

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 275.02 – Транспортні технології (на залізничному транспорті)

на тему: «Удосконалення графіка переробки транзитного вагону на дільничній станції»

Виконав: студентка групи ОПЗТ-19зм  
Берко Е.М.

(підпис)

Керівник: проф. Роговий А.С.

(підпис)

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

(підпис)

Рецензент: Волкова Н.В.

(підпис)

Северодонецьк – 2021

## ВСТУП

Залізниці країни виконують велику частину вантажних і пасажирських перевезень, розміри яких, у силу об'єктивних обставин, безупинно ростуть і для успішного їхнього освоєння необхідно вдосконалювати відповідні технічні пристрої й технологію обробки поїздів.

У зв'язку з цим станції й вузли є найважливішими елементами залізничного транспорту. На них розташовані парки колій, пасажирські й вантажні служби, локомотивне й вагонне господарства, пристрої енерго- і водопостачання, склади, службово-технічні будівлі й інші споруди й пристрої, при цьому довжина станційних колій становить приблизно 60% експлуатаційної довжини залізниць.

У цьому ряді проміжні й дільничні станції обслуговують вантажні перевезення на 80% території країни. Вони забезпечують прийом, відправлення й пропуск вантажів, на них виконуються вантажні й пасажирські операції, розформовуються й формуються состави, обслуговуються під'їзні колії підприємств.

Раціональний розвиток і сучасне технічне оснащення станцій, а також чітка організація їхньої роботи - найважливіша умова, яка забезпечує успішне виконання пасажирських і вантажних перевезень, прискорення оборотів вагонів і доставки вантажів й, як наслідок, гармонічний розвиток економіки обслуговуємого регіону. Також важливо відмітити, що розвиток залізничної станції повинен здійснюватися як елемент єдиної транспортної системи, з урахуванням взаємодії залізничного транспорту з іншими місцевими видами транспорту й ув'язування із проектами розвитку регіону.

### **Актуальність теми**

Сучасна економічна політика України потребує вирішення проблем ефективного роздержавлення природних монополій в суспільно важливих секторах економіки. Одним з таких важливих секторів є залізниця. Вивчення проблеми роздержавлення передбачає вирішення поточних господарських та

управлінських оперативних задач короткострокового характеру, а також розробку концепції стійкого розвитку залізниці в умовах реформування.

В Україні реформування залізничної галузі здійснюється відповідно до положень законодавчої бази України, зокрема Державної програми реформування залізничного транспорту, затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1390 від 16 грудня 2009 р. Пріоритетними напрямками реформування є: по-перше, розмежування в системі залізничного транспорту природно-монопольного та конкурентного секторів, створення умов для демонополізації окремих сфер діяльності та розвитку конкуренції, забезпечення доступності інфраструктури для користувачів; по-друге, створення єдиного суб'єкта господарювання на базі «Укрзалізниці», залізниць та інших підприємств, організацій, розмежування господарських функцій і функцій державного управління; по-третє, вдосконалення системи тарифів на послуги залізничного транспорту.

До числа нових ефективних методів планування й управління виробничими й транспортними процесами відноситься сіткове планування й управління. Останнім часом воно одержало широке поширення у всіляких областях виробництва, у тому числі й на залізничному, автомобільному й іншому видах транспорту. Особливість методів сіткового планування – можливість у графічній формі представити виробничий процес, чітко виразити послідовність і логічний взаємозв'язок окремих робіт, що становлять процес, виявити критичні роботи й зосередити на них увагу. Сіткове планування та управління дозволяє найбільш ефективно використати ресурси, щоб максимально скоротити час виконання всього процесу.

Одним із основних напрямків підвищення ефективності роботи залізничного транспорту є прискорення обігу рухомого складу за рахунок зменшення часу при виконанні технологічних операцій та в їх очікуванні. В теперішній час найбільша частина обігу (понад 40%) припадає на станції з вантажними операціями, де операції вантаження і вивантаження переважно виконуються на під'їзних коліях промислових підприємств. Однією з причин не-

задовільної роботи структурних підрозділів залізниці є невідповідність технології і організації взаємодії між під'їзними коліями і станціями примикання вимогам ринкової економіки.

**Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами.**

Магістерська робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, які визначені у Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. за № 1555-р), а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконуються Східноукраїнським національним університетом імені Володимира Даля.

**Мета і задачі дослідження.**

Удосконалення графіку переробки транзитного вагону на дільничній залізничній станції

**Об'єкт дослідження.** Технологічні графіки роботи з транзитними вагонами на дільничній станції

**Предмет дослідження.** Оптимальний графік переробки транзитного вагону на дільничній станції.

**Методи дослідження.** Методи дослідження операцій та теорії ймовірностей. Порівняльно-аналітичні, математичне моделювання, лінійне програмування, методи математичної статистики

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

1. Удосконалено графік обробки транзитного вагону на дільничній залізничній станції за допомогою сіткового планування, що дозволило скоротити час обробки транзитного вагону на 35%.

2. За допомогою статистичного аналізу виконано розрахунок інтервалу прибуття поїздів на станцію за допомогою графіку руху поїздів. Побудовано гістограму розподілу ймовірності інтервалу, та знайдено його математичне очікування.

## **Практичне значення отриманих результатів.**

1. За допомогою методів сіткового планування скорочено час на переробку транзитного вагону на станції, оптимізований критичний шлях становить 70 хв, тобто скорочений у порівнянні з попереднім на 40 хв. При середньодобовій переробці на станції 4000 вагонів це дозволяє зберегти 973 000 вагоно-год на рік. Робочий парк знижується на 110 вагонів, що переробляють, на добу.

2. Можливо й подальше скорочення тривалості критичного шляху. Для цього треба продовжити аналіз, розглядаючи кожну роботу як окремий процес і зобразивши його за допомогою сіткового графіка. Домігшись скорочення якої-небудь із робіт, необхідно перешикувати мережу, знову визначити критичний шлях і проаналізувати роботи, які його становлять.

# 1. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

## 1.1. Коротка характеристика деяких математичних методів, що використовуються в транспортних розрахунках

Методи, що застосовуються при дослідженні транспортних процесів на даний час, можна умовно підрозділити на описові й математичні. Описові методи не дають кількісної міри для оцінки досліджуваних процесів. Тому нижче розглядаються в основному математичні методи, що одержали широке поширення в останні роки. У них насамперед потрібно відзначити існування двох напрямків: детерміністського й імовірнісного.

У першому випадку залізничний транспорт розглядається як своєрідний механізм, а його складові частини – станції, вузли, дільниці, напрямки – як його ланки, причому зв'язок між елементами представляють у вигляді жорстких аналітичних залежностей. У другому випадку виходять із передумови, що експлуатаційні процеси носять імовірнісний, кореляційний, а не однозначно детермінований характер. Часто обидва ці підходи сполучаються у формі середньозважених величин (вага поїздів, час ходу, інтервал й т.п.) і експлуатаційних констант (коефіцієнти знімання, параметр накопичення й т.п.), значення яких устанавлюється на підставі спостережень й імовірнісних уявлень про процеси. Такий метод більш обґрунтований, тому що транспортний процес, що включає елемент випадковості, не являє собою, однак, чисто випадкового процесу; у ньому винятково висока роль «організованої» складової – графіка руху поїздів, технологічних процесів і схем. Тому формули, розроблені на підставі тільки імовірнісного або детерміністського підходу до транспортних процесів, часто не відповідають існуючій системі роботи транспорту [1].

З математичних методів на транспорті в цей час велике поширення одержали багато різновидів методу лінійного програмування. У задачах лі-

нійного програмування умови, що накладають на область припустимих значень змінних, визначаються системою лінійних нерівностей або рівностей, при цьому шукана величина є також лінійною функцією тих же змінних.

Сутність лінійного програмування досить характеризує рішення транспортної задачі. У результаті рішення задачі виходять строго визначені й постійні оптимальні значення шуканих величин. Якщо умови перевезень змінилися, а схема прикріплення постачальників до споживачів залишилася колишньою то розрахунковий оптимум може перестати відповідати мінімуму витрат. Правда, на умови, що змінилися, можна розрахувати новий варіант прикріплення постачальників до споживачів, але перейти від одного плану перевезення до іншому часто буває досить складно. Не можна миттєво перерозподілити вантажопотоки й тим більше перенести шляхи сполучення, побудовані на першому етапі, на нові траси. У цьому змісті лінійне програмування дає оптимум даного статичного стану, а не оптимум процесу зміни або розвитку [2, 3].

Вихід з положення, що створилося, із застосуванням теорії транспортної задачі лінійного програмування на реальному транспорті є подальше вдосконалення методів математичного програмування, у розробці методів цілочислового, параметричного, стохастичного програмування й т.п.

З використанням методу цілочислового програмування вирішуються фактично ті ж статичні задачі, у яких змінні по своєму фізичному змісті можуть приймати лише обмежене число дискретних значень і виражатися тільки в цілих числах.

Параметричне програмування використовується не стільки для відбиття динаміки процесів, скільки для врахування впливу варіації окремих параметрів задачі в деяких межах.

