве виготовляють колійні машини, у т.ч. щебенеочисні, колійний грейферний навантажувач на базі 4-осної платформи, дрезину ГД-5, платформу для перевезення стрілочних переводів на залізобетонних брусах й ін. Краснолиманські дорожні електромеханічні майстерні випускають різну залізничну продукцію: начіпні бурові машини до дрезин АДМ, механізовані платформи для навантаження й розвантаження рейок, бурові машини БМ-700, пускозарядочні й зварювальні апарати, автомати освітлення й комплекти апаратів люмінесцентного освітлення купейних вагонів.

На станціях Ясинувата, Артемівськ, Єнакієве й Критична впроваджені цифрові АТС нового покоління Ф-1500, що займають меншу площу, що мають більш низьке енергоспоживання. В 1999-2000 р. на дорозі здійснений капітальний ремонт 4 составів за сучасною технологією: у вагонах установлені холодильники, вмонтовані електропечі для готування їжі, купе вагонів СВ обладнані відеомагнітофонами, телефонами стільникового зв'язку. Відкрито сервісні центри в Донецьку, Ясинуватій і Луганську, де продаються квитки в прямому сполученні й на зворотний виїзд, можна замовити квиток на літак або на поїзд від будь-якої станції України й СНД, можна забронювати місця в кімнатах відпочинку, оголосити по радіо, скористатися телефоном, факсом, ксероксом.

2. ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПОЛІГОНІВ

2.1. Графік руху поїздів і пропускна здатність залізниць

Графік руху й вимоги до нього. Графік руху поїздів є основою організації всієї перевізної роботи на залізничному транспорті. Він обов'язковий для всіх підрозділів залізниць: станцій, локомотивних депо, пунктів технічного обслуговування й ремонту вагонів, тягових підстанцій, дистанцій колії, сигналізації й зв'язку й т.д. Графік організує роботу всіх підрозділів у єдине ціле. На його основі узгоджується діяльність залізниць із підприємствами-відправниками вантажу й вантажоодержувачами, визначаються показники використання вагонів і локомотивів, здійснюється своєчасне й безпечне перевезення пасажирів. Дотримання графіка руху поїздів і попередження його порушень є головною умовою для всіх працівників, пов'язаних з організацією руху.

До графіка руху поїздів пред'являються наступні вимоги:

- забезпечення виконання плану перевезень вантажів і пасажирів прокладкою на кожній ділянці певного числа пасажирських і вантажних поїздів;
- забезпечення безпеки руху поїздів дотриманням перегінних часів ходу поїздів, станційних і міжпоїзних інтервалів, норм стоянок поїздів для технічних і комерційних операцій, установлених вимог при прийманні й відправленні поїздів і виробництві маневрової роботи й т.д.;
- найбільш ефективне використання пропускної й провізної спроможності ділянок і перероблювальної спроможності станцій, що досягається раціональною прокладкою поїздів на графіку, правильним чергуванням підведення до станцій транзитних і розбірних поїздів;
- високопродуктивне використання рухомого складу за допомогою чіткого узгодження графіків руху поїздів й обороту локомотивів на суміжних

ділянках, на міжшляхових і прикордонних стиках і застосування прогресивних методів експлуатації;

- дотримання встановленої тривалості роботи локомотивних і поїзних бригад організацією на напрямку пунктів підміни бригад;
- надання можливості виконання робіт з поточного утримання колії, споруджень, пристроїв електропостачання, СЦБ і зв'язку виділенням у графіку технологічних «вікон» тривалістю 60-120 хв.

Графік руху поїздів складається на рік з коректуванням на зимовий період і вводиться одночасно на всій мережі залізниць. На підставі графіка складається розклад руху поїздів із вказівкою часу прибуття й відправлення їх зі станцій.

2.2. Елементи графіка

До основних елементів графіка належать:

- перегінні часи ходу поїздів;
- станційні й міжпоїзні інтервали;
- норми стоянок поїздів на станціях;
- норми часу перебування локомотивів на станціях основного депо й у пунктах обороту.

При розробці графіка необхідно мати дані:

- про гарантійні вагонні плечі;
- про розміщення ділянок обслуговування поїздів локомотивами й роботи локомотивних бригад;
- про намічувані «вікна» на ділянках і станціях.

Перегінні часи ходу між осями роздільних пунктів або осями приймально-відправних парків, якщо вони не збігаються з віссю станції, розраховуються для кожної категорії поїздів.

На величину перегінного часу ходу впливають такі фактори, як довжина перегону, план і профіль колії, потужність локомотива, установлена

швидкість руху, маса й довжина поїзда, потужність і стан колії, пристроїв енергопостачання й т.д.

Часи ходу визначаються за допомогою тягових розрахунків окремо по парному й непарному напрямках як при русі поїздів без зупинок на роздільних пунктах (чистий час ходу), так і при проходженні із зупинками. Різниця цих часів ходу становить час на розгони й уповільнення поїзда.

Практично цей час становить на розгін t_p при тепловозах 2 хв, при електровозах 0,5...1 хв, на уповільнення – при тепловозах 1 хв, електровозах 0,4...1 хв.

Для остаточного встановлення норм перегінних часів ходу організують дослідні поїздки з вантажним вагоном з метою визначення оптимального режиму ведення поїзда.

Станційні й міжпоїзні інтервали відносяться до найважливіших елементів, що визначають умови безпеки проходження поїздів по перегонах і через роздільні пункти. Станційні інтервали розраховуються для кожного роздільного пункту по стрілочних горловинах і перегонам, що примикають, у строгій відповідності із ТРА й технологічним процесом роботи станції.

Норми стоянок поїздів установлюються залежно від технології роботи станцій. Вони визначаються розрахунками або на основі хронометражних спостережень із дотриманням нормативів, викладених у типових технологічних процесах. Стоянки, викликані схрещеннями й обгонами поїздів, до елементів графіка не ставляться, тому що вони залежать від умов прокладки ниток поїздів при складанні графіка. Заздалегідь нормувати їх неможливо.

Норми часу перебування локомотивів у пунктах обороту й на станціях основного депо залежать від тривалості виконання технічних операцій з локомотивами на коліях станції й території депо, а також від часу приймання й здачі локомотивів бригадами й проходу локомотива від поїзда до пункту обслуговування й назад.

Зразкові норми на технічне обслуговування локомотивів у пунктах обороту можуть бути прийняті:

- для тепловозів(вантажних) - 1,2 год.;
- для електровозів (вантажних) - 1,5 год.

Для локомотивів, що йдуть без відчеплення від составів, норма простою визначається нормою стоянки на обробку состава поїзда.

2.3. Період графіка. Найважчий й обмежуючий перегони

Пропускною здатністю залізничної лінії називається максимальне число поїздів або пара поїздів установленої маси й довжини, що може бути пропущена по даній лінії в одиницю часу (доба, година) при наявній технічній оснащеності, прийнятому типу графіка й заданому числі пасажирських поїздів.

Пропускна здатність ліній, спеціалізованих для пасажирського руху, розраховується в пасажирських поїздах у добу, на приміських ділянках – у поїздах в 1 годину.

Провізною спроможністю лінії називається максимальний обсяг перевезень, що може бути освоєний при даній пропускній здатності, наявному числі локомотивів, вагонів, забезпеченості електроенергією, паливом, кадрами й іншими ресурсами.

Для перевірки відповідності пропускної й провізної спроможностей необхідно для розмірів руху, що визначають пропускну здатність, розрахувати потрібні вагонний і локомотивний парки, число локомотивних бригад і т.д.

Розрізняють поняття наявної, проектної й потрібної пропускної здатності.

Наявна – це пропускна здатність, що може бути реалізована при існуючій технічній оснащеності лінії.

Потрібною називається пропускна здатність, що повинна бути забезпечена при заданих розмірах пасажирського й вантажного руху з резервом, певним на напрямку.

Проектна – це та пропускна здатність, що може бути досягнута при здійсненні реконструктивних заходів для умов технічної оснащеності.

Пропускна здатність лінії визначається по її елементах: перегонам, станціям, пристроям електропостачання, засобам зв'язку по русі поїздів, пристроям локомотивного й вагонного господарства й т.д.

Оскільки зазначені технічні пристрої працюють у єдиному комплексі, необхідно розрахувати пропускну здатність кожного з них. Результативною пропускну здатністю для всієї лінії буде та, котра виявиться найменшою.

Диспропорції в пропускній здатності елементів бути не повинні. При виявленні обмежуючого елемента вирішується питання посилення його за рахунок технічного переоснащення або проведення організаційних мір (зміна типу графіка, впровадження передових приймань праці й т.д.).

Пропускну здатність по основних елементах зображують у вигляді діаграми, на якій по горизонталі відображають елементи (перегони, станції, депо, пристрою електропостачання), по вертикалі – пропускну здатність кожного з них.

Діаграма пропускну здатності розробляється для розрахунку числа поїздів, що може бути пропущене по напрямку, і для виявлення «вузьких» місць у пропускній здатності.

Добову наявну пропускну здатність визначають із урахуванням технологічних перерв у русі для робіт з поточного утримання й ремонту технічних засобів і коефіцієнта їхньої надійності.

Для забезпечення усталеної роботи на лінії при розрахунках обов'язково проектується резерв у розмірі 10-20 %.

Пропускну здатність визначають на всьому протязі ділянок з однаковим технічним оснащенням. Перегони ділянки можуть мати різну

пропускну здатність через схему прокладки, перегінних часів ходу поїздів, величин станційних і міжпоїзних інтервалів.

Для визначення пропускної здатності ділянки (лінії) по перегонах береться в розрахунок перегін з найменшою пропускною здатністю. Такий перегін називається обмежуючим. На ньому період графіка є максимальним [9-12].

Обмежуючий перегін, як правило, збігається із найважчим, на якому сума перегінних часів ходу в парному й непарному напрямках найбільша.

2.4. Пропускна здатність

Під пропускною здатністю звичайно розуміють максимальне число поїздів установленної ваги, що може бути пропущене через станцію протягом доби при найкращому використанні постійних пристроїв і прийнятої технології роботи. Фактичні можливості станції пропускати поїздопоток можуть виявитися або вище максимальної розрахункової величини, або нижче її, тому що порядок використання постійних пристроїв змінюється залежно від сформованих експлуатаційних умов. Організація руху поїздів, технологія роботи станції не може бути заздалегідь, на всі випадки життя, визначена як найвигідніша, найкраща. Багато чого залежить від професійної майстерності й досвіду станційного персоналу.

Відомо, що пропускна здатність станції залежить і від того, у якій послідовності використовуються станційні колії, як сполучається місцева станційна робота з поїзною. Найкращий результат виходить у тому випадку, якщо є можливість передбачати так називані конфліктні ситуації. Тоді можна планово, за прийнятим критерієм, вибрати оптимальну черговість пересувань. Відомо, що число поїздів установленної ваги не повністю характеризує складність структури пересувань по станції. Завантаження її елементів залежить від того, звідки й куди пропускаються поїзди, у якій послідовності займаються й звільняються елементи станції, у якій черговості

виробляються пересування. Для кожної станції, існує порядок роботи, при якому досягається найвища пропускна здатність усього комплексу пристроїв, але його практично не можна досить швидко відшукати перебором всіх можливих варіантів графіка й технології навіть із використанням ПК.

Поряд з максимальною варто розрізняти так названу ефективну пропускну здатність. Оскільки рух поїздів здійснюється організовано (за графіком), прокладка ниток графіка повинна вироблятися з деяким резервом, що забезпечує стабільність намічуваного графіка, що гарантує виконання встановлених якісних показників роботи ділянок і станцій. Із цього йде, що ефективна пропускна здатність (граничне середнє завантаження) завжди виявляється нижче граничного максимального завантаження. Їх можливе співвідношення пояснює рис. 2.1.

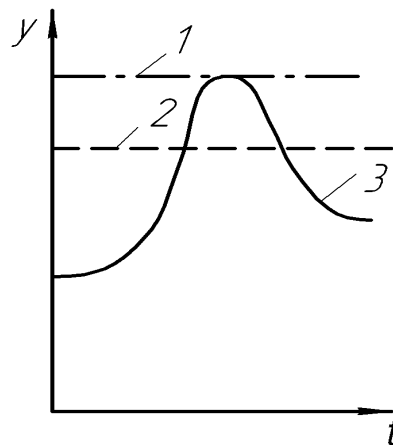


Рис. 2.1. Співвідношення максимальної і ефективної пропускних здатностей (1 – максимальна пропускна здатність, 2 – ефективна, 3 – зміна потоку)

Ефективна пропускна здатність – здатність станції як системи освоювати тривалий час поїздопотік заданої структури із заданими якісними показниками. Тому розрахунок пропускної здатності повинен супроводжуватися визначенням затримок рухомого складу при різних рівнях завантаження системи.

Виконання якісних показників роботи станції, а разом з тим і стабільного графіку не забезпечується, якщо фактичне завантаження постійних пристроїв перевищує ефективну пропускну здатність.

По своїй сутності пропускну здатність станції – величина багатоелементна, векторна. Кількість компонентів вектора пропускну здатності визначається структурою основних пересувань – поїзних (пасажирських і вантажних) і внутрішньостанційних.

Таке представлення пропускну здатності дозволяє оцінити й розмежувати якісно різні пересування, не вдаючись до допомоги умовних перевідних коефіцієнтів. Якщо, наприклад, для якоїсь станції структура пересувань (якість потоку) визначена вектором \bar{S}_o , то пропускну здатність її повинна виражатися вектором \bar{S}_n , що відображує структуру пересувань за час прийнятого розрахункового періоду.

У розрахунках пропускну здатності станцій аналітичний метод є найпоширенішим. Станція розбивається на елементи, що розраховують ізольовано. Пропускну здатність звичайно визначається в поїздах або парах поїздів однієї якої-небудь категорії. Інші пересування розглядаються як постійні операції, на виконання яких затрачається частина розрахункового періоду.