Одним з різновидів теорії графів є методи сіткового планування. Сіткові графіки можуть ефективно служити для управління складними розгалуженими процесами, досить тривалими за часом. Тільки при цьому умова знаходження критичного шляху має сенс: періодичність надходження інформації

про протікання процесів у системі повинна відповідати реальним можливостям управління цими процесами. За допомогою сіткових графіків можна досягти погодженості окремих операцій і процесів по тривалості й черговості, але говорити про безумовний вихід наприкінці циклу на якийсь оптимальний показник, заздалегідь розрахований, тут також не доводиться. Дія багатьох об'єктивних факторів може повести процес зовсім не так, як передбачалося, і в підсумку можна констатувати, що при відсутності графіка справи могли обстояти значно гірше.

Деякі недоліки, властиві лінійному програмуванню, усуваються застосуванням так званих комбінаторних методів. Сучасний рівень розробленості комбінаторних методів для рішення задач транспорту (план формування поїздів, розміщення пристроїв у транспортних вузлах й ін.) не дає картини, що розгортається в часі, розвитку процесу або об'єкта, тому що елементи, що комбінуються, як правило, перебувають у статичному, наперед заданому стані. Комбінаторика, проте, залишається важливим інструментом рішення складних компонувальних задач, наприклад, при побудові схем вузлових пунктів мережі [4].

З методів, заснованих на теорії ймовірностей, необхідно відзначити теорію ігор і прийняття рішень, що вивчає математичні моделі, де учасники (гравці) мають різні інтереси й мають для досягнення своїх цілей більш-менш вільно обрані шляхи (стратегії). Кожний з учасників може впливати на результат, але не може його визначити. З іншого боку, результат не може бути чисто випадковим. Теорія ігор розглядає задачу вибору оптимального поведіння з урахуванням можливих дій всіх учасників і випадкових факторів. Як стратегії часто приймаються функції часу, але процеси розвитку в системах не завжди можуть бути заздалегідь задані якими-небудь функціями.

Кібернетика, виникнувши як «наука про управління й зв'язок у тварині й машині», необхідна для дослідження живих і подібних їм штучних систем, надалі зосередила свою увагу винятково на управлінні різними об'єктами. При рішенні різних складних комплексних задач зустрівся цілий ряд прин-



ципових утруднень, перебороти які намагається новий науковий напрямок, що стрімко розвивається – теорія систем [5-8].

Теорія систем виходить із того, що управління не можна вивчати у відриві, ізольовано від системи, якою управляють, і прагне вивчати не управління як таке, а всю сукупність процесів життєдіяльності системи, для якої управління – лише одна з важливих її сторін. У цьому зв'язку виникає ряд питань, пов'язаних із застосуванням математики, яка знаходить усе більш широке застосування не тільки в технічних, але й в економічних науках [9-11].

Якщо об'єкти вивчення природних й інженерних наук – реальності, що існують у природі, то математика має справу з «чистими» абстракціями, які можуть служити інструментом для розгляду кількісних характеристик у будь-якій області буття. Довести строго математично, наприклад, що транспортні вузли повинні розвиватися в одному чи іншому певному напрямку, неможливо, тому що розвиток транспортних вузлів не відноситься до абстрактного миру математики, а підкоряється іншим законам. Математика дає в розпорядження вчених лише відповідну абстрактну структуру, придатну для створення моделей тих або інших реальних об'єктів, визначаючи тим найвищий ступінь спільності їх розуміння. У цьому сила й слабкість математичних абстракцій: при формалізації складних наукових задач все більше число окремих властивостей реальних об'єктів, випадає з поля зору дослідника. Таким чином, кожна математична залежність є наближеним відображенням реального миру.

Інакше кажучи, математичні методи, узяті поза зв'язком з конкретними особливостями часу й станом транспорту, не можуть породити вірного уявлення про розвиток транспортної системи, охопити різні аспекти взаємодії її елементів і процесів, дати цілеспрямовані рекомендації для практики.

Єдиним критерієм істинності теорій була й залишається практика, досвід. Кожен об'єкт дослідження має свої власні закони розвитку, зрозуміти які

прагне наука. Щодо цього необхідний як нематематичний (описовий), так і математичний (формальний) підхід до вивчення матеріальних об'єктів.

Коли мовою математики записуються характеристики реальних об'єктів, а потім над цими записами (рівняннями) виробляються формальні дії за законами математики, то при цьому втрачаються конкретність відносин і зв'язків між елементами об'єкта. Нехай для якогось транспортного об'єкта (системи) знайдена деяка функція  $y = F(x)$ . Наприклад, пропускна здатність станції якось залежить від її шляхового розвитку. Але матеріальний зміст виробничої системи – це не тільки кількість, але й певна якість. Так, пропускна здатність станції визначається не тільки кількістю шляхів, але й прийнятою схемою їх взаємного з'єднання, угруповання в парки, прийнятим порядком використання й т.п. Отже, у практичних задачах залежність

$$y = F(x)$$

завжди трансформується в залежність виду

$$y = F(M, S),$$

де  $M$  – маса, кількість матеріального змісту виробничої системи ( $M = \sum x$ );  
 $S$  – якість матеріального змісту, організації системи.

Поліпшенням організації  $S$  можна компенсувати недолік кількості  $M$ , однак просте збільшення  $M$  понад певної границі не може підвищити продуктивність системи  $y$ , якщо не буде відповідним чином поліпшена організація системи  $S$ .

Отже, на питання, чому не можна формальними перетвореннями, узяти з реальної дійсності залежностей  $y = F(x)$ , одержувати правдивий ре-

зультат, можна відповісти: тому, що в дійсності має місце інша залежність  $y = F(M, S)$ , і що зі зміною  $M$  змінюється й організація  $S$ .

При дослідженні складних систем користування залежностями виду  $y = F(x)$  можливо й припустимо тільки у вузьких межах, коли зміна  $x$  не веде до зміни організації об'єкта.

## 1.2. Сутність системного підходу до об'єкта дослідження

Уже в XIX ст. на перший план у практиці, а, отже, і в науці стали висуватися складно організовані системні об'єкти – фізичні структури, живі організми, суспільство. У науку все більш владно вторгаються такі, майже не властиві неорганізованим об'єктам неорганічного світу поняття, як організація, саморегулювання, управління й, нарешті, розвиток.

Найвизначніші математики займалися дослідженням системних об'єктів у рамках колишнього, чисто кількісного підходу. Але потім завдяки таким вченим як Берталанфі, Гуд, Маккол та ін. розвивається такий напрямок, як теорія систем. В останні роки системний метод дослідження став проникати й у суспільні науки – філософію, історію й соціологію.

Говорячи про системний підхід стосовно залізничного транспорту, потрібно мати на увазі, що він не сумісний з механічними моделями в образних поданнях транспорту і його окремих процесів. Системний метод виходить із того, що транспортна мережа і її об'єкти – не машина (конвеєр або годинний механізм), але в той же час і не «чорна скриня». Вона є складним структурним утворенням, організованою сукупністю елементів.

Спроби вести дослідження й оптимізацію транспортних процесів в обхід категорії організації неминуче виливаються в екстраполяцію методів, що зложилися на вивченні неорганізованої природи, на організовані системи, і це може не дати правильних рішень. Використання таких методів звичайно приводить лише до знаходження умовних оптимумів. Сказане не заперечує

необхідності точної кількісної оцінки. Мова йде лише про неприпустимість використання методів, що не відповідають природі досліджуваних об'єктів [12, 13].

Як вихідні принципи системного підходу до транспортних вузлів приймаються наступні положення:

а) розвиток транспортної системи, включаючи станції й вузли, визначається комплексом вимог економічного, соціального, політичного й оборонного характеру, що об'єктивно впливають із умов функціонування господарського організму;

б) послідовне вдосконалювання організації транспортної системи розглядається як закономірний шлях її розвитку;

в) специфічними рисами розвитку транспортної системи є виникнення нових якостей і властивостей, що не можна зводити до колишніх, розширення інформаційних функцій, диференціація (спеціалізація) і інтеграція (кооперування) її частин;

г) історичність формування мережі (кожен наступний етап впливає з попереднього, обумовлюючи органічний зв'язок минулого транспортної системи з її сьогодишнім днем), ієрархічність її структури й нелінійність властивостей є обов'язковими моментами наукового аналізу процесів розвитку.

Системний (комплексний) підхід до проблеми транспортних вузлів дає можливість ясніше бачити альтернативні рішення й шляхи підвищення ефективності розвитку транспортної мережі. У цьому полягає основний зміст комплексності і її головна методологічна цінність. Відповідно до викладених принципів транспортні комплекси повинні розглядатися як частина єдиної транспортної системи країни з виділенням загальносистемових задач, питань формування вузлових пунктів мережі й побудови (з кількісною і якісною оцінкою) їх схем.

### 1.3. Моделі й моделювання

Моделі й моделювання відомі ще із глибокої давності, але у своєму теперішньому виді метод моделювання оформився в результаті зближення галузей сучасного наукового пізнання. Моделі можуть виконувати найрізноманітніші функції: описові, виміру, обробки емпіричних даних, пояснювальні, передбачувальні, пізнавальні. Основне призначення системотехнічних моделей транспортних комплексів – одержання якісних характеристик об'єкта кількісними методами й виявлення «вузьких» місць.

Відмінною рисою процедури моделювання є повна відсутність яких-небудь реальних взаємодій між моделлю й оригіналом. У процесі моделювання встановлюється тільки контрольований інформаційний зв'язок об'єкта з моделлю. Наявний запас знань про оригінал переноситься на модель, випробування якої, у свою чергу, збагачує наші знання про сторони, що нас цікавлять, структуру або функції об'єкта. Модель характеризує об'єкт у деякому пізнавальному відношенні, а не об'єкт у цілому сам по собі.

Обов'язковою складовою частиною процедури моделювання на стадії вибору моделі й переносу отриманих моделюванням нових знань на оригінал є абстракція ототожнення, від рівня проведення якої залежить цінність одержуваних при моделюванні результатів. Абстракція ототожнення має верхню й нижню межі, за границями яких застосування методу моделювання губить зміст, тому що модель й оригінал як два об'єкти виходять або абсолютно тождними, або настільки різними, що вивчення поведінки випробовуваної моделі нічого не дає для пізнання реального об'єкта.

Зупинимося коротко на суті статистичних методів моделювання, застосовуваних на залізничному транспорті, які ще називають імітаційним моделюванням. Звичайно такі методи призначаються для проведення розрахунків на ПК по нормуванню простоїв вагонів і вантажно-розвантажувальних механізмів, а також оптимізації параметрів оригіналу. Оптимізуються число й режими роботи засобів механізації, маневрових локомотивів, місткість вантаж-

них фронтів, прирейкових складів і станційних колій. Методики й програми для ПК, а також різного роду допущення й функціональні залежності розробляються стосовно до окремих випадків, наприклад, конкретним станціям (пасажирським, вантажним або сортувальним), причому з дуже обмеженою кількістю елементів (10-15). В основі методик лежить один з методів дослідження операцій – метод статистичних випробувань (Монте-Карло). Це емпіричний метод, характеристики окремих ланок у якому визначаються статистично.

Для кожного компонента процесу складається кінцева вибірка – перераховуються деякі можливі результати й кожному з них приписується певна частота появи, що відповідає відомому розподілу ймовірностей. Потім у модель системи подається повідомлення: за допомогою випадкових чисел одержують по черзі реалізацію для кожної ланки. Поводження системи в цілому реєструється як функція синтетичних даних, тобто реалізацій у кожній з ланок. Вивчаючи результати, одержують відповідь на поставлені питання.

Метод статистичних випробувань застосовується для моделювання переважно імовірнісних систем, реалізація процесу в кожній з ланок яких випадкова, хоча для взаємодіючих явищ можуть бути введені кореляційні залежності. Потрібно сказати, що це дуже трудомісткий метод, що вимагає для свого застосування й забезпечення необхідної вірогідності попереднього збору, накопичення й статистичної обробки дуже великого обсягу інформації, для деяких видів станційної інформації, наприклад за ряд років її експлуатації.

Так, для практичного застосування методу статистичних випробувань при моделюванні роботи одного з типів вантажних станцій потрібно попередньо зібрати велику кількість статистичного матеріалу, заснованого на безпосередніх спостереженнях (хронометраж, фотографія робочого дня й т.д.) і, який береться з різного роду звітних документів. Далі, попереднім розрахунком визначаються численні функції розподілу параметрів системи.

Розрахунок кожної з функцій розподілу звичайно виробляється на основі об'єму вибірки в 200-500 спостережень за період, що іноді перевищує один рік, на реальному об'єкті. Потім потрібно провести роботу з уточнення параметрів системи, що моделюється, і що підлягають розрахунку; прийняти необхідні допущення.

Сказане вище відноситься до існуючих систем. Для проєктованих систем задача часто стає невизначеною, тому що можлива множина «оптимальних» рішень, що відповідають різним теоретичним законам розподілу вхідних потоків вагонів, часу їхнього обслуговування й т.д.

Залежність реалізації процесу на якій-небудь ланці реальної транспортної системи від поведінки інших ланок приводить до того, що чисто статистична модель, у яку не уведені численні кореляційні залежності, недостатньо характеризує об'єкт у пізнавальному відношенні.

Будь-яка модель не може бути просто повторенням об'єкта, але вона й не повинна відрізнятися від нього в істотних своїх властивостях. Які із властивостей об'єкта вважати істотними, і які несуттєвими, залежить від конкретної задачі, поставленої при моделюванні. Побудова моделі дає можливість проводити «комп'ютерні» експерименти, міняючи умови задачі й простежуючи вплив окремих факторів, і дозволяє тим самим перевірити висунуті гіпотези й припущення.

#### **1.4. Побудова моделі транспортної системи і її оцінка**

Транспортну систему в найбільш загальному виді можна вважати такою, що складається з неоднорідних пристроїв (елементів) різної складності, взаємодіючих з потоком «заявок» – поїздів.

Від простого скупчення елементів транспортний вузол як система відрізняється тим, що його складові частини об'єднані внутрішніми зв'язками й вступають один з одним у певні відносини, що залежать від схеми вузла й технології його роботи. Схема вузла, що відображує його структуру, обмежує

розмаїтість взаємодії елементів системи. Це робить задачу дослідження вузла як системи практично розв'язною.

Однією з характерних рис транспортних систем є труднощі точного прогнозування їх завантаження внаслідок складності взаємозв'язків між елементами системи, причому в дію нерідко вступають зворотні зв'язки.

Для рішення задачі необхідні вихідні дані, що характеризують порядок надходження заявок, схему їхнього проходження в системі, тривалість обслуговування окремими елементами й інші параметри. Одні параметри є фіксованими, інші ж можуть бути задані ймовірнісними функціями, з тим або іншим законом розподілу. Спосіб завдання параметрів залежить від характеру конкретно розв'язуваної задачі. Зокрема, при рішенні проектних задач деякі параметри можуть задаватися ймовірнісним способом, у той час як при рішенні поточних експлуатаційних питань параметри обслуговування регламентуються діючим графіком. У цьому випадку моменти надходження заявок у систему виявляються фіксованими.

У дослідженнях станцій і вузлів транспортні потоки звичайно розглядаються лише з кількісної сторони (розміри руху й розподіл довжин інтервалів між заявками на обслуговування). Тим часом реальний потік характеризується не тільки величиною, але й структурою, а також формами його організації, що роблять безпосередній вплив на розрахунок і спеціалізацію станційних пристроїв.

Досліджуючи великі станції (сортувальні й вантажні), різні автори висловилися за різні закони розподілу вхідного потоку, що цілком закономірно. Не існує єдиного розподілу для всіх станцій; навіть для однієї й тієї ж станції розподіл не може залишатися незмінним.

Аналітичний апарат теорії масового обслуговування найчастіше оперує так названим найпростішим потоком, у якому розподіл заявок в інтервалі часу підкоряється закону Пуассона. Такий потік іноді ще називають, трохи більш повно розкриваючи його сутність, ординарним, стаціонарним, потоком без післядії. Відсутність післядії означає, що ймовірність появи деякої події



не залежить від того, чи давно така подія мала місце востаннє. Інакше кажучи, у системах з найпростішим потоком відсутні функції управління й регулювання, хоча в реальній транспортній системі цією справою зайняті тисячі людей.

Стаціонарність означає, що імовірнісний режим потоку в часі не змінюється, тобто у системі немає місця так називаним перехідним процесам, коли ця одноманітність порушується.

Вимога ординарності виключає появу в розглянутий момент часу одночасно двох і більше подій (наприклад, одночасного прибуття двох поїздів з різних напрямків, у той самий парк станції).

Все більше значення в проектуванні й розвитку транспортних систем здобуває прогнозування транспортних потоків. У транспортній галузі найпоширенішою формою прогнозування є планування перевезень. Існує кілька методів планування й кожний з них має свою область застосування. Незважаючи на особливості методів, застосування кожного з них, як правило, зводиться до встановлення об'єму перевезень, які можуть бути основою для організації перевезень і планування розвитку транспортних ліній і вузлових пунктів.

Визначення транспортних вантажних потоків виробляється двома методами: балансовим і з використанням динамічних рядів.

а) *Балансовий метод* висуває підвищені вимоги до якості й об'єму вихідної інформації, що не завжди може бути забезпечено при вирішенні задач перспективного характеру.

При розрахунку вантажопотоків по кожному вантажі складається ресурсна шахматка, що, будучи накладеною на існуючу проектовану мережу шляхів сполучення, дає можливість визначити вантажообіг транспортних вузлів й одержати, таким чином, основу для планування розвитку станцій, портів і т.д.

б) *Метод динамічних рядів* вважається придатним у сфері довгострокових прогнозів і може використатися для оцінок на основі звітних даних за

минулі роки. Використання динамічних рядів має під собою певну статисти-ко-математичну основу, але дискретний характер зміни об'єму перевезень і самого процесу розвитку, буває різко порушує тенденцію попереднього ро-ків. Проте, у деяких випадках метод дає досить гарні результати. Як правило, необхідне коректування результатів урахуванням очікуваних змін показників під впливом різного роду факторів – структури перевезених вантажів, пере-розподілу потоків по напрямках і т.п., що підсилюють або послабляють тен-денцію, яка спостерігалася раніше.