Один з різновидів аналітичного методу, що одержав найбільше поширення, полягає в безпосереднім діленні розрахункового періоду на тривалість однієї операції. Діючими вказівками рекомендується метод розрахунку за допомогою коефіцієнта завантаження елемента по формулах виду:

$$N_{\max} = \frac{(1 - \beta) N_{\phi}}{k - \beta}, \quad (2.1)$$

де N_{ϕ} – фактичне завантаження елемента в поїздах даної категорії; k – коефіцієнт завантаження елемента за часом всіма операціями; β – коефіцієнт завантаження елемента «постійними» операціями.

Основний недолік розрахунку за коефіцієнтом завантаження полягає в припущенні, що в міру вичерпання пропускної здатності елемента витрата часу на одну операцію не змінюється, або резерв із ростом N_{ϕ} знижується лінійно, це видно з рис. 2.2 (суцільна лінія). Дійсна картина зміни резерву показана штриховою лінією: чим більше фактичне завантаження, тим помітніше відхилення резерву від прямолінійного графіка. Результати розрахунку за коефіцієнтом завантаження виявляються завищеними на величину $\varepsilon = N'_{\max} - N''_{\max}$.

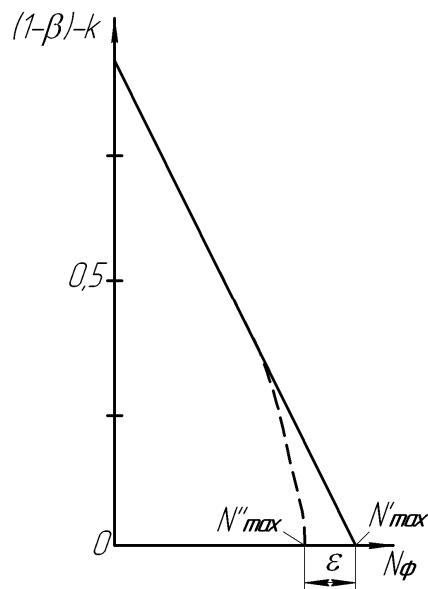


Рис. 2.2. Зміна резерву пропускної здатності зі збільшенням фактичного завантаження в моделі аналітичного розрахунку

Більш надійний результат забезпечує графічний метод, що широко застосовувався для розрахунку станцій ще в дореволюційний період. Він наочний і простий, але досить трудомісткий.

До початку 50-х років відноситься розробка так названого графоаналітичного методу, що сполучає користування номограмами та

емпіричними коефіцієнтами з підрахунком результуючих величин по аналітичних формулах.

Графічний розрахунок незмірно ближче до дійсності, чим розрахунок аналітичний. Він завжди дає цілочисельне рішення, погоджує роботу основних ланок станції, але найбільш точно дійсність може відобразити тільки диспетчерський графік.

2.5. Теоретичні положення з організації моделювання транспортних мереж

2.5.1. Задача пошуку найкоротшого шляху (найменшої довжини)

Задачу пошуку найкоротшого шляху між джерелом і стоком (початковий і кінцевий пункти мережі) можна вирішити за допомогою алгоритму Дейкстри. Алгоритм Дейкстри розроблений для знаходження найкоротшого шляху між заданим вихідним вузлом і будь-яким іншим вузлом мережі.

У процесі виконання цього алгоритму при переході від вузла i до наступного вузла j використовується спеціальна процедура позначки ребер. Позначимо через u_i найкоротшу відстань від вихідного вузла 1 до вузла i , через d_{ij} – довжину ребра (i, j) . Тоді для вузла j визначимо мітку $[u_j, i]$ в такий спосіб:

$$[u_j, i] = [u_i + d_{ij}, i], d_{ij} \geq 0$$

Мітки вузлів в алгоритмі Дейкстри можуть бути двох типів: **тимчасові** і **постійні**. Тимчасова мітка згодом може бути замінена на іншу тимчасову, якщо буде знайдений **більш короткий шлях** до даного вузла. Коли ж стане очевидним, що не існує більш короткого шляху від вихідного вузла до даного, статус тимчасової мітки змінюється на постійний.

Розрахункова схема алгоритму складається з наступних кроків.

Крок 0. Вихідному вузлу (вузол 1) привласнюється мітка $[0, -]$. Думаємо

$i = 1$.

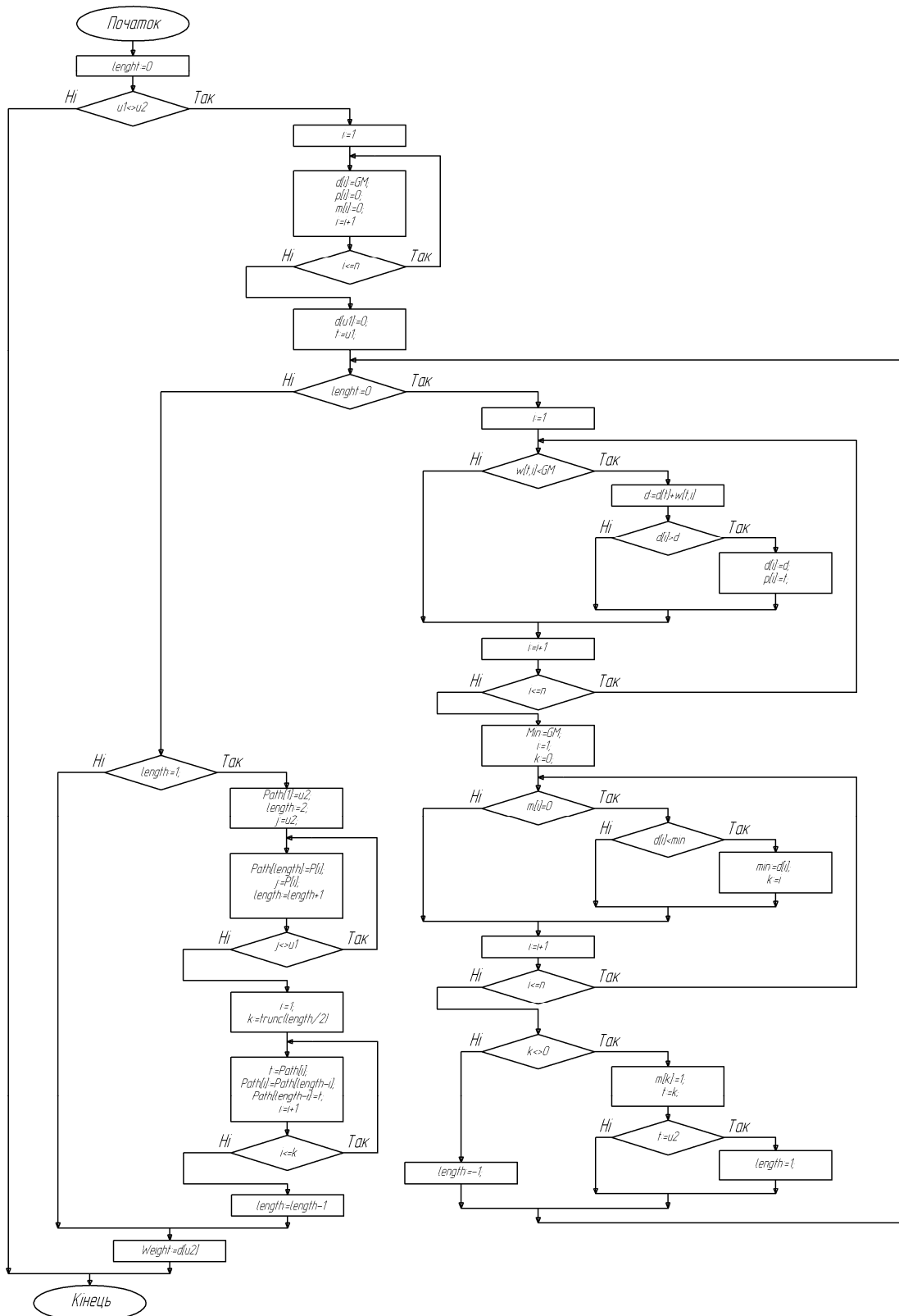


Рис. 2.3 . Блок-схема алгоритму Дейкстри

Крок i . а) Обчислюються тимчасові мітки $[u_i + d_{ij}, i]$ для усіх вузлів j , які можна досягти безпосередньо з вузла i , і які не мають постійних міток. Якщо вузол j уже має мітку $[u_j, k]$, отриману від іншого вузла k , і якщо $u_i + d_{ij} < u_j$, тоді мітка $[u_j, k]$ замінюється на $[u_i + d_{ij}, i]$.

б) Якщо усі вузли мають постійні мітки, процес обчислень закінчується. У протилежному випадку вибирається мітка $[u_r, s]$ з найменшим значенням відстані u_r серед усіх тимчасових міток (якщо таких міток декілька, то вибір довільний). Думаємо $i = r$ і повторюємо крок i .

При виконанні проекту організації транспортних потоків на заданому залізничному полігоні задачу пошуку шляху найкоротшої довжини було алгоритмізовано (алгоритм розроблено і наведено на рис. 2.3). Також було складено програму в пакеті прикладних програм Matlab, яку наведено у додатках. Програма дозволяє на підставі введеної матриці суміжності, тобто матриці в елементах якої введені довжини до вершин, розрахувати шлях найменшої довжини. Вихідними даними таким чином є: матриця суміжності і матриці джерела і стока, тобто вершин, між якими необхідно знаходити найкоротшу відстань. За допомогою цієї програми було розраховано алгоритм Дейкстри за двома способами – прямий алгоритм (матриця суміжності задавалася у вигляді відстаней між вузлами); і модифікований алгоритм (матриця суміжності задавалася на основі перерахування відстані у собівартість перевезень між вузлами). Вихідні дані для розрахунку наведені далі. Також для перевірки дій програми в пункті 2.5.2 наведено розрахунок шляху найкоротшої відстані за прямим алгоритмом.

2.5.2. Рішення задач моделювання транспортної мережі. На рис. 2.4 показана транспортна мережа, що складається з дванадцяти міст (відстань

між містами (в кілометрах) наведена біля дуг мережі). Необхідно знайти найкоротшу відстань від станції М. (вузол 1) до усіх інших міст.

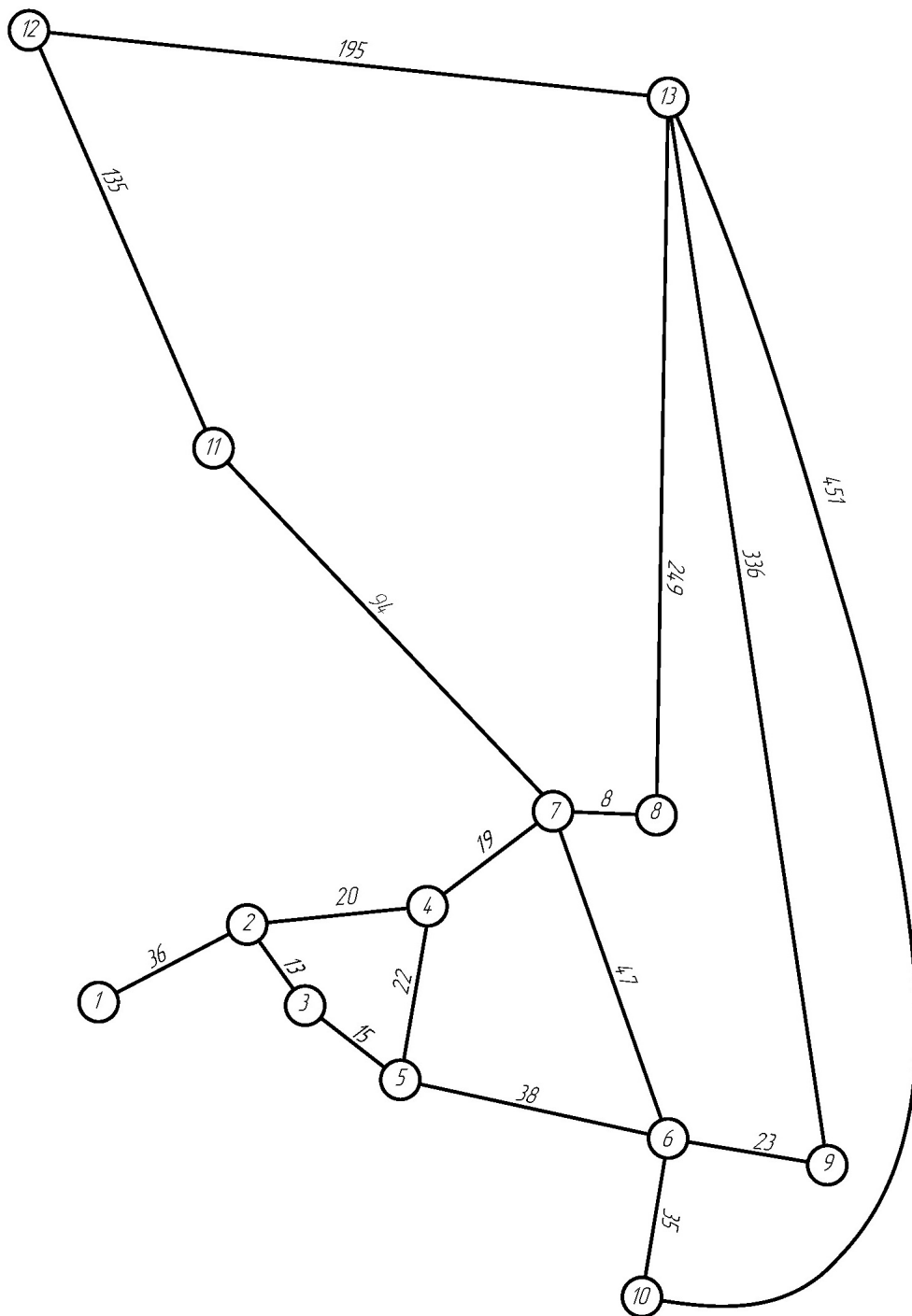


Рис. 2.4. Заданий залізничний полігон

Кінцевий результат міток має такий вигляд:

Вузол	Мітка	Статус мітки
1	[0,-]	Постійна
2	[36,1]	Постійна
3	[49,2]	Постійна
4	[56,2]	Постійна
5	[64,3]	Постійна
7	[75,4]	Постійна
8	[82,7]	Постійна
6	[102,5]	Постійна
9	[125,6]	Постійна
10	[137,6]	Постійна
11	[169,7]	Постійна
12	[304,11]	Постійна
13	[331,8]	Постійна

Найкоротший шлях між вузлом 1 і будь-яким іншим вузлом визначається починаючи з вузла призначення шляхом проходження їх у зворотному напрямку за допомогою інформації, представленої в постійних мітках. Найкоротший маршрут між вузлами 1 і 13 має таку послідовність вузлів:

$$(13) \Rightarrow [331,8] \Rightarrow (8) \Rightarrow [82,7] \Rightarrow (7) \Rightarrow [75,4] \Rightarrow (4) \Rightarrow [56,2] \Rightarrow (2) \Rightarrow [36,1] \Rightarrow (1)$$

Таким чином, одержуємо шлях загальною довжиною 331 км.