Часто доцільним вважається зіставлення рядів натуральних показників, а не вартісних, тому що це усуває вплив таких нерегулярних факторів, як ко-ливання тарифів на перевезення, подорожчання будівництва й деяких інших. Істотною вимогою є дотримання логічного зв'язку при виборі рядів, що зіста-вляють.

Відсутність строгої функціональної залежності в показниках приводить до того, що зв'язок виявляється, як правило, кореляційним.

У прогнозуванні пасажирських перевезень застосовують наступні ме-тоди.

а) *Гравітаційний метод*. При дослідженнях гравітаційним методом виходять із того, що між двома великими населеними пунктами існує якийсь транспортне «тяжіння», прямо пропорційне добутку чисельності населення цих пунктів, помноженому на коефіцієнт рухливості, і обернено пропорційно квадрату відстані між ними.

б) *Метод екстраполяції*. По минулих періодах установлюється ко-ефіцієнт рухливості населення, поширений на майбутнє, виходячи із припу-щення існування жорсткого функціонального зв'язку.

в) *Метод паралельних (динамічних) рядів*. Перевезення пасажирів за минулий період погоджуються з іншими, головним чином економічними, по-казниками, такими, як національний доход, продукція промисловості, сільсь-кого господарства, товарообіг. Іноді паралельні ряди, що зіставляють, вклю-чають показники використання транспортних засобів.

г) *Метод границь насичення* полягає в тім, що передбачається існування деяких нормативів потреб у пересуванні, що підлягають задоволенню, які й закладають у розрахунки.

д) *Балансовий метод*. У прогнозуванні пасажирських перевезень даний метод, на думку фахівців, не може дати задовільних результатів через відсутність досить тісного зв'язку перевезень із чисельністю населення.

Найбільша увага в дослідженнях в останні роки приділялася методу паралельних рядів. Однак, деякі фахівці вважають, що зв'язок пасажирських перевезень із національним доходом складний й невизначений. У загальних доходах населення транспортні витрати становлять порівняно невелику величину й частку. Поїздки пасажирів відбуваються з досить різноманітними цілями й характеризуються багатьма суперечливими факторами, що досить утрудняє їхнє прогнозування навіть на порівняно недалеку перспективу [8, 9, 14].

### **1.5. Сучасні умови формування потоку поїздів**

Високе завантаження багатьох ліній в умовах коливань об'ємів перевезень, викликаних нерівномірністю відвантаження багатьох видів продукції, організацією запасів палива, «піком» пасажирських перевезень, ремонтно-будівельними роботами, снігопадами й т.д., привела до того, що традиційні технологічні методи часто не забезпечують стійкість перевізного процесу. Виникаючі затруднення в експлуатаційній роботі викликають непоправні втрати навантажувальних ресурсів, пропускної здатності дільниць і станцій, погіршення використання вагонів і локомотивів, збільшення різниці між тарифними й експлуатаційними тонно-кілометровими роботами. Тому розробка інтенсивних технологій – це веління часу. Така технологія повинна передбачати роботу, як у нормальних умовах, так і при зниженні пропускної здатності через різні причини й періодичні зміни об'єму перевезень.

Важливий фактор інтенсифікації використання перевізних засобів – посилення планового впливу, що передбачає ув'язування системи довгострокового, середньострокового й оперативного планування перевезень, відповідність потреб у перевезенні й можливостей їх реалізації, збалансованість всіх видів ресурсів, взаємодія планів перевезення вантажів з організацією вагонопотоків і руху поїздів.

Організацію вагонопотоків регламентує план формування поїздів, що є сполучною ланкою між планом перевезень й експлуатаційною роботою залізниць й, що встановлює порядок з родом і призначенням поїздів розподіл сортувальної роботи між станціями й напрямками проходження вагонопотоків. Між потоками вантажів, вагонів, составів і поїздів існує взаємозв'язок. У теперішній час при розробці плану перевезень вантажів необхідно враховувати можливості транспорту. Інакше деякі напрямки як зазнавали рік у рік утруднення із пропуском поїздопотоків, так і будуть їх зазнавати надалі. Тому одна з найважливіших задач планування – систематичне зіставлення наявних ресурсів засобів виробництва, робочої сили, матеріалів, палива, електроенергії, транспорту й т.д. з потребою в них. Це дозволить виявити вузькі місця й усунути невідповідність у рівнях і темпах розвитку між окремими галузями [11, 15].

Залізничні лінії й рух потоків поїздів на них представляють складну композицію явищ, що змінюються як у просторі, так і в часі. По довжині дільниці змінюються елементи профілю й плану шляху, 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 міняються характеристики руху потоків поїздів: склад, швидкості руху використання пропускної здатності дільниць й ін.

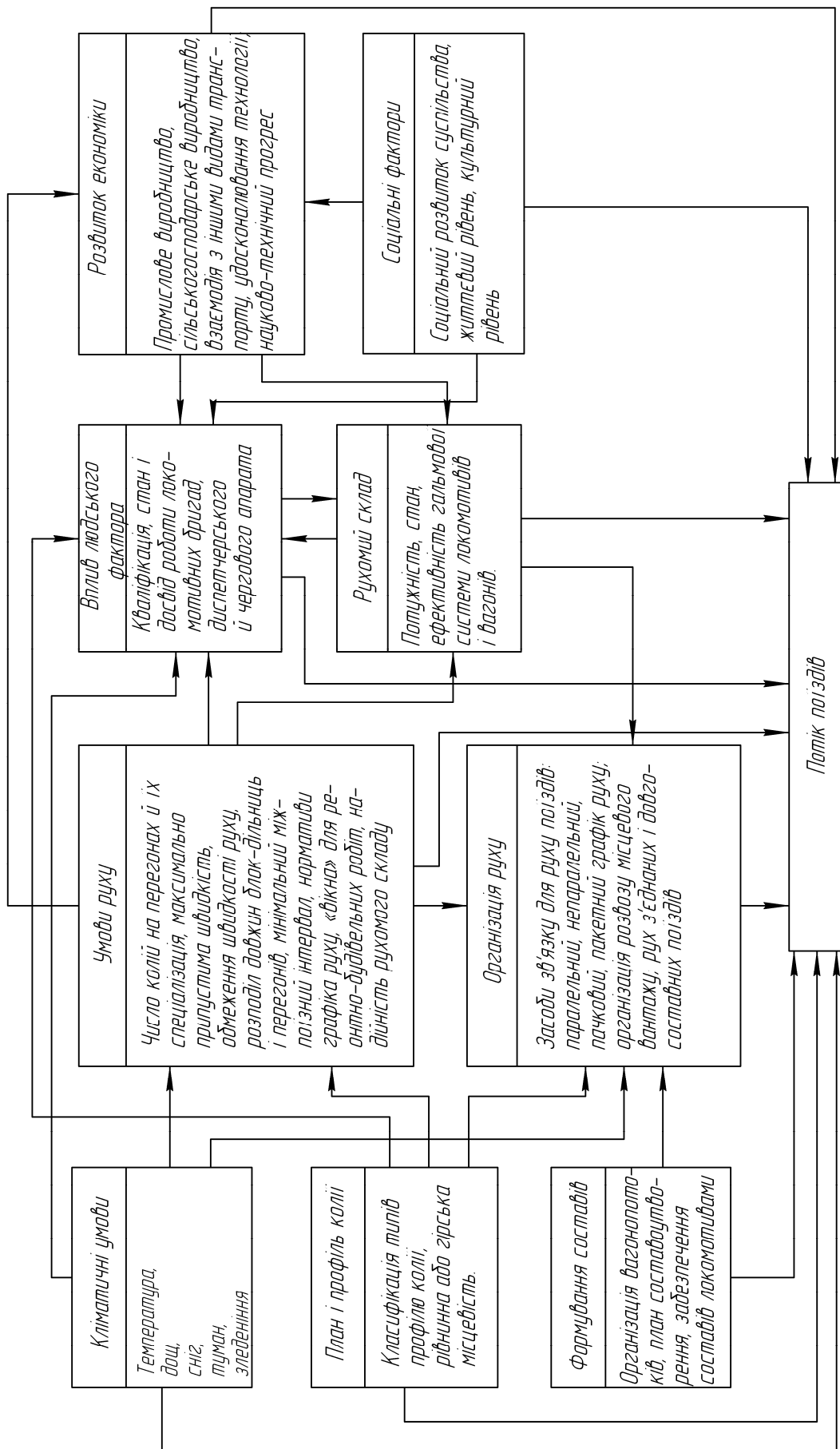


Рис. 1.1. Фактори, що впливають на формування потоків поїздів

## 2. РОБОТА ДОСЛІДЖЕНОЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ

### 2.1. Вихідні дані до організації вантажної роботи

Залізнична лінія 3 категорії з вантажонапруженістю потоку до 8 млн.т.км/рік із пропуском транзитом  $n_n$  – пар пасажирських й  $n_e$  – пар вантажних поїздів.

Тип рейок - P50, стрілочні переводи в сортувальному парку - марки 1/6, в інших парках - 1/9.

Вагові норми поїздів та подач на перегонах, що примикають до станції: збірні  $P_{сб} = 3200$  т, маршрутні  $P_m = 4000$  т,  $P_{под} = 1600$  т.

Тяга й локомотив - тепловозна, 2ТЭ10М.

Річний вантажообіг підприємств зони обслуговування станції наведено нижче (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Вантажообіг підприємств промислового району

Підприємство		НПЗ	КХЗ	буд. індустрія	ЛПП	маш. завод
Вантажообіг загальний, млн. тон у рік		3,05	2,4	1,28	0,962	1,836
Прибуття вантажу в % від загального вантажообігу, $\gamma_i$		0,55	0,4	0,6	0,4	0,6
Охоплення підприємств маршрутними перевезеннями	по відправленню, $\mu_{от}$ , %	0,95	0,7	---	----	---
	по прибуттю, $\mu_{пр}$ , %	0,65	0,25	----	---	---

Структура зовнішнього вантажообігу підприємств в % дана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Структура зовнішнього вантажообігу підприємства  $\beta^i$  в %

Укрупнені групи вантажів	Підприємство					Рухомий склад	
	НПЗ	КХЗ	буд. іду-стр.	ЛПП	маш. завод	вид	Коефіцієнт використання вантажопідйомності, $k_r$
<b>Прибуття</b>							
Тарноштучні	-	5	5	20	40	КВ	0,8
Контейнери	-	5	5	30	10	ПЛ	0,6
Сипучі	20	75	65	-	20	ПВ	1,0
Довгоміри	5	5	10	15	20	ПВ	0,9
Наливні	65	10	10	30	5	ЦС	1,0
Інші	10	-	5	5	5	ПВ	1,0
<b>Відправлення</b>							
Тарноштучні	-	10	50	45	80	КВ	0,8
Контейнери	-	-	10	45	8	ПЛ	0,6
Сипучі	-	70	30	-	-	ПВ	1,0
Довгоміри	-	-	-	-	-	ПВ	0,9
Наливні	95	15	-	-	-	ЦС	1,0
Інші	5	5	10	10	12	ПВ	1,0

## 2.2. Управління й організація вантажної роботи на станції

**2.2.1. Основи оперативного управління станцією.** Залізничні станції є виробничо-технологічним підрозділом залізниці з організації перевезень па-

сажирів, вантажу, вантажобагажу й пошти, взаємодії й координації виробничого процесу з підприємствами, суміжними службами залізничного транспорту.

Головними особливостями роботи станції є прибуття, відправлення, розформування й формування поїзду, подача й забирання вагонів, навантаження, вивантаження, сортування, приймання й видача вантажів, оформлення перевізних документів, складання комерційної, касової й оперативної звітності, облік вантажів у поїздах, усунення комерційних недочетів тощо.

Дільничні станції обслуговують значну кількість під'їзних колій, обладнують сортувальними пристроями (горками малої потужності, маневровими витяжками, а також сортувальними парками).

Керівництво станцією забезпечується через апарат, організаційна структура якого затверджується начальником залізниці й ДН.

Розподіл обов'язків між керівниками станції й порядок їх підпорядкування встановлюється наказом ДС.

У випадку відсутності в штатному розкладі посади ДСЗМ, його обов'язку виконує ДСЗ.

Організація вантажної й комерційної роботи в цілому на станції покладена на заступника начальника станції з вантажної й комерційної роботи (ДСЗМ). Керівництво цими операціями на місцях загального користування здійснює начальник району (вантажного) (ДСМ). Безпосередньо на складах, контейнерних пунтах (далі - КП), площадках, інших вантажних місцях, керівники по цих операціях, здійснюють завідувачі відповідних підрозділів або старші прийомоздавальники.

Оперативне керівництво роботою станції, контроль за виконанням добових і змінних планів, обробкою поїздів і вантажів відповідно до технологічного процесу покладене на ДСЗ, змінних керівників - ДСЦ і ДСП.

ДС забезпечує складання плану роботи станції на добу й зміну, у тому числі із прийняття й відправлення поїздів, узгодження його із черговим по



ДН, складання плану маневрової роботи, виконання змінного плану із прийняття, формування й відправлення поїздів.

ДСЗМ забезпечує планування й контроль виконання змінного плану з вантажної (комерційної) роботи. Організує роботу ГЖО згідно із Правилами комерційного огляду поїздів, затверджених наказом Укржелдортранса від 24.03.2000 р. № 110-Ц.

ДСЦ забезпечує:

- організацію своєчасної подачі, розміщення й забирання вагонів на вантажних фронтах, що обслуговуються локомотивами станцій, виконання технологічних норм на обробку поїздів і вагонів;
- скорочення міжопераційних інтервалів і загального часу на знаходження вагонів на станції, раціональний розподіл роботи між маневровими районами й сортувальними пристроями з обліком рівномірного їх навантаження;
- сполучення операцій розформування з формуванням поїзд, підбор вагонів за вантажними фронтами, тощо;
- узгодження роботи станції із суміжними службами, під'їзними коліями, пунктами перевалки відповідно до технологічного процесу й з урахуванням використання технічних засобів;
- ефективне використання технічних засобів станції: колійного розвитку, маневрових локомотивів, засобів зв'язку й сигналізації, централізації й автоблокування (далі - СЦБ) тощо;
- застосування передових методів праці;
- дотримання правил безпеки руху поїздів й охорони праці;
- підведення підсумків роботи за зміну.

При відсутності в штаті станції ДСЦ маневровою й вантажною роботою на станції керує ДСП.

Розпорядження ДСЦ (ДСП) про забезпечення своєчасного й безпечного прийняття й відправлення поїздів, виконання маневрових і вантажних операцій, а також раціонального використання технічних засобів станції є обов'

язковими для працівників всіх служб, пов'язаних з підготовкою, прийняттям, відправленням поїздів, вантажною й комерційною роботою.

Керуючись інформацією про підхід поїздів, наявністю й розміщенням вагонів на станційних коліях, вантажно-розвантажувальних пунктах, підїзних коліях підприємств промислового залізничного транспорту (далі - ППЗТ), а також інформацією про хід виконання вантажних операцій, ДСЦ визначає черговість формування й розформування поїздів. Він визначає черговість подачі й забирання вагонів, становить план робіт на 4-6-годинний період і доводить його до виконавців.

Для оперативного керівництва роботою станції, контролю, обліку й аналізу виконання змінного плану ДСЦ веде графік виконаної роботи.

Порядок ведення й форми графіків з урахуванням місцевих умов установлюються ДС. .

Робоче місце ДСЦ для безперервного оперативного контролю за роботою окремих ділянок станції обладнується засобами радіозв'язку, а при необхідності й спеціальними диспетчерськими інформаційними табло, установками промислового телебачення й інших технічних засобів.

ДСЦ (ДСП) за допомогою радіозв'язку здійснює керівництво й контроль за місцезнаходженням маневрових локомотивів, роботою локомотивних бригад, бригад укладачів, що забезпечують виконання поїзної, маневрової й вантажної роботи.

Для зв'язку диспетчерського апарата із прийомоздавачами й бригадами укладачів можуть організовуватися радіомережі, що дозволяють одержувати оперативну інформацію з пунктів виконання вантажних і комерційних операцій.

### ***2.2.2. Оперативне планування поїзної й вантажної роботи станції.***

Система оперативного й поточного планування роботи вантажної станції передбачає складання змінного й добового планів, оперативних завдань ДСЦ або ДСП на найближчі 2-3 роки. Ці завдання й плани ставляться до відома

бригад маневрових локомотивів, працівників СТЦ і ПТО, вантажного району, інших підрозділів станції.

План вантажної роботи станції на добу встановлюється ДН і передається не пізніше 17 год. у переддень планової доби. План роботи на добу включає: завдання з навантаження й вивантаження, перевалки, сортування вантажів з виділенням найважливіших вантажів і відправників вантажу, подачу й забирання місцевих вагонів; загальна кількість вантажних поїздів, які повинні бути прийняті й відправлені, а також завдання з відправлення порожніх вагонів. Добовий план містить якісні показники роботи станції: простій місцевих вагонів на станції й під однією вантажною операцією.

Основою оперативного планування є план роботи на зміну. Він складається на підставі добового й змінного завдань, які одержує станція із ДН, ситуації, що зложилася на станції до початку періоду, що планується, а також інформації про підхід поїздів і вантажів, затвердженого плану перевезень і норм технологічного процесу з обробки поїздів, вагонів, вантажів.

Змінне завдання з дирекції залізничних перевезень передається на станцію не пізніше чим за 1 год. до початку наступної зміни. План роботи на зміну становить ДС (ДСЗМ) з урахуванням ситуації на станції до початку планового періоду й завдань, які містять план роботи на добу.

У змінному плані вказуються завдання з переробки вантажів на КП (площадці), інших складах вантажного району й під'їзних колій, кількість поїздів, які підлягають розформуванню й формуванню; вагони, які повинні бути здані на під'їзні колії й прийняті від них, спеціальні завдання із промивання, устаткування вагонів тощо.

Контроль за ходом виконання плану покладає на керівників зміни. Після чергування зміни підсумки виконання змінного плану розглядаються ДС або ДСЗ, ДСЗМ й оголошуються працівникам зміни з аналізом причин недоліків і збоїв у роботі станції.