Тому, що треба оцінити не тільки найкоротший шлях, а і найдешевший, то модифікуємо алгоритм Дейкстри до знаходження шляху, який би був оптимальним за цим показником.

На рис. 2.5 показана транспортна мережа, що складається з дванадцяти станцій (відстань між містами (в кілометрах) наведена біля дуг мережі, також наведені умовні витрати на перевезення вантажу). Необхідно знайти найменші витрати на перевезення і шлях від станції М. (вузол 1) до усіх інших міст.

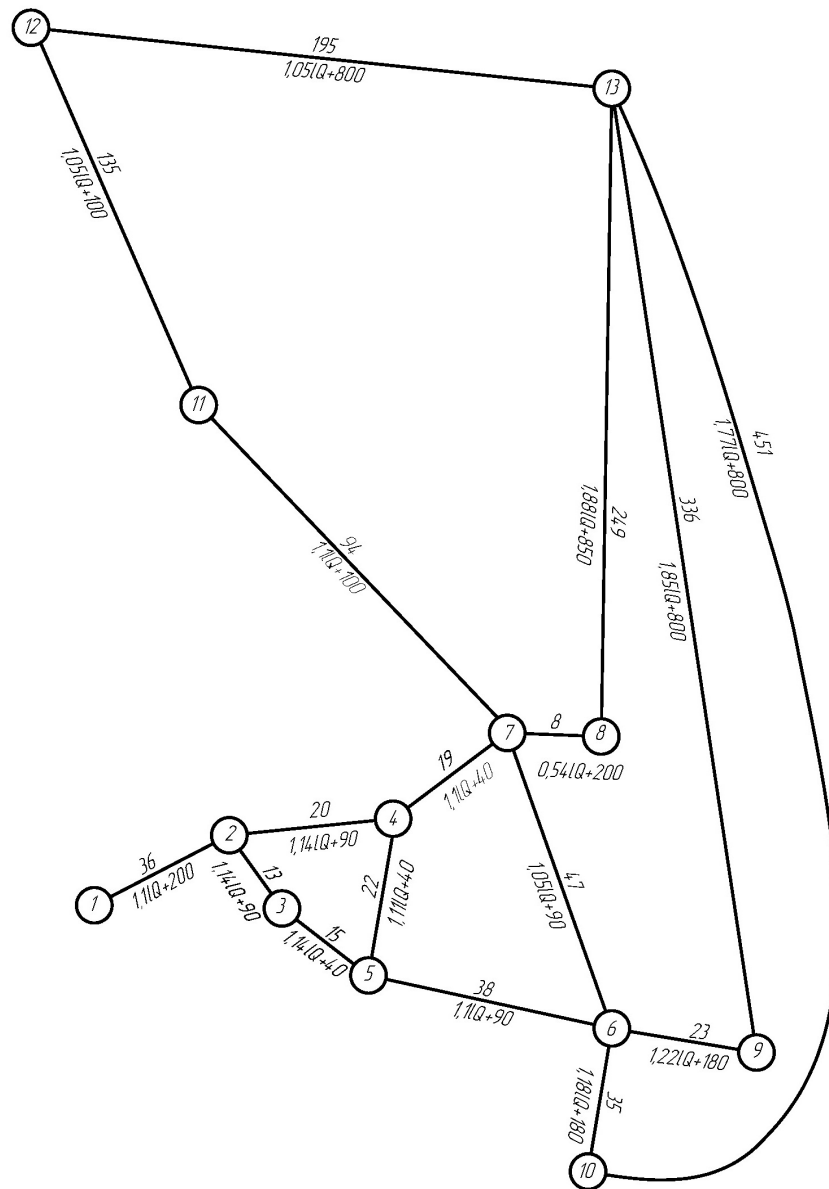


Рис. 2.5. Транспортна мережа

Як було сказано раніше, наводити рішення модифікованим алгоритмом не будемо, то переходимо до результатів рішення за цим алгоритмом.

На останньому кроці знайдено найменшу вартість перевезення вугілля від вузла 1 до вузла 13 – $[33322,12]$. Таким чином статус мітки вузла 12 змінюється на постійний. Крім того, видно, що після модифікування алгоритму Дейкстри і урахування питомої вартості перевезень змінився шлях, що є оптимальним.

Кінцевий результат міток має такий вигляд:

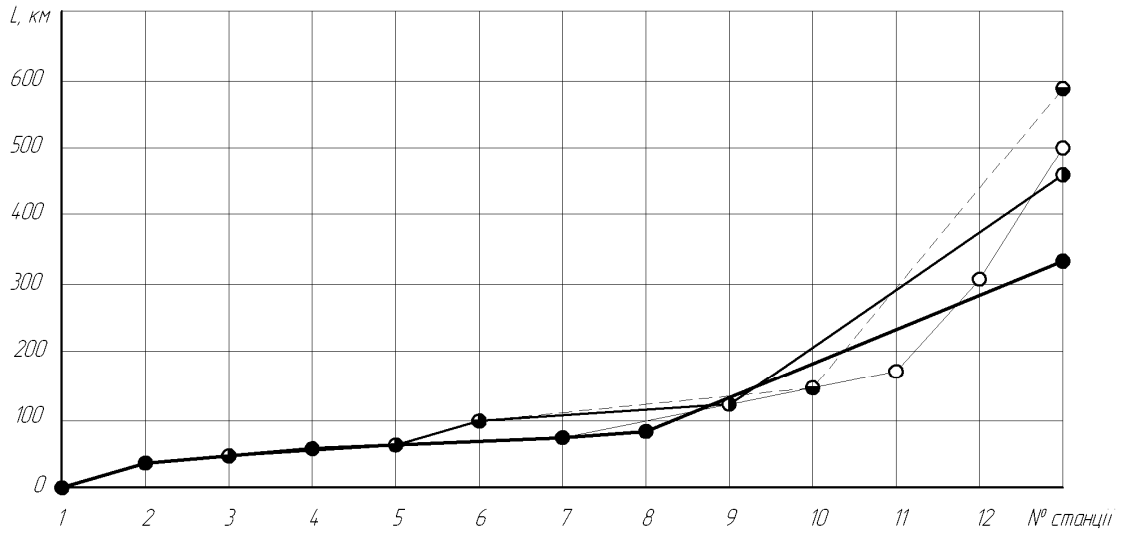
Вузол	Мітка	Статус мітки
1	[0,-]	Постійна
2	[2576,1]	Постійна
3	[3555,2]	Постійна
4	[4034,2]	Постійна
5	[4621,3]	Постійна
7	[5328,4]	Постійна
8	[5787,7]	Постійна
6	[7219,5]	Постійна
9	[9083,6]	Постійна
10	[9877,6]	Постійна
11	[11632,7]	Постійна
12	[20237,11]	Постійна
13	[33322,12]	Постійна

Оптимальний шлях між вузлом 1 і будь-яким іншим вузлом визначається починаючи з вузла призначення шляхом проходження їх у зворотному напрямку за допомогою інформації, представленої в постійних мітках. Оптимальний маршрут між вузлами 1 і 13 має таку послідовність вузлів:

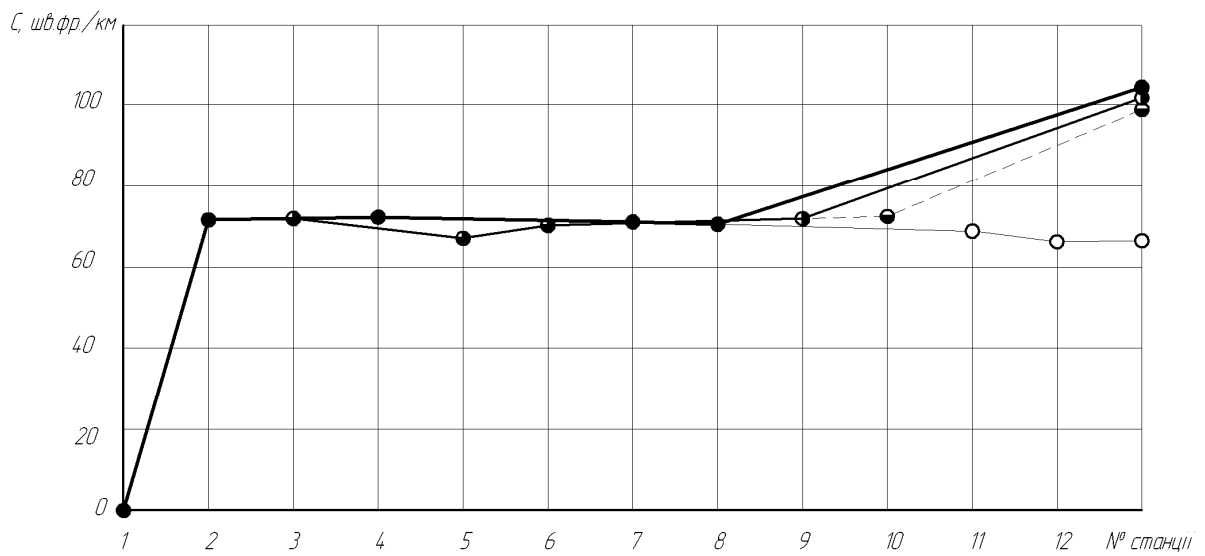
$$(13) \Rightarrow (12) \Rightarrow (11) \Rightarrow (7) \Rightarrow (4) \Rightarrow (2) \Rightarrow (1)$$

Таким чином, одержуємо шлях із загальною вартістю 33322 шв. фр.

Проаналізувавши результати розрахунку за алгоритмом Дейкстри можна зробити висновок, що є чотири маршрути, причому шляхом найменшої довжини є шлях $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (7) \Rightarrow (8) \Rightarrow (13)$ із довжиною 331 км, але шляхом, що потребує найменших витрат є шлях $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (7) \Rightarrow (11) \Rightarrow (12) \Rightarrow (13)$, при якому витрати на перевезення складуть 33322 шв. фр., що на 1402 шв. фр. менше ніж при перевезенні шляхом найменшої довжини. Результати наведено на рис. 2.4.



а)



б)

Рис. 2.6. Результати розрахунку за алгоритмом Дейкстри

а) – матриця суміжності задавалася відстанями між вузлами

б) – матриця суміжності задавалася собівартістю перевезень між вузлами

3. РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ

3.1. Потоки поїздів на розгалужених полігонах

3.1.1. Основні задачі організації руху поїздів на розгалужених полігонах. До сучасної мережі залізниць, пред'являються наступні вимоги: забезпечити пропуск потоків вантажів і пасажирів між всіма районами й задовольнити потреби підприємств і населення в перевезеннях.

Радикальне рішення транспортної проблеми зв'язано як з розвитком залізничної мережі, так і з підвищенням ефективності використання існуючої. Оскільки будівництво нових і посилення існуючих ліній вимагають більших капітальних вкладень і тривалого часу, надзвичайно важливого значення набуває більш ефективне використання існуючої мережі залізниць.

Оперативні міри організації руху по ліквідації утруднень зі своєчасним пропуском поїздів можуть дати ефект тільки в межах певної інтенсивності руху. Тому, якщо об'єм потоку поїздів систематично перевищує пропускну здатність на кожній з паралельно розташованих ліній, необхідні заходи щодо реконструкції й розвитку залізничної мережі.

Для ефективного використання залізниць необхідно виділити наступні задачі: дослідження властивостей потоків поїздів і функціонування мережі залізниць; визначення можливостей мережі залізниць по виконанню перевізної роботи; оптимальна організація руху потоків поїздів на розгалуженій мережі.

Ці задачі тісно зв'язані між собою. Так, вивчення властивостей потоків поїздів і функціонування мережі сприяє встановленню можливостей мережі залізниць по виконанню перевізної роботи, а знання перевізних можливостей полігонів мережі дозволяє оптимізувати рух потоку поїздів.

Сучасний залізничний транспорт являє собою складну систему, ефективність функціонування якої істотно залежить від якості

організаційного управління різноманітних по характеру своєї діяльності підрозділів. Щоб домогтися високої якості управління перевізним процесом на залізницях, сучасному керівникові далеко не завжди буває досить особистого досвіду, інтуїції й організаторських здібностей. При формуванні як стратегічних, так і багатьох тактичних рішень керівник змушений враховувати численні нерідко взаємно суперечливі міркування, опиратися на складні критерії ефективності шляхів досягнення кінцевих цілей.

Підвищення ефективності і якості перевізного процесу пов'язане зі створенням і підтримкою оптимальних умов експлуатації залізничних ліній, що дозволяють організувати рух поїздів з максимальною інтенсивністю [11, 14, 18].

Серед сучасних підходів до планування й управління роботою залізниць варто виділити побудову моделей, що дозволяють чітко описати технологічні операції переробки вагонів на станціях і рух поїздів на дільницях, установити параметри управління, ціль й обмеження, які забезпечують оптимальну організацію перевізного процесу.

Формалізувати таку складну систему й створити модель роботи залізничного транспорту доцільно за допомогою теорії графів і потоків у мережах.

Мережні й графові моделі охоплюють широкий клас задач, що зустрічаються при проектуванні будівництва й реконструкції, плануванні перевізної роботи й експлуатації залізниць. У багатьох випадках ці задачі характеризуються лінійною цільовою функцією й лінійними обмеженнями, для рішення яких могли б застосовуватися відомі методи лінійного програмування. Однак характерною рисою таких задач на залізничному транспорті є більша розмірність, що обумовлює необхідність пошуку більш ефективних алгоритмів і методів оптимізації, які дозволяли б знаходити рішення поставлених задач і забезпечували гнучкість стосовно змін вихідних даних. Для побудови таких алгоритмів доцільно використати теорію графів і потоків у мережах. Переваги такого подання задач насамперед пов'язані з

можливістю оптимального рішення різноманітних задач великої розмірності й складності з урахуванням внутрішніх взаємозв'язків, наочністю подання мережі. Використання обчислювальної техніки дозволяє знаходити ефективні й досить прості для практичного використання алгоритми рішення задач оптимізації перевізної роботи.

Побудова моделей у вигляді графа доцільно для рішення багатьох задач, що виникають в експлуатації залізниць, наприклад, при визначенні найкоротших шляхів між двома станціями, по яких може бути перевезений вантаж. Така задача зв'язності є структурною. Однак у ній не зазначена величина можливого потоку. Щоб включити цю інформацію, варто розглядати зважені графи. Для цього кожній ділянці й станції приписується число, що вказує максимальну величину потоку, що вони можуть пропустити. Максимальний потік, що може бути пропущений між розглянутими станціями відповідає пропускній здатності шляху.

Задача визначення максимального потоку між двома точками відома як «задача про максимальний потік». Узагальнення цієї задачі полягає в тому, щоб знайти максимальну величину потоків декількох призначень, які одночасно можуть йти між декількома парами точок. Ця задача відома як «задача про багатопродуктовий максимальний потік». Обидві ці задачі є задачами аналізу, коли задана мережа і її модель у вигляді графа. На основі аналізу графа знаходиться максимальне значення потоку.

Задача синтезу має велику кількість варіантів. Наприклад, якщо припустити, що умови роботи проектованої мережі можуть бути точно передбачені, вимоги до величини потоку можуть бути повністю задоволені. Якщо ж в експлуатації мережі присутні елементи випадковості, величина потоку повинна бути інтерпретована ймовірносно.

Попередні задачі про зв'язність й максимальний потік тісно пов'язані із групою задач, які можуть бути об'єднані під назвою задач про надійність. Експлуатація залізниць відбувається в умовах можливих ушкоджень технічних пристроїв і виникнення несправностей рухомого складу.

Наслідком цього є порушення руху поїздів. При заданих критеріях функціонування ми повинні створити таку мережу, у якій можливі порушення роботи були б мінімальні. Задачі аналізу й синтезу можуть бути сформульовані як детерміновані і як імовірнісні.

Варто також назвати задачі знаходження найкоротшого, найбільш дешевого або самого надійного шляху проходження поїздопотоків або доставки вантажів.

На мережі залізниць час доставки вантажів, оборот вагона залежать від величини потоків, що надходять. При високому рівні завантаження ліній і станцій значно сповільнюється просування поїздів. У результаті погіршуються умови експлуатаційної роботи залізниць і зриваються строки поставки вантажів. Доцільно регулювати надходження потоків вантажів на залізничний транспорт для того, щоб зберегти оптимальні умови його роботи, що забезпечують перевезення максимального об'єму вантажів і виконання строків їхньої доставки. У цьому випадку деяким підприємствам періодично прийдеться очікувати прийому вантажів до перевезення. Час очікування може служити важливим параметром, що характеризує рівень розвитку мережі залізниць. Визначення середнього часу очікування прийому вантажів до перевезення й вивчення впливу на нього структури мережі є типовою задачею аналізу.

3.1.2. Структура мережі залізниць. Структура мережі залізниць (її топологія), сукупність пунктів (вузлів, станцій, під'їзних колій) і з'єднуючих ліній у їх взаємному розташуванні показують потенційні можливості транспорту в забезпеченні підприємств і населення перевезеннями між окремими пунктами. Пунктам і лініям можуть бути приписані різні функціональні характеристики, по яких визначаються окремі кількісні і якісні показники. Можна розглядати структуру як мережі в цілому, так й окремих полігонів, виділених по виду перевезень, території або якій-небудь іншій ознаці. Для будь-якої мережі залежно від вимог або поставленої задачі можна розглядати структуру ліній або структуру колійного розвитку. У

першому випадку дільниці мережі розглядаються незалежно від кількості колій на станціях і перегонах. У другому випадку враховується число колій на перегонах і напрямках руху поїздів по них. Крім структури технічного оснащення мережі, можна розглядати також структуру вагонопотоків (місцеві, транзитні) і категорії поїздів (вантажні, пасажирські й т.п.).

Для вивчення структурних властивостей мережу залізниць зручніше за все представити у вигляді графа $G = \{A, B\}$, де $A = \{a_1, \dots, a_N\}$ – сукупність станцій мережі (вершин графа) і $B = \{b_{ij}\}$ – множина дільниць між станціями (ребер). Оскільки дільниці можуть бути одноколійними і багатоколійними, то й відповідні їм ребра будуть ненаправленими (неорієнтованими) або спрямованими (орієнтованими). На рис. 3.1, а представлений полігон залізниці, а на рис. 3.1, б дане його зображення у вигляді змішаного графа. Одноколійні дільниці показані ненаправленими ребрами, двоколійні – спрямованими. Як правило, рух поїздів на дільницях здійснюється в обох напрямках, а розглядатися вони можуть кожний окремо. Для цього при заданому напрямку руху дільниці позначаються впорядкованими парами, що складаються з початкової й кінцевої станцій. Так, на рис. 3.1, б позначення (a_3, a_4) відноситься до ребра b_1 , а (a_4, a_3) – до ребра b_2 [12, 20, 21].

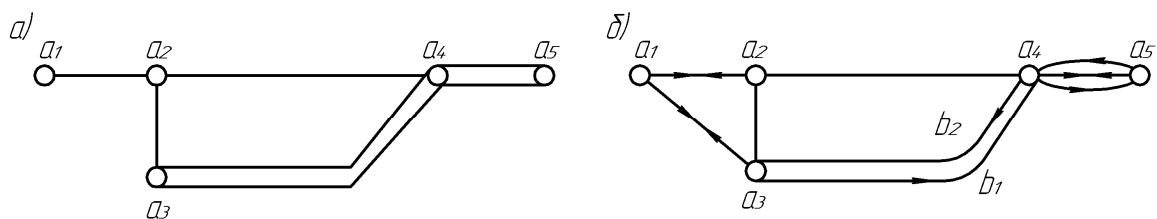


Рис. 3.1. Приклад мережі залізниць (а), зображеної у вигляді орієнтованого графа (б).

Залізнична мережа, зображена графом G , може бути записана матрицею суміжності, що позначається $B = [b_{ij}]$ й визначається в такий спосіб:

- $b_{ij} = 1$, якщо в G існує ребро (a_i, a_j) ;
- $b_{ij} = 0$, якщо в G немає ребра (a_i, a_j) .

Матриця суміжності графа, зображеного на рис. 3.1, б має вигляд:

$$B = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} .$$

Матриця суміжності визначає структуру графа, але для більш повної характеристики мережі залізниць важливо ще знати наявність колій на перегонах й їх спеціалізацію за напрямками руху поїздів. Це досягається зображенням залізничної мережі графом, що записується матрицею інциденцій і має наступні позначення:

- $b_{ij} = +1$, якщо ребро багатоколійної дільниці, у тому числі й двоколійної, спеціалізованої на русі поїздів з a_i в a_j ;
- $b_{ij} = -1$, якщо ребро багатоколійної дільниці спеціалізовано на русі поїздів з a_j в a_i ;
- $b_{ij} = \pm 1$, якщо ребро належить одноколійній або багатоколійній дільниці й не спеціалізовано за напрямками руху поїздів;
- $b_{ij} = 0$, якщо ребро (a_i, a_j) відсутнє.

Наприклад, мережа, зображена на рис. 3.1, а, має матрицю інциденцій [18, 22, 26]

$$B = \begin{matrix} & (a_1, a_2) & (a_1, a_3) & (a_2, a_3) & (a_2, a_4) & (a_3, a_4) & (a_4, a_5) \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & +1, -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & -1, +1 & +1, -1, \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1, +1, \pm 1 \end{bmatrix} \end{matrix} .$$

Матричне представлення мережі залізниць дає зручний спосіб опису графа, не пов'язаний з перерахуванням вершин і ребер або побудовою діаграм. Машинні програми оптимізаційних алгоритмів, як правило, використовують матричний опис графа.

Вершина й ребро інцидентні один одному, якщо вершина є для цього ребра кінцевою або початковою точкою. На рис. 3.1, б ребро (a_1, a_2) й вершина a_1 інцидентні один одному. Два ребра інцидентні один одному, якщо обоє вони інцидентні одній й тій же вершині. На рис. 3.1, б ребра (a_1, a_2) й (a_2, a_4) інцидентні один одному, оскільки обидві вони інцидентні вершині a_2 .

Дві вершини називаються суміжними, якщо є ребро, що їх з'єднує. Будь-яка послідовність ребер, така, що кінцевими точками ребра є вершини a_i й a_{i+1} , називається ланцюгом. Вершина a_1 називається початковою вершиною ланцюга. Вершина a_{i+1} називається кінцевою вершиною ланцюга. Якщо в мережі є можливість здійснювати перевезення з a_s в a_t (незалежно від того, відбувається це найкоротшим шляхом або круглим), то будемо говорити, що існує ланцюг від a_s к. a_t .

Шлях μ_{st} з вершини a_s у вершину a_t – це впорядкована послідовність ребер, що починається в a_s , що закінчується в a_t і, що не минає двічі через одну вершину, причому кінець кожного попереднього ребра збігається в проміжній (для даного шляху) вершині з початком наступного ребра. Шлях, намічений (обраний) для перевезення тих або інших вантажів між заданими

станціями (вершинами), будемо називати маршрутом. Рангом шляху $r(\mu_{st})$ називається число ребер, що утворюють цей шлях. Мінімальний ранг шляху 1, максимальний $N - 1$, коли шлях проходить через всі вершини. Шлях μ_{st}^k (k – порядковий номер шляху) записується переліком ребер, що утворюють цей шлях, тобто $\mu_{st}^k = \mu_{s l m \dots q t} = b_{sl} b_{lm} \dots b_{qt}$, або впорядкованим (по їх місцю в шляху) переліком вершин: $\mu_{st}^k = a_s a_l a_m \dots a_q a_t$. Всі шляхи від a_s до a_t утворюють множину m_{st} , а сукупність двох множин, що відповідають протилежним напрямкам, – множина M_{st} всіх ділянок між a_s й a_t : $M_{st} = m_{st} \cup m_{ts}$. Для одноколійних ліній $M_{st} = m_{st} = m_{ts}$. Між заданими вершинами a_s й a_t можуть бути виділені шляхи: припустимі $m_{st}^{don} \in m_{st}$, оптимальні $m_{st}^{opt} \in m_{st}^{don}$, що мають ранг не більше r ; $m_{st}^{\leq r}$ і т.п. [12].

Перетином σ_{st} мережі залізниць (графу) назвемо ненадлишкову сукупність ребер (дільниць), які треба вилучити з мережі (графу), щоб порушилася її зв'язність. Перетинами σ_{st} стосовно вершин a_s і a_t будемо називати такі перетини, при яких вузли a_s й a_t виявляються в різних підмережах (підграфах). При цьому на мережі (графі) на багатокільних ділянках будемо розрізняти спрямовані перетини, що порушують рух від a_s й a_t або навпаки, і ненаправлені – повністю порушують рух між a_s і a_t на одноколійних ділянках. Кожен перетин може бути записано множиною (переліками) вхідних у нього ребер: $\sigma^l = \{b_{lm}, b_{im}, \dots, b_{pq}\}$.

Рангом перетину $r(\sigma^l)$ будемо називати число вхідних у нього ребер. З теорії графів відомо, що в ненаправленій мережі необхідною й достатньою умовою h – зв'язності мережі є те, що ранг всіх перетинів цієї мережі повинен бути не менш h : $h = \min_l r(\sigma^l)$.

Поряд з перетином уведемо поняття розрізу мережі – мінімальної сукупності вершин або вершин і ребер, які треба видалити з мережі, щоб вона стала незв'язною.

Для одержання кількісних оцінок ребер, шляхів і зв'язків кожному ребру або вершині мережі приписується «вага» – число, що характеризує відповідну властивість ребра або вершини із вказівкою розмірності (час, відстань, вартість). Для кожної характеристики може бути складена матриця, входження якої відносяться або до ребер b_{ij} або до вершин a_i . Насамперед, уведемо матриці, що характеризують ребра:

1. Матрицю суміжності B ;
2. Матрицю довжин ребер (дільниць)

$$D = [d_{ij}],$$

де $d_{ij} = 0$; d_{ij} – довжина дільниці від пункту a_i до пункту a_j ; $d_{ij} = \infty$, якщо між a_i і a_j немає ребра;

3 Матрицю пропускних здатностей ребер. Під пропускнуою здатністю будемо розуміти або максимальне число поїздів, що може бути пропущене в одиницю часу або рівень використання пропускнуої здатності при заданій якості руху поїздів.

$$N = [n_{ij}].$$

4. Матрицю надійності

$$P = [p_{ij}],$$

де $p_{ij} = 1 - q_{ij}$ – імовірність знаходження ребра в працездатному стані, а q_{ij} – імовірність виходу його з ладу;

5. Матрицю вартостей

$$C = [c_{ij}].$$

де c_{ij} – вартість ребра (будівництва або руху поїздів) між пунктами a_i й a_j , а $c_{ij} = c_i$ – вартість вершини a_i .