Структура оперативного керування вантажною роботою станції побудована, виходячи із заданої послідовності обробки вагонів і функцій, що ви-

конують її окремі підсистеми – маневрові локомотиви, ПТО й СТЦ, вантажні fronti, МЧ тощо.

У рамках АСК станції вирішуються дві основні групи завдань: оперативне (перемінно-добове) поточне планування й автоматизація трудомістких операцій, які відзначені вище.

АСК вантажної станції повинна виконувати сукупність оперативних, функціональних і технічних рішень із взаємодіючими структурами автоматизованого керування.

Поточний план роботи станції й окремих його фрагментів, що розробляються з використанням засобів обчислювальної техніки, повинні бути оптимальними. Реалізація завдань поточного планування повинна забезпечуватися з дотриманням вимог з охорони праці, підвищення продуктивності праці працівників вантажної станції.

До основних завдань оптимального поточного планування роботи вантажної станції з використанням засобів обчислювальної техніки ставиться:

- планування роботи маневрових локомотивів з подачі нагонів на вантажні пункти, їх забирання й, у першу чергу, визначення черговості обслуговування вантажних фронтів;
- розподіл порожніх і завантажених вагонів на вантажні пункти залежно від їх спеціалізації, типу вагонів і технічного оснащення вантажного фронту;
- складання плану роботи ПРМ для завантаження, вивантаження вагонів;
- планування сортування контейнерів;
- розподіл взаємозамінних ПРМ між вантажними пунктами;
- вибір найкращої послідовності виконання операцій розформування поїздів, формування, подачі, забирання вагонів, при забезпеченні охорони праці й безпеки руху;
- поїздоутворення.

Планування роботи маневрових локомотивів при подачі й забиранні вагонів ставить метою вибрати такий варіант черговості обслуговування ван-

тажних фронтів, що входять у маневровий район, за умови реалізації якого час перебування вагонів від моменту розформування до відправлення був би мінімальним. Постановка такого завдання виправдовується тим, що для скорочення простою вагонів важливо, на який вантажний фронт у першу чергу будуть подані вагони, тому що в залежності від тривалості подачі (забирання), кількості поданих вагонів продуктивності ВРМ, час простою вагонів при навантаженні - вивантаженні буде істотно змінюватися.

Оскільки окремі вантажні фронти, що входять в один маневровий район, взаємодіють один з одним і надання пріоритету при подачі й забиранні вагонів на один з них впливає на простій вагонів чекаючи маневрових операцій на інших пунктах, – необхідно визначити оптимальний або близький до нього варіант черговості обслуговування вантажних пунктів.

Зміна кількості подач і забирань вагонів на вантажному фронті впливає на простій, чекаючи нагромадження вагонів на подачу, під вантажними операціями й на витрати маневрових засобів, а, отже, на експлуатаційні витрати. При збільшенні кількості подач перші дві складові витрати зменшуються, а остання збільшується.

Таким способом можна знайти таку кількість подач і забирань вагонів на вантажному фронті, що мінімізує експлуатаційні витрати.

Вантажі, що мають різну об'ємну вагу, по-різному використовують вантажопідйомність і місткість вагонів. Маючи дані про об'ємну вагу й кількість вантажу на кожному вантажному пункті, характеристики порожніх вагонів, можна скласти план розподілу цих вагонів по вантажних пунктах, при реалізації якого найкраще будуть використані вантажопідйомність і місткість вагонів.

Постановка завдання щодо поточного планування роботи станції має сенс головним чином під час перевезення тарно-пакувальних, зернових вантажів, при навантаженні різних порід лісоматеріалів, у піввагонах і платформах, у тих випадках, коли вантажі не повністю використовують вантажопідйомність і місткість вагонів.

При навантаженні й вивантаженні іноді застосовуються на тому самому вантажному фронті різнотипні, але взаємозамінні ПРМ. Наприклад, навантаження й вивантаження сипучих вантажів виконується екскаваторами, ковшовими навантажувачами, грейферними кранами; для тарно-пакувальних вантажів використовуються електронавантажувач й автонавантажувачі різних типів тощо. Такі машини мають різну продуктивність, вартість, неоднакові витрати електроенергії, палива. Тому з погляду експлуатаційних витрат і часу навантаження й вивантаження транспортних засобів, важливо, які машини будуть використатися для переробки тих або інших вантажів. Отже, доцільно скласти такий план розподілу взаємозамінних, але різнотипних ПРМ, який б мінімізував час виконання вантажних операцій або експлуатаційних витрат. Однак може бути й інша ситуація, коли на вантажному районі розміщається кілька однорідних вантажних фронтів зі стаціонарними ПРМ. У цьому випадку можна подавати вагони з вантажами, що прибувають на кожний з декількох вантажних пунктів, і тоді становить практичний інтерес завдання розподілу «взаємозамінних» завантажених вагонів між декількома вантажними пунктами. Дане завдання може бути вирішене за критерієм мінімуму витрат часу й експлуатаційних витрат.

У процесі виконання вантажних операцій з вагонами, контейнерами можливо велика кількість варіантів рейсів пересувних ВРМ: кранів, навантажувачів тощо. Це обумовлюється тим, що, наприклад, між завантаженими транспортними засобами й вільними секціями состава можливі конкурентноздатні варіанти здійснення транспортних зв'язків. Оскільки відома кількість вантажів, що вивантажується й навантажуються, відстані між навантаженими вагонами, вільними місцями на составі, то можна побудувати такий план роботи ПРМ, вибрати такі кореспонденції вантажопотоків, які б мінімізували тоннометрову роботу, експлуатаційні витрати при переміщенні вантажів. При сортуванні контейнерів і крупнотонажних вантажів оптимальні кореспонденції вибираються між вагонами, у яких вантажі підлягають сортуванню.

У практиці роботи составів тарно-пакувальних і крупнотоннажних вантажів, контейнерних пунктів неодиначні випадки, коли на вантажний фронт одночасно надходять вагони й автомобілі. Якщо в періоди одночасного надходження декількох вхідних потоків не є можливим перевантажувати вантажі безпосередньо з одних транспортних засобів в інші, то тоді варто вибрати оптимальну черговість їх обслуговування, керуючись при цьому вартістю простою транспортних засобів або тривалістю виконання вантажних операцій.

### 2.3. Визначення вантажо – і вагопотоків станції

Об'єм роботи станції складається з обслуговування транзитного й місцевого руху.

Загальний об'єм роботи станції дорівнює сумі вантажообігу всіх підприємств зони обслуговування станції, тобто:

$$Q_{cm} = \sum Q_i = 3050000 + 2400000 + 1280000 + 962000 + 1836000 = 9528000 \text{ т}$$

Загальні річні вантажопотоки прибуття й відправлення підприємства визначають по рівнянню:

$$Q_i = Q_{i.np} + Q_{i.om}$$

де

$$Q_{i.np} = \gamma_i \cdot Q_i,$$

тут  $\gamma_i$  – % прибуття вантажу від загального вантажообігу, приймається по вихідним даним до проектування.

Тоді річні вантажопотоки відправлення підприємства визначають по рівнянню:

$$Q_{i.om} = Q_i - Q_{i.np}$$

Для НПЗ вантажопотоки у прибутті і відправленні:

$$Q_{i.np} = 55 \cdot 3050000 = 1677500 \text{ m},$$

$$Q_{i.om} = 3050000 - 1677500 = 1372500 \text{ m}.$$

Для КХЗ вантажопотоки у прибутті і відправленні:

$$Q_{i.np} = 40 \cdot 2400000 = 960000 \text{ m},$$

$$Q_{i.om} = 2400000 - 960000 = 1440000 \text{ m}.$$

Для ЛПП вантажопотоки у прибутті і відправленні:

$$Q_{i.np} = 40 \cdot 962000 = 384800 \text{ m},$$

$$Q_{i.om} = 962000 - 384800 = 577200 \text{ m}.$$

Для будівельної індустрії вантажопотоки у прибутті і відправленні:

$$Q_{i.np} = 60 \cdot 1280000 = 768000 \text{ m},$$

$$Q_{i.om} = 1280000 - 768000 = 512000 \text{ m}.$$

Для Маш. заводу вантажопотоки у прибутті і відправленні:

$$Q_{i.np} = 60 \cdot 1836000 = 1101600 \text{ m},$$



$$Q_{i.om} = 1836000 - 1101600 = 734400 \text{ т.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю по формі 2.3.

Таблиця 2.3

Вантажообіг підприємств			
Підприємство	Вантажообіг загальний, млн. тонн на рік	Вантажообіг у прибутті, млн. тонн на рік	Вантажообіг у відправленні, млн. тонн на рік
НПЗ	3,05	1,6775	1,3725
КХЗ	2,4	9,6	1,44
буд. індустрія	1,28	0,768	0,512
ЛПП	0,962	0,3848	0,5772
маш. завод	1,836	1,1016	0,7344
Підсумок	9,528	4,8919	4,6361

Для спрощення розрахунків всі вантажі розбиваються на групи по їхніх характеристиках, так, наприклад: сипучі, контейнери, тарно-штучні, наливні й т.д.

Річні вантажопотоки по групах вантажу у відправленні й прибутті знайдемо по рівнянням:

$$Q_{z.np}^i = Q_{i.np} \times \beta_{np}^i, \text{ і } Q_{z.om}^i = Q_{i.om} \times \beta_{om}^i$$

де  $\beta_{np}^i$  та  $\beta_{om}^i$  - відповідно коефіцієнти, що враховують відповідно прибуття та відправлення вантажу даної групи з підприємства приписаного до станції.

Від річного вантажообігу необхідно перейти до добового.

Добові вантажопотоки по укрупнених групах вантажів рівні (прибуття, відправлення):

$$Q_{zp(c)}^{inp} = \frac{Q_{z.np}^i \cdot K_{H_{np}}}{365}, \text{ і } Q_{zp(c)}^{iom} = \frac{Q_{z.om}^i \cdot K_{H_{om}}}{365},$$

де  $K_{H_{np}} = 1,35$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність прибуття вантажів на станцію,

$K_{H_{om}} = 1,075$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність відправлення вантажів зі станції .

Добові вагонопотоки укрупнених груп вантажів по прибуттю й відправленню рівні:

$$n_{np}^i = \frac{Q_{zp(c)}^{inp}}{q_n^i \cdot k_2}, \text{ і } n_{om}^i = \frac{Q_{zp(c)}^{iom}}{q_n^i \cdot k_2}$$

тут  $q_n$  - вантажопідйомність вагона, приймається рівною 63 т.;

$k_2$  - коефіцієнт використання вантажопідйомності вагона.

Вагони, що прибувають на підприємства приходять на станцію в збірних і маршрутних поїздах, теж відбувається й у режимі відправлення.

#### 2.4. Визначення кількості поїздів

Відповідно до загальноприйнятої методики, кількість вагонів укрупнених груп вантажів що прибувають і відправляються в маршрутному й збірному поїздах визначаються по формулах:

$$\Sigma n_{im}^{np} = n_i^{np} \cdot \mu_{np} \text{ і } \Sigma n_{im}^{om} = n_i^{om} \cdot \mu_{om},$$

$$\Sigma n_{icb}^{np} = n_i^{np} - \Sigma n_{im}^{np} \text{ і } \Sigma n_{icb}^{om} = n_i^{om} - \Sigma n_{im}^{om},$$

де  $\mu_{np(om)}$  – коефіцієнт, що враховує охопит підприємства маршрутними перевезеннями, приймається по таблиці 1.3.

При цьому кількість вагонів в одному збірному й одному маршрутному поїздах дорівнює:

$$n_{c\bar{b}} = \frac{P_{c\bar{b}}}{q_{c\bar{b}}} \pm 2 = \frac{3200}{80} \pm 2 = 40 \pm 2 \text{ шт}, \text{ і } n_m = \frac{P_m}{q_m} \pm 2 = \frac{4000}{85} \pm 2 = 47 \pm 2 \text{ шт},$$

де  $P_{c\bar{b}}$  й  $P_m$  - вагові норми збірного й маршрутного поїздів, які дорівнюють  $P_{c\bar{b}}=3200$  т й  $P_m=4000$  т

$q_{c\bar{b}}$  і  $q_m$  - вага одного вагона бруто збірного і маршрутного поїздів; приймаємо  $q_{c\bar{b}} = 80$  т. й  $q_m = 85$  т.

Кількість вагонів у маршрутному составі з порожніх вагонів становить 50 шт.

Кількість вагонів в одній подачі визначається:

$$n_{pod} = \frac{P_{pod}}{q_{c\bar{b}}} = \frac{1600}{80} = 20 \text{ шт},$$

Подачі можуть бути повні або неповні.

Шляховий розвиток станції повинен забезпечувати виконання на станційних коліях всіх операцій з вагонами, передбачених технологічним процесом з неодмінним дотриманням безпеки руху.

При проектуванні шляхового розвитку розраховується шляховий розвиток сортувального парку, парків прийому, відправлення, а також виставочні й витяжні колії.

Парки прийому й відправлення розраховуються для роботи з поїздами відправлення в зовнішню мережу, виставочний і сортувальний - на роботу з

вагонами збірних поїздів що йдуть зі станції на підприємства й у зворотному напрямку.

Час заняття колії транзитним (вантажним) поїздом дорівнює:

$$t_{змп(n)} = t_{np} + t_{om} + t_{ож} + t_{on} = 5,26 + 13,98 + 16 + 70 = 105,4 \text{ хв},$$

тут  $t_{np}$  - час заняття маршруту при прийомі поїзда на станцію;

$t_{on}$  - час виконання операцій на приймально-відправних коліях по технологічному процесу, хв. Відповідно до нормативів на технологічну обробку поїзда при прийомі відводиться в межах  $60 \div 80$  хв., приймаємо 70 хв.

$t_{ож}$  - середнє очікування шляху графіка, дорівнює половині інтервалу відправлення поїздів у цьому напрямку  $\left( t_{ож} = \frac{I_{пмп}}{2} \right)$ , хв;

$t_{om}$  - час заняття маршруту при відправленні поїзда від моменту приготування до звільнення маршруту;

У момент відкриття вхідного сигналу поїзд повинен перебувати від нього на відстані гальмового шляху  $l_T$  плюс відстань  $l_B$ , що проходить поїзд за час  $t_g$ , необхідний на сприйняття машиністом показань вхідного сигналу:

$$t_{np} = t_m + t_g + \frac{L_{ex} + L_m}{16,7 \cdot V_{ex}} = 1 + 0,1 + \frac{1200 + 1300}{16,7 \cdot 36} = 5,26 \text{ хв} \quad (2.1)$$

де  $t_m$  - час установки маршруту і відкриття сигналу при електричній централізації стрілок приймаємо рівною 1 хв.

$t_g$  - час сприйняття сигналу бригадою локомотива, приймаємо до розрахунків 0,1 хв.

$L_m$  - гальмівний колія, приблизно рівний 1,3 км.

$L_{ex}$  - довжина горловини прийому плюс довжина состава:

$$L_{\text{вх}} = L_{\text{зр}} + L_n = 1200 \text{ м}$$

де  $V_{\text{вх}}$  - середня швидкість входу поїзда на станцію,  $V_{\text{вх}} = 36$  км/годину;

16,7 – переводний коефіцієнт для перекладу значення швидкості з км/годину в м/хв.

$L_{\text{зр}}$  - довжина горловини прийому поїздів – відстань від вхідного сигналу до граничного стовпчика на колії прийому, при електричній тязі дорівнює – 650 м, при тепловозній тязі – 400 м.

$L_n$  - довжина поїзда, приймаємо  $L_n = 800$  м.

Відповідно:

$$t_{\text{ом}} = t_m + t_o + \frac{L_{\text{вх}}}{16,7 \cdot V_{\text{вх}}} \quad (2.2)$$

де  $t_m$  - час установки маршруту і відкриття сигналу, зазвичай  $t_m = 2$  хв.

$t_o$  - час від моменту відкриття сигналу до рушання, приймаємо  $t_o = 3$  хв.

$V_{\text{вих}}$  - середня швидкість виходу поїзда із станції з урахуванням розгону, приймаємо  $V_{\text{вих}} = 24$  км/годину

$L_{\text{вих}}$  - відстань, яку проходить поїзд до моменту звільнення маршруту, приймаємо  $L_{\text{вих}} = 3600$  м.

$$t_{\text{ом}} = 2 + 3 + \frac{3600}{16,7 \cdot 24} = 13,98 \text{ хв}$$

Середній розрахунковий інтервал орієнтування може бути визначений співвідношенням:

$$I_{\text{зр}} = \frac{1440}{\beta \cdot N_{\text{зр}} + \varepsilon \cdot N_n} = \frac{1440}{1,5 \cdot 8 + 1,2 \cdot 20} = 40 \text{ хв}$$

де  $N_{zp}$  й  $N_n$  - кількість транзитних поїздів відповідно вантажних і пасажирських у розглянутому напрямку;

$\beta = 1,5$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність руху поїздів;

$\varepsilon = 1,2$  – коефіцієнт знімання вантажних поїздів пасажирськими.

Час очікування графіка зазвичай дорівнює половині інтервалу в даному напрямі .