З матриць D і N може бути побудована матриця, що відображує можливості ребра по перевізній роботі, вираженої в поїздо-кілометрах (матриця $DN = [d_{ij}n_{ij}]$) або в тонно-кілометрах (матриця $\Lambda = [d_{ij}Q_{ij}]$) [16, 19, 30, 33].

Використовуючи характеристики ребер, можна одержати відповідні характеристики для окремих напрямків, перетинів або зв'язків між заданими станціями.

Ранг $r(\mu_{st}^k)$ шляху (напрямку) – число вхідних у нього ребер. Довжина шляху (напрямку) – сума довжин всіх ребер, що утворять цей шлях,

$$d_{st}^k = d(\mu_{st}^k) = \sum_{\forall b_{ij} \in \mu_{st}^k} d_{ij}.$$

Пропускна здатність шляху визначається найбільш «вузькими місцями» – мінімальною пропускнуою здатністю ребер, що утворять шлях:

$$n(\mu_{st}^k) = \min_{\forall b_{ij} \in \mu_{st}^k} n_{ij}.$$

Довжину найкоротшого шляху між вершинами a_s й a_t прийемо за відстань u_{st} між цими вершинами на мережі (ця відстань може відрізнятись від географічної відстані), тобто

$$u_{st} = \min_k d_{ij}^k$$

Відповідно мережа залізниць може характеризуватися матрицею відстаней (довжин найкоротших шляхів):

$$U = [u_{ij}].$$

Аналогічні показники можуть бути визначені й для окремих перетинів. Так, пропускна здатність перетину σ_{st}^l визначається як сума пропускних здатностей ребер, що входять у даний перетин:

$$n(\sigma_{st}^l) = \sum_{\forall b_{ij} \in \sigma_{st}^k} n_{ij}.$$

Однією з найважливіших характеристик мережі є пропускна здатність всіх ліній між окремими станціями мережі – пропускна здатність n_{st} множини m_{st} всіх або обраних шляхів, що утворюють даний полігон, які визначаються як пропускна здатність перетину даної множини шляхів, що має мінімальну пропускну здатність:

$$N_{st} = n(m_{st}) = \min_{\forall \sigma_{st}^l \in S_{st}} n(\sigma_{st}^l).$$

У теорії графів це відповідає теоремі про максимальний потік, що визначається мінімальним перетином. У наведеному визначенні поняття пропускної здатності може відноситися не тільки до ліній між двома станціями, але й до зв'язку станції з певним полігоном мережі або між двома полігонами.

3.2. Розрахунок максимального потоку, який можна пропустити через полігон

При аналізі транспортних мереж часто виникає задача визначення максимального потоку, що може пропустити дана мережа, а також задача розподілу цього потоку по дугах мережі.

З математичної точки зору задача про максимальний потік формулюється в такий спосіб: при заданій конфігурації мережі і відомій пропускній здатності C_{ij} знайти ненегативні значення φ_{ij} , що задовольняють умовам і, що максимізують функцію φ , тобто

$$\varphi = \sum_i \varphi_{oi} = \sum_j \varphi_{jn} \rightarrow \max.$$

Алгоритм для знаходження максимального потоку був запропонований Фордом і Фалкерсоном і полягає в поступовому збільшенні потоку, що пропускається по мережі, доти, поки він не стане найбільшим. Алгоритм заснований на теоремі Форда-Фалкерсона: у будь-якій транспортній мережі максимальний потік із джерела x_o в стік x_n , дорівнює мінімальній пропускній здатності розрізу, що відокремлює x_o від x_n .

Рішення задачі складається з підготовчого етапу і кінцевого числа кроків, на кожному з яких відбувається припустиме збільшення потоку. На підготовчому етапі формується матриця пропускних здатностей дуг мережі.

Для нашого варіанту полігону вже відомі маршрути, за якими можна транспортувати вантаж, причому відомі більш оптимальні за собівартістю перевезень. Тому, при поступовому збільшенні потоку в першу чергу будемо пропускати потік по найбільш оптимальному маршруті, а вже потім по менш вигідному.

По табл. 3.1. знаходимо шлях $l_1 = (1, 2, 4, 7, 11, 12, 13)$ зі станції 1 у 13 з позитивною пропускною здатністю. Елементи цього шляху C_{ij} позначаємо знаком «мінус», а симетричні C_{ji} – знаком «плюс». Визначаємо пропускну здатність знайденого шляху, що дорівнює найменшій з пропускних здатностей дуг:

$$C_1 = \min\{27, 18, 20, 20, 9, 14\} = 9.$$

Визначаються залишкові пропускні здатності дуг знайденого шляху і симетричних йому дуг. Для цього з елементів C_{ij}^- табл. 3.1. віднімаємо C_1 , а до елементів C_{ij}^+ додаємо C_1 . У результаті одержимо нову табл. 3.2 зі зміненими пропускними здатностями.

Таблиця 3.1.

Матриця пропускних здатностей дуг мережі

	1	2	3	4	5	7	8	6	9	10	11	12	13
1	-	27 ⁻											
2	23 ⁺	-	9	18 ⁻									
3		2	-		13								
4		8 ⁺		-	8	20 ⁻							
5			10	14	-			23					
7				20 ⁺		-	10	10			20 ⁻		
8						7	-						10
6					17	18		-	8	5			
9								7	-				8
10								5		-			8
11						8 ⁺					-	9 ⁻	
12											8 ⁺	-	14 ⁻
13							7		7	13		7 ⁺	-

Таблиця 3.2.

Матриця пропускних здатностей дуг мережі

	1	2	3	4	5	7	8	6	9	10	11	12	13
1	-	18 ⁻											
2	32 ⁺	-	9	9 ⁻									
3		2	-		13								
4		17 ⁺		-	8	11 ⁻							
5			10	14	-			23					
7				29 ⁺		-	10 ⁻	10			11		
8						7 ⁺	-						10 ⁻
6					17	18		-	8	5			
9								7	-				8
10								5		-			8
11						17					-	0	
12											17	-	5
13							7 ⁺		7	13		16	-

Змінимо пропускні здатності позначених дуг на C_2 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

Матриця пропускних здатностей дуг мережі

	1	2	3	4	5	7	8	6	9	10	11	12	13
1	-	9 ⁻											
2	41 ⁺	-	9 ⁻	0									
3		2 ⁺	-		13 ⁻								
4		26		-	8	2							
5			10 ⁺	14	-			23 ⁻					
7				38		-	1	10			11		
8						16	-						1
6					17 ⁺	18		-	8 ⁻	5			
9								7 ⁺	-				8 ⁻
10								5		-			8
11						17					-	0	
12											17	-	5
13							16		7 ⁺	13		16	-

Позначаємо стовпці табл. 3.2, знаходимо другий шлях $l_2 = (1, 2, 4, 7, 8, 13)$ зі станції 1 у 13, і розставляємо знаки. Визначаємо пропускну здатність знайденого шляху, що дорівнює найменшій з пропускну здатностей дуг:

$$C_2 = \min\{18, 9, 11, 10, 10\} = 9.$$

Позначивши стовпці знаходимо $l_3 = (1, 2, 3, 5, 6, 9, 13)$.

Величина потоку по шляху l_3 : $C_3 = \min\{9, 9, 13, 23, 8, 8\} = 8$.

Розрахувавши нові пропускну здатності дуг, приходимо до табл. 3.4.

Таблиця 3.4.

Матриця пропускну здатностей дуг мережі

	1	2	3	4	5	7	8	6	9	10	11	12	13
1	-	1 ⁻											
2	49 ⁺	-	1 ⁻	0									
3		10 ⁺	-		5 ⁻								
4		26		-	8	2							
5			18 ⁺	14	-			15 ⁻					
7				38		-	1	10			11		
8						16	-						1
6					25 ⁺	18		-	0	5 ⁻			
9								15	-				0
10								5 ⁺		-			8 ⁻
11						17					-	0	
12											17	-	5
13							16		15	13 ⁺		16	-

Позначивши стовпці знаходимо $l_4 = (1, 2, 3, 5, 6, 10, 13)$.

Величина потоку по шляху l_4 : $C_4 = \min\{1, 1, 5, 5, 5, 8\} = 1$.

Розрахувавши нові пропускні здатності дуг, приходимо до табл. 3.5.

Переглядаючи рядки і позначаючи стовпці переконуємося в тім, що стовпець 13 позначити неможливо. Отже, більше не існує жодного шляху з позитивною пропускною здатністю з вершини 1 у вершину 13.

Заключний крок. Віднімаючи з елементів табл. 3.1 відповідні елементи табл. 3.5, одержимо табл. 3.6.

Таблиця 3.5.

Матриця пропускних здатностей дуг мережі

	1	2	3	4	5	7	8	6	9	10	11	12	13
1	-	0											
2	50	-	0	0									
3		11	-		4								
4		26		-	8	2							
5			19	14	-		14						
7				38		-	1	10			11		
8						16	-						1
6					26	18		-	0	4			
9								15	-				0
10								6		-			7
11						17					-	0	
12											17	-	5
13							16	15	14		16	-	

Позитивні елементи цієї таблиці характеризують величини дугових потоків. Величина максимального потоку дорівнює сумі елементів 1-го рядка табл. 3.6 або сумі елементів 13-го стовпця. Усі дуги розрізу (R^*, \bar{R}^*) є насиченими.

Величина максимального потоку дорівнює 27. Тобто при заданому графіку руху поїздів, максимальну пропускну здатність у даному залізничному полігоні можливо реалізувати у кількості 27 потягів на добу. При чому маршрут, що має мінімальну собівартість перевезень, вичерпано до кінця через станцію 11 (табл. 3.1), у якої максимальна пропускна здатність дорівнює 9 потягам на добу. Якщо збільшити пропускну здатність станції 9,

то можливе збільшення потоку за оптимальним маршрутом зменшить собівартість перевезень загалом у залізничному полігоні. Розглянемо функціональну оцінку схеми станції 9, та можливість збільшення пропускної здатності цієї станції.

Таблиця 3.6.

Матриця пропускних здатностей дуг мережі

	1	2	3	4	5	7	8	6	9	10	11	12	13
1	-	27											
2	-27	-	9	18									
3		-9	-		9								
4		-18		-		18							
5			-9		-			9					
7				-18		-	9				9		
8						-9	-						9
6					-9			-	8	1			
9								-8	-				8
10								-1		-			1
11						-9					-	9	
12											-9	-	9
13							-9		-8	-1		-9	-

3.3. Посилення пропускної і провізної здатності залізниць

Визначення потреби в посиленні пропускної здатності ліній. Заходи з оволодіння майбутніми вантажними і пасажирськими перевезеннями вибирають, зіставляючи потрібну і наявну пропускну здатність, а також оцінюючи ефективність різних видів та рівнів технічного оснащення доріг в залежності від ступеня завантаження вантажо-і пасажиропотоками.

Спочатку визначають потрібну пропускну здатність і розраховують технічно можливий термін роботи лінії (ділянки) до проведення першого заходу щодо посилення наявної пропускної здатності. Цей термін t_T визначається з умови рівності потрібної Γ_{Π} та наявної Γ_H провізної

здатності лінії (рис. 3.2). Залежність $\Gamma_{II}(t)$ – потрібна провізна спроможність (очікуваний вантажопотік у вантажному напрямку), а $\Gamma_H(t)$ – наявна провізна спроможність, яка з роками зменшується через зростання обсягу пасажирських перевезень, а також збільшення вантажопотоку, освоюваного прискореними і збірними поїздами. Потрібну провізну спроможність встановлюють планом або прогнозом (на тривалі терміни) перевезень, враховуючи їх нерівномірність за місяцями року, для місяця з найбільш інтенсивними вантажними перевезеннями:

$$\Gamma_{II}(t) = (\Gamma_0 + rt)k_u^{2p},$$

де Γ_0 – вантажопотік у вантажному напрямі вихідного року експлуатації лінії, т; r – середньорічний приріст вантажопотоку, т; k_u^{2p} – коефіцієнт місячної нерівномірності вантажних перевезень, рівний відношенню максимальних перевезень за місяць до середньомісячних ($k_u^{2p} > 1$).

Наявна провізна здатність дорівнює:

$$\Gamma_u(t) = 365Q_{\text{бp}}\varphi\left\{n_{\text{max}}\beta_p - \varepsilon_{\text{пс}}n_{\text{пс}}(t) - \varepsilon_{\text{сб}}n_{\text{сб}}(t) - \varepsilon_{\text{yc}}n_{\text{yc}}(t)\right\} + \frac{Q_{\text{сб}}}{Q_{\text{бp}}}n_{\text{сб}}(t) + \frac{Q_{\text{yc}}}{Q_{\text{бp}}}n_{\text{yc}}(t)$$

де $Q_{\text{бp}}$, $Q_{\text{сб}}$, Q_{yc} середня маса відповідно вантажного, збірного і прискореного поїздів бруто в залежності від можливих обмежень по довжині станційних колій і через уніфікації норм маси на напрямку, т; ε - відношення маси складу нетто Q_H і бруто $Q_{\text{бp}}$; n_{max} – максимальна пропускна здатність лінії в парах вантажних поїздів при паралельному графіку: $n_{\text{пс}}$, $n_{\text{сб}}$, n_{yc} – число пар поїздів на добу відповідно пасажирських, збірних і прискорених: $\varepsilon_{\text{пс}}$, $\varepsilon_{\text{сб}}$,

ε_{yc} – коефіцієнти зйому вантажних поїздів відповідно пасажирськими, збірними і прискореними; β_p – коефіцієнт резерву пропускну́ї здатності.

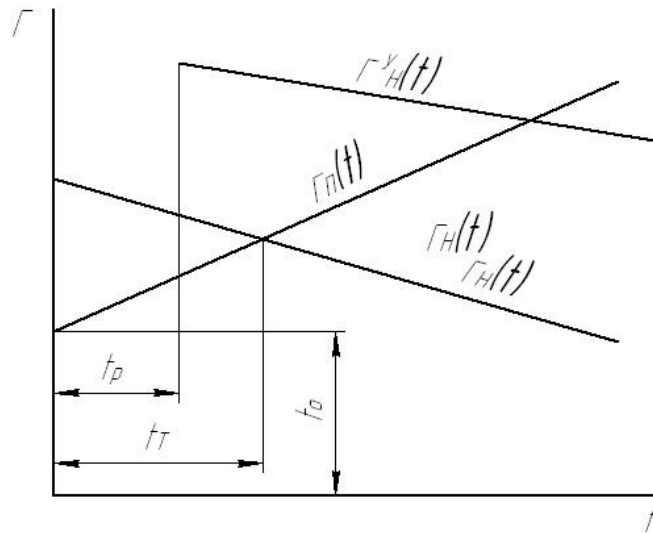


Рис. 3.2. Залежність потрібної та наявної провізної здатності від терміну експлуатації лінії

Резерв пропускну́ї здатності необхідний для надання «вікон» у графіку при виконанні будь-якого роду ремонтних робіт (колії, пристроїв електропостачання) а також для освоєння розмірів руху у разі їх відхилення від середньодобових на місяць максимальних перевезень.

У орієнтовних передпроектних розрахунках величину його задають коефіцієнтом β_p (зазвичай 0,85 – на одноколіїних, 0,91 – на двоколіїних лініях).

Добові розміри руху пасажирських поїздів залежать від пасажиропотоку:

$$n_{пс}(t) = \frac{k_H^{пс} (A_0 + \Delta A t)}{365 a_{cp}},$$

де A_0 – пасажиропотік вихідного року в одному напрямку; ΔA – середньорічний приріст пасажиропотоку; a_{cp} – середньозважена населеність одного пасажирського поїзда; k_H^{PC} – коефіцієнт місячної нерівномірності пасажиропотоку.

Прийнявши у формулі

$$\frac{k_H^{PC} A_0}{365 a_{cp}} = n_0^{PC} \text{ і } \frac{k_H^{PC} \Delta A}{365 a_{cp}} = n_r^{PC} t,$$

а число збірних і прискорених поїздів постійним до проведення першого заходу, отримаємо розрахункову умову для визначення t_r :

$$\begin{aligned} (\Gamma_0 + r t_T) k_H^{zp} = 365 Q_{\bar{op}} \varphi \{ & [n_{\max} \beta_p - (n_0^{PC} + n_r^{PC} t_T) \varepsilon_{PC} - n_{c\bar{o}} \varepsilon_{c\bar{o}} - n_{yc} \varepsilon_{yc}] + \\ & + n_{c\bar{o}} \frac{Q_{\bar{op}}^{c\bar{o}}}{Q_{\bar{op}}} + n_{yc} \frac{Q_{\bar{op}}^{yc}}{Q_{\bar{op}}} \} \end{aligned}$$

Звідки після перетворень

$$t_T = \frac{365 Q_{\bar{op}} \varphi \left[n_{\max} \beta_p - n_0^{PC} \varepsilon_{PC} - n_{c\bar{o}} \left(\varepsilon_{c\bar{o}} - \frac{Q_{\bar{op}}^{c\bar{o}}}{Q_{\bar{op}}} \right) - n_{yc} \left(\varepsilon_{yc} - \frac{Q_{\bar{op}}^{yc}}{Q_{\bar{op}}} \right) \right] - \Gamma_0 k_H^{zp}}{\Gamma k_H^{zp} + 365 Q_{\bar{op}} \varphi n_r^{PC} \varepsilon_{PC}},$$

При значній нерівності вантажопотоків у вантажному і зворотному напрямках число потягів слід визначати з урахуванням звернення порожніх складів. Технічно можливий термін роботи лінії без посилення пропускної спроможності в цьому випадку встановлюють, враховуючи непарність графіка руху на однокільних лініях і окремо в кожному напрямку на двокільних лініях. Таким чином, для стійкої роботи лінії її наявна

пропускна здатність повинна бути збільшена до раціонального рівня Γ_H^y не пізніше строку t_T . Тоді в рік t_T вона використовується повністю, залишається лише мінімально необхідний резерв.

З економічної точки зору може виявитися доцільним збільшити пропускну здатність і раніше терміну. Раціональний термін встановлюється тоді техніко-економічними розрахунками в комплексі з вибором способу посилення (у загальному випадку – системи заходів з оволодіння перевезеннями).

Способи посилення пропускної і провізної здатності та основи їх вибору. Провізну і пропускну здатність лінії можна збільшити як підвищенням маси поїзда, так і збільшенням розмірів руху. Найбільш ефективні комплексні рішення – збільшення маси поїзда та пропускної здатності в поїздах. Для вивчення техніко-економічних характеристик способів посилення пропускної і провізної здатності лінії умовно розрізняють заходи, які збільшують провізну спроможність при тих же розмірах руху, і заходи, які збільшують пропускну здатність у поїздах при тій же масі. До першої групи заходів (збільшення маси) відносяться:

- збільшення потужності локомотивів, використовуваних на підвищення норм маси поїздів (заміна локомотива більш потужним, подвійна тяга, підштовхування);
- подовження станційних колій з одночасним посиленням тяги або поліпшенням використання існуючих локомотивів;
- організація руху блок-поїздів з різними схемами формування локомотивів і складів: ЛСС, ЛССЛС, ЛЛСС та ін;
- ущільнення навантаження і використання великовантажних вагонів; пом'якшення профілю колії і зниження опору руху.

До другої групи заходів (збільшення числа поїздів) відносяться:

- збільшення ходових швидкостей руху;

- зменшення довжини перегонів;
- більш досконалі пристрої автоматики і зв'язку;
- ущільнення графіка руху поїздів;
- спорудження додаткових головних колій.

Один з найбільш ефективних комплексних заходів – заміна тяги тепловоза електричною, при якій завжди істотно збільшуються швидкості руху і в певних умовах підвищується маса поїзда. Поряд з пропускною і провізною здатністю перегонів у необхідних випадках збільшують пропускну здатність і інших елементів комплексу технічних пристроїв залізничної лінії: станцій, пристроїв електропостачання, локомотивного господарства, залізничної колії.

Слід зазначити, що опанувати зростаючі перевезення можна не тільки збільшуючи наявну провізну спроможність, а й скорочуючи потрібну, раціоналізуючи транспортні зв'язки між регіонами в умовах ринку. До вибору способів посилення пропускної і провізної здатності необхідно взяти заходів до усунення нераціональних перевезень, правильному розподілу вантажопотоків між різними видами транспорту, а також максимального скорочення сезонної, місячної та добової нерівномірності роботи. Способи збільшення пропускної і провізної спроможності залізниць треба вибирати, всебічно оцінюючи їх технічні, експлуатаційні та економічні показники. При цьому розробці заходів, що вимагають істотних капітальних витрат, має передувати ретельний розгляд можливостей поліпшення використання наявних технічних засобів, застосування передових методів і прийомів праці, вишукування резервів.

У зв'язку з тим що обсяг вантажних і пасажирських перевезень збільшується найчастіше безперервно, а рівень наявної пропускної і провізної здатності ліній можна збільшити, як правило, дискретно (ступенями), найбільш ефективно поетапне здійснення заходів. При цьому необхідно вибрати таку їх послідовність (з числа технічно можливих) і такі

терміни експлуатації лінії між суміжними заходами, при яких сумарні витрати, пов'язані з оволодінням перевезеннями, мінімальні. На рис. 3.3 показано, що при заданому вантажопотоці $\Gamma_H(t)$ послідовне проведення кожного із заходів збільшує наявну провізну спроможність до рівня $\Gamma_H(t)$. Заштрихована площа на діаграмі означає запас провізної здатності на перегонах понад необхідного резерву. Заходи здійснюються у строки $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n-1}$. Періоди експлуатації лінії між суміжними заходами - етапи.

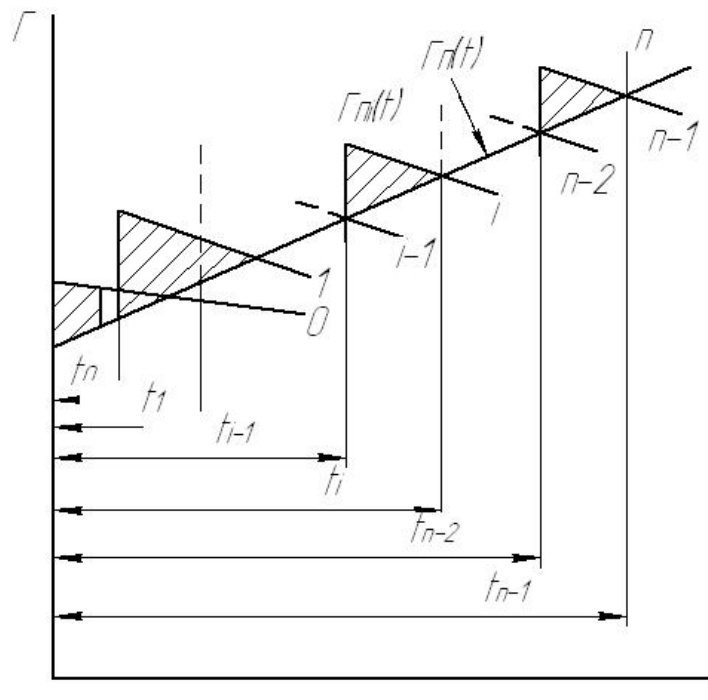


Рис. 3.3. Діаграма поетапного оволодіння перевезеннями на лінії

Щоб оптимізувати етапне посилення пропускної спроможності лінії, розробляють економіко-математичну модель розвитку її технічного оснащення та виконання зростаючих в перспективі перевезень. У загальному вигляді цю модель можна отримати наступним чином. Привласнимо кожному з можливих на лінії n заходів довільний порядковий номер $i = 1, 2, \dots, n$. Здійснення того чи іншого заходу означає зміну відповідного йому параметра – показника технічного оснащення лінії. Так, при

подовженні станційних колій змінюється їх довжина Δl_{CT} , при введенні пакетного графіка – коефіцієнт пакетності α_n . Позначимо відповідним заходам параметри: $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_{n-1}$. Кожен захід i , отже, зміна кожного параметра будуть здійснені на лінії один раз на термін. Таким чином, елементами рішення (шуканими величинами) служать вектори значень параметрів лінії

$$\bar{l} = (l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n)$$

і термінів їх зміни

$$\bar{t} = (t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n).$$

Зміна параметрів лінії вимагає одноразових капітальних витрат, що залежать від вектора їх значень: $K_i = K_i(\bar{l})$.

Приведені до річних сумарні витрати на лінії, що змінюються в результаті зростання перевезень і посилення пропускнуої здатності, залежать від значень параметрів, що характеризують технічне оснащення, і терміну експлуатації лінії: $E = E(\bar{l}, t)$.

Сумарні приведені витрати, пов'язані з проведенням усіх заходів та здійсненням перевезень на весь період, складуть

$$E_C = \sum_{i=1}^n \frac{K_i(\bar{l})}{(1 + E_{HP})^i} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{E(\bar{l}, t)}{(1 + E_{HP})^i},$$

де E_{HP} – нормативний коефіцієнт приведення витрат.

Тепер необхідно відшукати варіант з мінімальними витратами при виконанні на кожному етапі умови; $\Gamma_{II}(t_i) = \Gamma_{Hi}(\bar{l}, t_i)$; $i = 1, 2, \dots, n$, що

означає, що наявна провізна здатність Γ_H завжди повинна бути вище або принаймні дорівнювати потрібній Γ_{II} .

Щоб перетворити представлену в загальному вигляді економіко-математичну модель етапного оволодіння перевезеннями в розрахункову і вибрати метод її оптимізації, необхідно встановити залежності перевізних витрат від технічного оснащення лінії. Слід також розкрити взаємозв'язок показників технічного оснащення, їх вплив на порівняльну ефективність способів посилення ліній в різних умовах.

3.4. Функціональна оцінка схем станцій

Питання побудови схем станційних пристроїв мають важливе теоретичне і практичне значення. Труднощі їх рішення пояснюються великою кількістю вимог до взаємного розміщення пристроїв у плані і профілі, необхідністю в кожному конкретному випадку більш повно враховувати розмаїтість місцевих умов; міркуваннями експлуатаційного характеру – забезпечення паралельності операцій, мінімуму пробігів вагонів і локомотивів, усунення складних кутових заїздів тощо.

У виборі найкращих схем велике значення має вже накопичений інженерами-проектувальниками практичний досвід, що допомагає відібрати схеми, найбільш ефективно і повно відповідному характеру станційних процесів.

Метод 1. Підрахунок кількості точок перетинання маршрутів. Кількість точок перетинання маршрутів у горловинах станції можна розглядати лише як досить наближений критерій якості схеми. Основними видами перетинань є: перетинання маршрутів прийому, маршрутів відправлення, маршрутів прийому і відправлення. Ці перетинання не рівнозначні: найбільш несприятливе перетинання маршрутів прийому потягів, тому що в цьому випадку виникають затримки потягів на перегонах.

Метод 2. Підрахунок сумарної тривалості заняття точок перетинання маршрутів. Для заданих розмірів руху по перетинанню N_1 й N_2 і тривалості заняття перетинання t_1 і t_2 визначається сума:

$$\sum_{i=1}^n N_i t_i = N_1 t_1 + N_2 t_2,$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – число пересічних маршрутів.

Знайдена сума деякою мірою дає представлення про використання пропускної здатності й експлуатаційних достоїнств схеми.

Метод 3. Імовірнісний підрахунок тривалості затримок рухомого складу на перетинаннях. Перераховані вище способи не враховують тривалості затримок рухомого складу на перетинаннях.

У найпростішому випадку сумарна тривалість затримок по кожній точці перетинання дорівнює:

для рівноправних маршрутів

$$\sum^{N_1+N_2} T_{1,2} = \frac{N_1 N_2}{2T_p} (t_1^2 + t_2^2);$$

для нерівноправних маршрутів

$$\sum^{N_2} T_{1,3} = \frac{N_1 N_2}{2T_p} (t_1 + t_2)^2,$$

де T_p – тривалість розрахункового періоду.

Для більш складних випадків запропоновані відповідні формули, що дають можливість орієнтовно оцінити величину очікуваних затримок рухомого складу. Однак порівняння розрахункових значень затримок з

результатами моделювання показує на значні погрішності розрахункових значень, звичайно в меншу сторону.

Схема шляхового розвитку станцій багато в чому визначається розташуванням на мережі і характером операцій, виконуваних на спеціалізованих групах шляхів.

Головні шляхи розташовуються в зоні, де здійснюється рух організованих потягів. Поточковий прийом потягів з перегонів на шляхи зон станційного обслуговування і зручне відправлення поїздів з цих шляхів на перегони є неодмінною передумовою раціонального проектування внутрішньостанційних з'єднань, що враховує характер виконуваних операцій у тій або іншій частині станції.

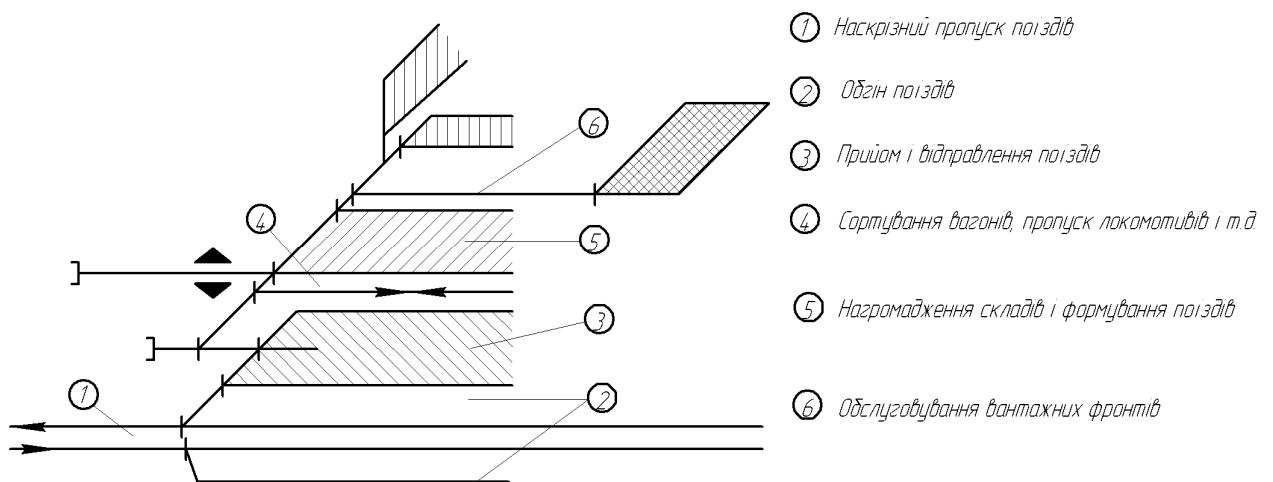


Рис. 3.4. Схема зональності шляхового розвитку станцій

Таким чином, при побудові схем шляхового розвитку великої уваги заслуговує формування найголовніших зон станцій, з перевіркою кожного елемента зони індивідуально на відповідність експлуатаційним вимогам, виходячи з характеру й обсягу виконуваних на станції операцій.

Проф. М. Поттгоффом запропонований спосіб оцінки схем шляхового розвитку, заснований на принципах теорії інформації. Суть способу полягає у визначенні ентропії шляхового розвитку

$$H = -\sum_{x=1}^n p_x \log_2 p_x,$$

де n – число шляхів у парку; p_x – імовірність проходження відчеплення на шлях x .

Якщо говорити про схему станції в цілому, то більш правильно було б оперувати не окремими шляхами і стрілочними переводами, а основними маршрутами руху – поїзними і маневровими. Коли всі маршрути розв'язані і перетинання відсутні, умовно можна вважати, що станція має «просту» схему й умови її роботи залежать не від схеми, а від «матеріального наповнення», тобто кількості станційних колій, пристроїв СЦБ, технологічних факторів. Кількісною мірою складності в цьому випадку буде показник

$$\mu_s = \frac{\sum_{x=1}^{x=s} \eta_x \log_2 \eta_x}{\sum_{x=1}^2 \eta_x \log_2 \eta_x}, \quad (3.1)$$

де s – фактична кількість конфліктних точок; n – кількість маршрутів (груп технологічних ланцюгів); η_x – імовірність надходження заявки на маршрут x .

Чисельник вираження (3.1) представляє ентропію ворожих пересувань, знаменник – критичну ентропію схеми.

Розрахуємо показник μ_s станції, що лімітує оптимальний максимальний потік заданого залізничного полігону. В даній мережі такою станцією є станція 11 – пропускна здатність її дорівнює 9 потягам на добу. Розглянемо один з шляхів збільшення пропускної здатності цієї станції (рис. 3.5).

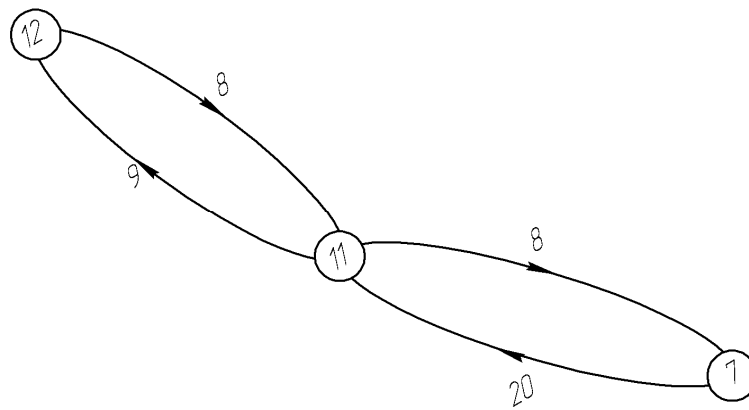


Рис. 3.5. Пропускна здатність станції 11

Визначимо показник μ_s для станції 11, схема якої наведена на рис. 3.6.

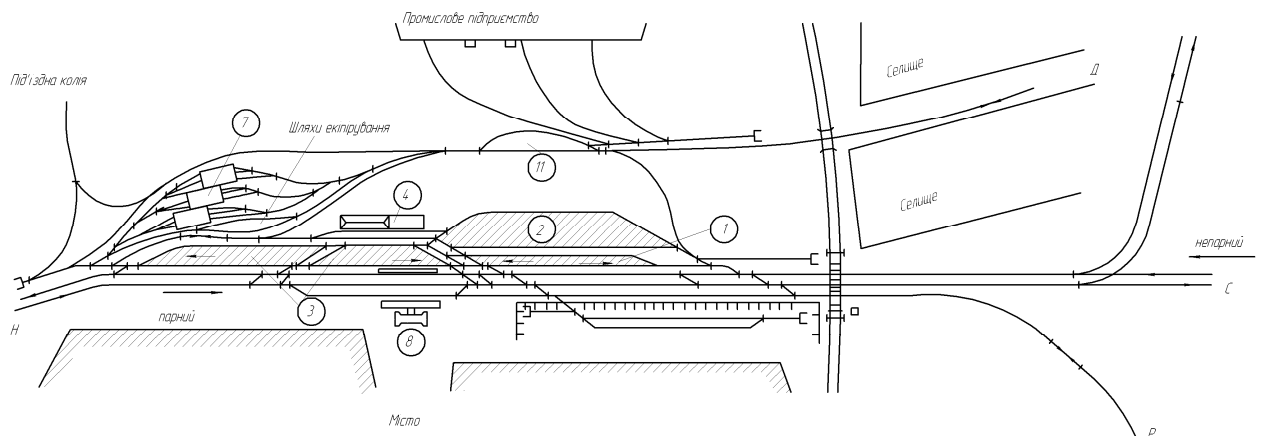


Рис. 3.6. Схема станції 11

Спростимо та узагальнимо схему станції. У першому випадку (схема 1) маємо три точки ворожих перетинань.

У першому наближенні розраховуємо максимальну пропускну здатність заданої схеми. Для заданої схеми колії 1, 2 відносяться до потоку станції С (у випадку нашого полігону залізниці станції 12), колії 3,4 – станції К (промислове підприємство), колія – станції Р (промислове підприємство), колії 6,7,8,9 – станції 11, станції, функціональна оцінка якої визначається.

Найбільша кількість перетинань потоків буде в точці 1 (потік з 1,3,5 колій в парк прийому, потоки з парку прийому і 6 колій на колії 2,4,5), тобто завантаження точки 1 по потоку буде сума дев'яти потоків. Виходячи з того,

що час заняття перетинання одним потягом однаковий для всіх напрямків
максимальна пропускна здатність перетинання дорівнює 60 потягам [7].

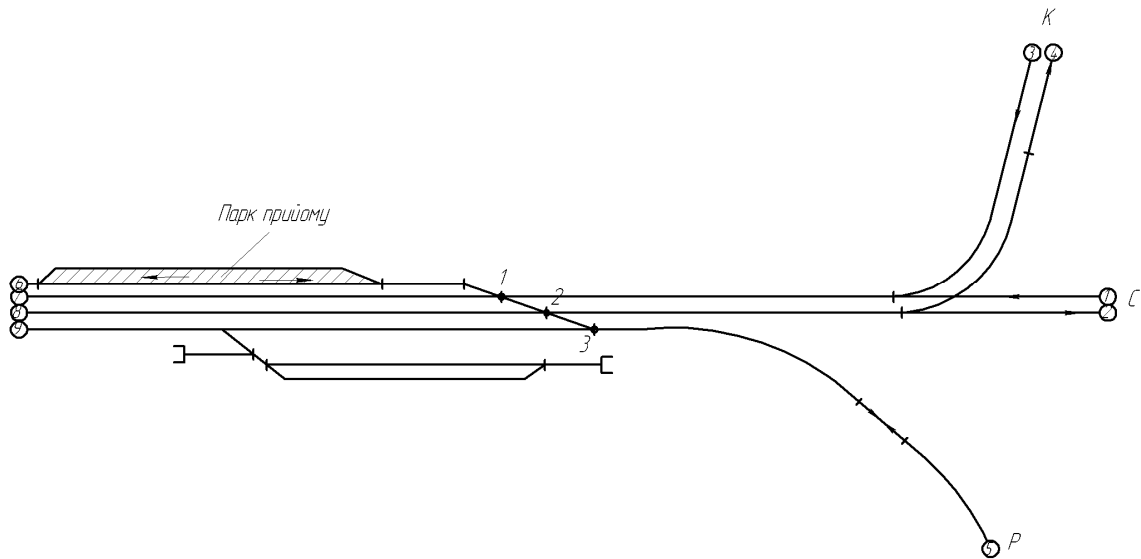


Рис. 3.7. Схема до визначення ступеня ворожості маршрутів при трьох точках ворожих перетинань

Але, варто не забувати про те, що при розрахунках реальної пропускної здатності, звичайно залишають деякий резерв пропускної здатності, що враховує ймовірність одночасного підходу поїздів і різних затримок поїздів на інших ділянках. У загальному випадку резервується приблизно 10-30% пропускної здатності.

У табл. 3.7 приведена кількість потягів, що обслуговується.

Таблиця 3.7

Характеристика потоку

C/Ha	1	2	3	4	5	6(ПП)	7	8	9
1	—	17	.	.	.
2	.	—
3	.	.	—	.	.	10	.	.	.
4	.	.	.	—
5	—	10	.	.	.
6(ПП)	.	33	.	10	10	—	.	.	.
7	—	.	.
8	—	.
9	—

Загальна кількість потягів дорівнює: $17 + 10 + 10 + 33 + 10 + 10 + 10 = 90$

У табл. 3.8 приведена характеристика структури поїздопотоків, що обслуговується, тобто розподіл сумарного потоку, прийнятого за одиницю, по маршрутах руху.

Таблиця 3.8
Характеристика структури потоку (у частках одиниці)

C/Ha	1	2	3	4	5	6(ПП)	7	8	9
1	—	0,189	.	.	.
2	.	—
3	.	.	—	.	.	0,111	.	.	.
4	.	.	.	—
5	—	0,111	.	.	.
6(ПП)	.	0,367	.	0,111	0,111	—	.	.	.
7	—	.	.
8	—	.
9	—

З даної таблиці для кожної з точок перетинання маршрутів визначені величини η_x (табл. 3.9). Порядок обчислення цих величин наступний. Відповідно до прийнятої схеми й розподілу руху по маршрутах встановлюється завантаження кожної з розглянутих точок (рис. 3.8) шляхом підсумовування потоків, що накладаються.

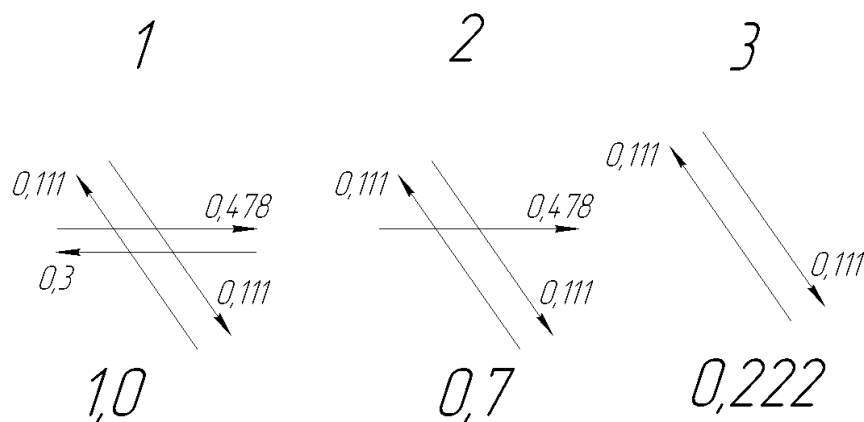


Рис. 3.8. Перетинання в точках

Таблиця 3.9.

Значення η_x				
Точки	1	2	3	Σ
η_x по потоці	1,0	0,7	0,222	1,922
по точках	0,52	0,364	0,116	1,00

Аналогічно підраховуються відповідні величини для інших точок схеми. Далі визначається сумарне завантаження потоками всіх точок перетинання, при цьому величини η_x по потоках виражаються також у частках одиниці (табл. 3.9). Таким чином, маються всі необхідні дані для підрахунку μ_s для схеми I

$$\begin{aligned} \sum_{x=1}^{s=3} \eta_x \log_2 \eta_x &= 0,52 \log_2 0,52 + 0,364 \log_2 0,364 + 0,116 \log_2 0,116 = \\ &= -0,52 \cdot 0,943 - 0,364 \cdot 1,458 - 0,116 \cdot 3,108 = \\ &= -(0,49 + 0,531 + 0,36) = -1,381 \end{aligned}$$

для якої показник

$$\mu_{s_I} = \frac{\sum_{x=1}^{s=3} \eta_x \log_2 \eta_x}{\sum_{x=1}^2 \eta_x \log_2 \eta_x} = \frac{-1,381}{-1,381} = 1,00.$$

Але, тому що 5 потягів на добу йдуть зі станції Р до станції К (заходячи до станції 11) і таж сама кількість йде в зворотному напрямку, то побудова шляхопроводу, як показано на рис. 3.8 може збільшити, по-перше, пропускну здатність станції 11, по-друге, зменшити показник складності ворожих перетинань μ_s , хоча кількість перетинань не зменшиться.

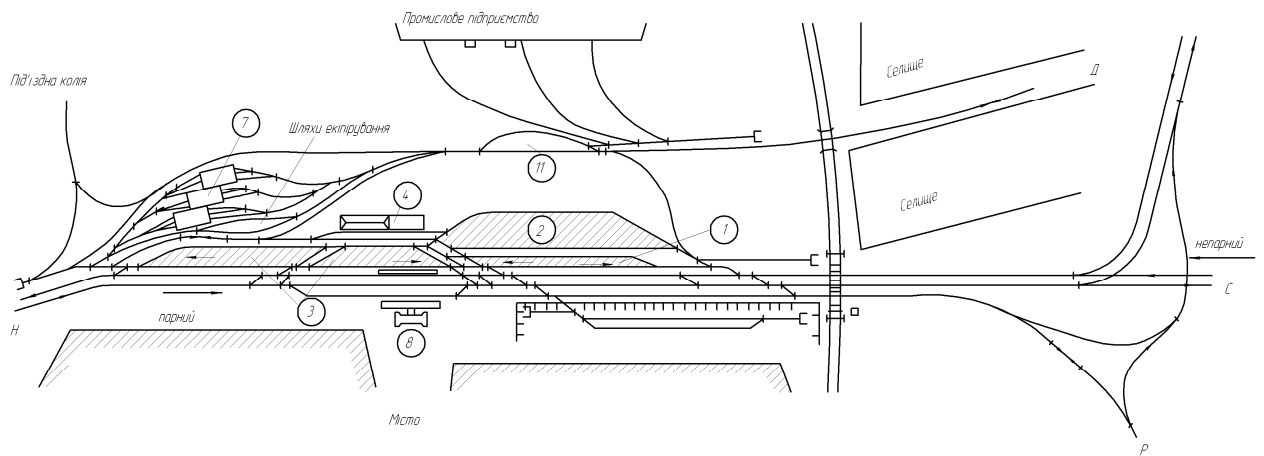


Рис. 3.9. Схема станції 11 після перебудови

Спростимо та узагальнимо схему станції. У другому випадку (схема II) маємо три точки ворожих перетинань.

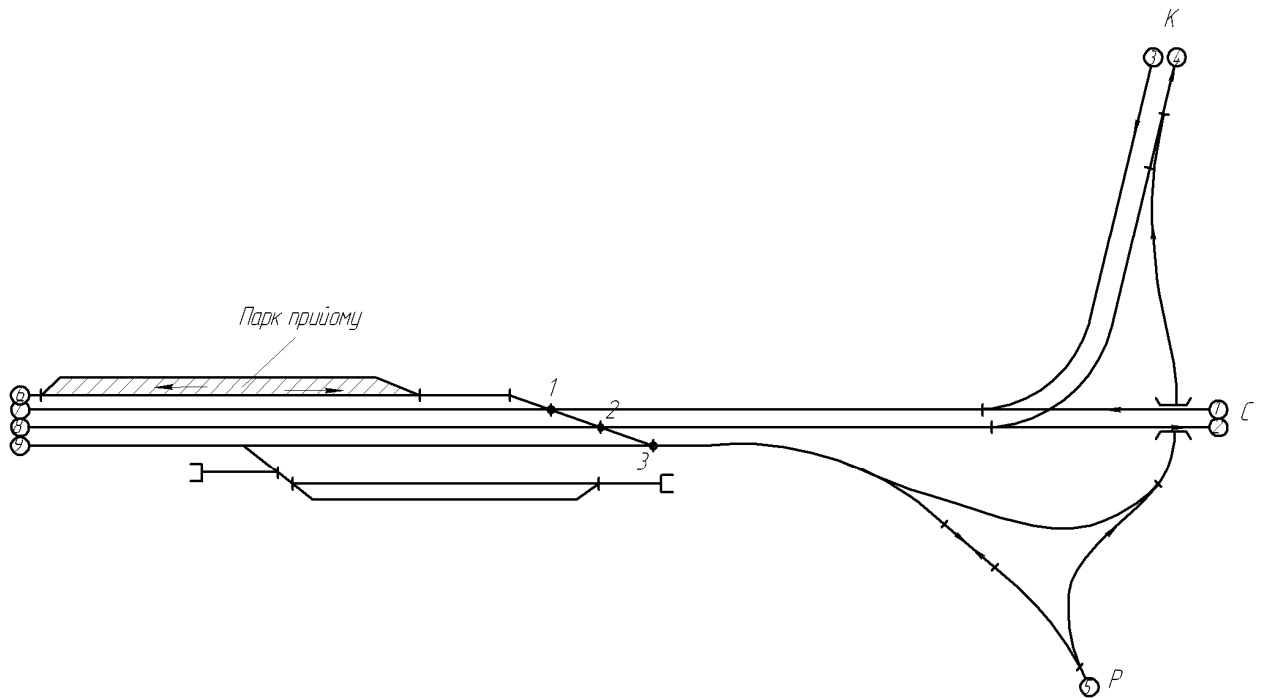


Рис. 3.10. Схема до визначення ступеня ворожості маршрутів при трьох точках ворожих перетинань

У табл. 3.10 приведена кількість потягів, що обслуговується.

Загальна кількість потягів дорівнює:

$$27 + 5 + 5 + 5 + 5 + 43 + 5 + 5 + 5 + 5 = 110$$

У табл. 3.11 приведена характеристика структури поїздопотоків, що обслуговується, тобто розподіл сумарного потоку, прийнятого за одиницю, по маршрутах руху.

Таблиця 3.10

Характеристика потоку

C/Ha	1	2	3	4	5	6(ПП)	7	8	9
1	—	27	.	.	.
2	.	—
3	.	.	—	.	5	5	.	.	.
4	.	.	.	—
5	.	.	.	5	—	5	.	.	.
6(ПП)	.	43	.	5	5	—	.	.	.
7	—	.	.
8	—	.
9	—

Таблиця 3.11

Характеристика структури потоку (у частках одиниці)

C/Ha	1	2	3	4	5	6(ПП)	7	8	9
1	—	0,245	.	.	.
2	.	—
3	.	.	—	.	0,045	0,045	.	.	.
4	.	.	.	—
5	.	.	.	0,045	—	0,045	.	.	.
6(ПП)	.	0,391	.	0,045	0,045	—	.	.	.
7	—	.	.
8	—	.
9	—

З даної таблиці для кожної з точок перетинання маршрутів визначені величини η_x (табл. 3.12). Порядок обчислення цих величин наступний. Відповідно до прийнятої схеми й розподілу руху по маршрутах встановлюється завантаження кожної з розглянутих точок (рис. 3.9) шляхом підсумовування потоків, що накладаються.

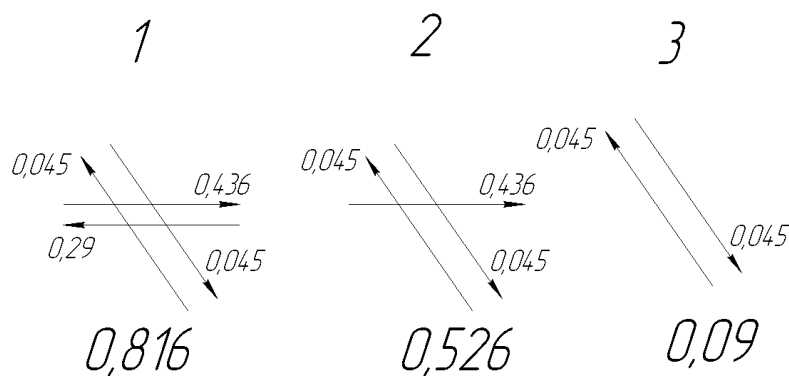


Рис. 3.11. Перетинання в точках

Таблиця 3.12.

Значення η_x				
Точки	1	2	3	Σ
η_x по потоці	0,816	0,526	0,09	1,432
по точках	0,57	0,367	0,063	1,00

Аналогічно підраховуються відповідні величини для інших точок схеми. Далі визначається сумарне завантаження потоками всіх точок перетинання, при цьому величини η_x по потоках виражаються також у частках одиниці (табл. 3.12). Таким чином, маються всі необхідні дані для підрахунку μ_s для схеми II

$$\begin{aligned} \sum_{x=1}^{s=3} \eta_x \log_2 \eta_x &= 0,57 \log_2 0,57 + 0,367 \log_2 0,367 + 0,063 \log_2 0,063 = \\ &= -0,57 \cdot 0,811 - 0,367 \cdot 1,446 - 0,063 \cdot 3,99 = \\ &= -(0,46 + 0,53 + 0,25) = -1,24 \end{aligned}$$

$$\text{для якої показник } \mu_{s_{II}} = \frac{\sum_{x=1}^{s=3} \eta_x \log_2 \eta_x}{\sum_{x=1}^2 \eta_x \log_2 \eta_x} = \frac{-1,24}{-1,381} = 0,89.$$

Таким чином, у порівнянні зі схемою *I*, побудова шляхопроводу призводить до збільшення пропускної здатності на 20 потягів, і збільшення пропускної здатності зі станції 11 до станції 12 з 9 потягів до 19, тобто на десять потягів. Зменшення показника μ_s для схеми *II* призводить до зменшення витрат на обслуговування і експлуатацію постійних пристроїв розв'язки.

ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі організовано транспортні потоки залізничного полігону. Виявлено, що поряд з факторами, що негативно діють на виконання графіка руху, є й позитивні, насамперед резерв потужності локомотивів при проходженні з неповновагими поїздами. Фактично середня вага поїздів на 10-15% менше норми, що дозволяє їм йти з більшою швидкістю, чим передбачено графіком. Зміна порядку пропуску поїздів на одноколійних ділянках дозволяє скоротити число схрещень поїздів і тривалість їх стоянки на станціях у порівнянні з максимальним графіком. Вирішального значення для скорочення затримок поїздів має оптимізація регулювання завантаженням ділянок і станцій.

2. Розроблено блок-схему алгоритму розрахунку шляху найменшої довжини, та складено програму розрахунку. Проаналізувавши результати розрахунку за алгоритмом Дейкстри можна зробити висновок, що є чотири маршрути, причому шляхом найменшої довжини є шлях $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (7) \Rightarrow (8) \Rightarrow (13)$ із довжиною 331 км, але шляхом, що потребує найменших витрат є шлях $(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (4) \Rightarrow (7) \Rightarrow (11) \Rightarrow (12) \Rightarrow (13)$, при якому витрати на перевезення складуть 33322 шв. фр., що на 1402 шв. фр. менше ніж при перевезенні шляхом найменшої довжини.

3. Величина максимального потоку дорівнює 27 потягів на добу. При чому маршрут, що має мінімальну собівартість перевезень, вичерпано до кінця через станцію 11, у якої максимальна пропускна здатність дорівнює 9 потягам на добу. Якщо збільшити пропускну здатність станції 9, то можливе збільшення потоку за оптимальним маршрутом, що зменшить собівартість перевезень загалом у залізничному полігоні.

4. За результатами функціональної оцінки схеми станції виявлено, що побудова шляхопроводу призводить до збільшення пропускної здатності на 20 потягів, і збільшення пропускної здатності зі станції 11 до станції 12 з 9 потягів до 19, тобто на десять потягів. Зменшення показника μ_s для схеми II призводить до зменшення витрат на обслуговування і експлуатацію постійних пристроїв розв'язки.

5. Оптимізація транспортного потоку залізничного полігону і побудова шляхопроводної розв'язки на станції 11 полігону (що дозволило збільшити пропускну здатність станції) призводить до економічного ефекту рівного 182,32 тис. грн. на рік.