Розрахунковий інтервал рівний:

$$I_{рmp} = \frac{I_{cp} + I_{min}}{2} = \frac{40 + 24}{2} = 32 \text{ хв}$$

де  $I_{min}$  - мінімальний інтервал проходження вантажних поїздів на заданій ділянці за умовами автоблокування.

$$\text{Тоді } t_{ож} = \frac{I_{рmp}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ хв.}$$

Час заняття колії збірним поїздом по прибуттю рівний:

$$t_{зс(n)} = t_{np} + t_{mc} + t_{nep} + t_{дон} = 5 + 70 + 5 + 6,35 = 86,35 \text{ хв}$$

і час заняття колії маршрутним поїздом:

$$t_{зс(n)} = t_{np} + t_{mm} + t_{om} + t_{дон} = 5 + 45 + 5 + 6,35 = 61,35 \text{ хв}$$

тут  $t_{np}$ ,  $t_{om}$ ,  $t_{nep}$  - час прибуття, відправлення і перестановки поїзда на витяжну колію розвантажувального пристрою, приймається  $3 \div 5$  хв., для кожного з них, приймаємо  $t_{np} = t_{om} = t_{nep} = 5$  хв.;

$t_{mm}$ ,  $t_{mc}$  - технологічний час обробки маршрутного й збірних поїздів (визначається по технологічних картах) середня величина обробки складає  $t_{mm} = 40 \div 50$  хв.,  $t_{mc} = 60 \div 80$  хв.; приймаємо до розрахунків  $t_{mm} = 45$  хв., а  $t_{mc} = 70$  хв.;

$t_{дон}$  - додатковий час очікування відправлення або перестановки із-за неузгодженості маршрутів руху.

$$t_{дон} = \frac{720 \cdot \alpha_p}{N_{max}}$$

де -  $\alpha_p$  коефіцієнт резерву пропускної спроможності, рівний 1,2;

$$t_{дон} = \frac{720 \cdot 1,2}{136} = 6,35 \text{ хв}$$

$N_{max}$  - максимальна пропускна спроможність залізничної лінії, обслуговуваною дільничною станцією, в парку прийому; для одноколійної ділянки при автоматичному блокуванні.

$$N_{max} = 10,2 \cdot \frac{V_{cp}}{L} = 10,2 \cdot \frac{20}{1,5} = 136,$$

де  $V_{cp}$  - середня швидкість руху на коліях дільничної станції;

$L = 1,5$  км – довжина станційних колій для поперечного профілю (довжина складу плюс довжина горловини).

10,2 – коефіцієнт приймається при однопутній лінії.

Розрахунковий інтервал прибуття маршрутних ( $I_{pm}$ ) і збірних ( $I_{pc}$ ) поїздів визначимо по співвідношеннях:

$$I_{pm}^{np} = \frac{1440 - \frac{1440 \cdot (\alpha_p - 1) \cdot N}{N_{\max}}}{N_m}$$

$$I_{pc}^{np} = \frac{1440 - \frac{1440 \cdot (\alpha_p - 1) \cdot N}{N_{\max}}}{N_c}$$

оскільки по прибуттю немає маршрутних поїздів і  $I_{pm}^{np} = 0$ .

Отриману кількість колій по приведеним вище формулам округлюємо до цілого числа в більшу сторону.

$$t_{zmp(o)} = t_{np} + t_{om} + t_{ож} + t_{on} = 5,26 + 5 + 16 + 50 = 85,24 \text{ хв}$$

де  $t_{np}$  - час заняття маршруту при прийомі поїзда на станцію, приймаємо  $t_{np} = 5,26$  хв.;

$t_{om}$  - час заняття маршруту при відправленні поїзда від моменту приготування до звільнення маршруту, приймаємо  $t_{om} = 13,98$  хв;

$t_{on}$  - час виконання операцій на приймально-відправних коліях по технологічному процесу, і, хв. Відповідно до нормативів на технологічну обробку поїзда при відправленні відводиться  $40 \div 50$  хв., до розрахунків приймаємо  $t_{on} = 50$  хв.;

$t_{ож}$  - середнє очікування колії графіка, дорівнює половині інтервалу відправлення поїздів в цьому напрямі,  $(t_{ож} = \frac{32}{2} = 16 \text{ хв})$ .

Для маршрутних поїздів час заняття у відправленні:

$$t_{zm(o)} = t_{np} + t_{mm} + t_{om} + t_{oon} = 5 + 30 + 5 + 20,57 = 60,57 \text{ хв}$$



Для збірних поїздів час заняття у відправленні:

$$t_{зс(о)} = t_{неp} + t_{mc} + t_{om} + t_{дон} = 15 + 40 + 5 + 20,57 = 80,57 \text{ хв}$$

тут  $t_{np}$ ,  $t_{om}$  - час прибуття, відправлення поїзда, приймається 3 - 5 хв., для кожного з них, тоді приймаємо  $t_{np} = t_{om} = 5$  хв.;

$t_{mm}$ ,  $t_{mc}$  - технологічний час обробки маршрутного й збірних поїздів (визначається по технологічних картах) середня величина обробки состава  $t_{mm} = 25 \div 35$  хв.,  $t_{mc} = 35 \div 45$  хв., до розрахунків приймаємо відповідно  $t_{mm} = 30$  хв., а  $t_{mc} = 40$  хв.

$t_{дон}$  - додатковий час очікування відправлення або перестановки із-за неузгодженості маршрутів руху.

$$t_{дон} = \frac{720}{N_0}$$

$$t_{дон} = \frac{720}{35} = 20,57 \text{ хв}$$

тут  $N_0$  - загальна кількість поїздів у відправленні.

$$N_0 = N_m + N_c + N_{mp} = 1 + 6 + 28 = 35$$

$$t_{неp} = \frac{60 \cdot L_{неp}}{V_{неp}} = \frac{60 \cdot 1,5}{6} = 15 \text{ хв}$$

де  $t_{неp}$  - час на перестановку поїздів;

$L_{неp}$  - відстань від колій сортувального парку до колій парку відправлення, приймається по класу станції, орієнтовно  $L_{неp} = 1,5$  км;

$V_{пер} = 6$  км/годину – швидкість руху при маневрах.

Розрахункові інтервали відправлення рівні:

- для транзитних поїздів:

$$I_{пр}^o = \frac{1440 \cdot \alpha_3}{N_{пр}^o} = \frac{1440 \cdot 0,7}{28} = 36 \text{ хв}$$

- для маршрутних поїздів:

$$I_{рм}^o = \frac{1440 \cdot \alpha_3}{N_{м}^o} = \frac{1440 \cdot 0,7}{1} = 1008 \text{ хв}$$

- для збірних поїздів:

$$I_{рз}^o = \frac{1440 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_6}{N_c^o} = \frac{1440 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{6} = 134,4 \text{ хв}$$

тут  $\alpha_6, \alpha_3$  - коефіцієнти що враховують завантаження колій і втрати часу по відправленню; по нормативах  $\alpha_6 = 0,8, \alpha_3 = 0,7$ .

$N_{пр}^o = 28, N_{м}^o = 1, N_c^o = 6$  - відповідно кількість транзитних, маршрутних і збірних поїздів, що відправляються зі станції.

# СІТКОВЕ ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

## 4.1. Сіткове планування на залізниці

До числа нових ефективних методів планування й управління виробничими й транспортними процесами відноситься сіткове планування й управління. Останнім часом воно одержало широке поширення у всіляких областях виробництва, у тому числі й на залізничному, автомобільному й іншому видах транспорту. Особливість методів сіткового планування – можливість у графічній формі представити виробничий процес, чітко виразити послідовність і логічний взаємозв'язок окремих робіт, що становлять процес, виявити критичні роботи й зосередити на них увагу. Сіткове планування та управління дозволяє найбільш ефективно використати ресурси, щоб максимально скоротити час виконання всього процесу.

В основі сіткового планування лежить сітковий графік – модель виробничого процесу у вигляді мережі, тобто фігури, що складається із точок (вершин) і з'єднуючих їх ліній (ребер). Вершини – події, що визначають можливість початку або закінчення різних робіт, – на графіку зображують кружками, а ребра – операції, що становлять процес, або роботи – стрілками.

Події нумерують послідовно. Кожну роботу позначають номерами обмежувачих її подій. Цифри на стрілках означають тривалість роботи в певному масштабі часу (хвилини, години, доби й т.п.). Будь-яка послідовність робіт становить шлях. Сіткове планування та управління переслідує дві основні цілі.

1. *Науковий аналіз і розробка технологічних процесів.* На цьому етапі оптимізують сітковий графік, тобто знаходять такий порядок всіх робіт і розподіл між ними ресурсів, які забезпечують виконання всього процесу в мінімальний термін (оптимізація за часом) і з мінімальними витратами (оптимізація за вартістю). Це досягається порівнянням варіантів сіткового графіка і його послідовним поліпшенням. Слід зазначити, що методи сіткового плану-

вання самі по собі не дають оптимального рішення (як, наприклад, лінійне програмування). Вони служать лише інструментом, за допомогою якого можна одержати досить ефективні рішення, але ступінь ефективності визначає фахівець, що розробляє сітковий графік.

2. *Оперативний контроль за ходом процесу.* Методи сіткового планування дозволяють на кожному етапі реалізації процесу виділити головні (критичні) роботи, на які необхідно звернути особливу увагу. Залежно від обстановки й фактичного ходу процесу на кожному етапі в число критичних можуть попадати самі різні роботи (у порівнянні з первісним планом). І якщо процес складається з великої кількості робіт, то виявити самі вирішальні з них досить складно, а іноді й неможливо звичайними способами. Методи ж сіткового планування дозволяють ефективно використати для цієї мети ПК. Однак, як показав досвід, методи планування можна використати й для невеликих процесів з розробкою сіткових графіків вручну. Вважається, що застосування ПК необхідно для сіткового графіка, що включає більше 200 робіт [24, 25].

Основу сіткового графіка становлять три елементи: робота, подія, шлях. Робота – це самостійна трудова операція (або трудовий процес у сітковому графіку), яку можна розглядати ізольовано від інших. Розрізняють наступні види робіт:

- дійсна – трудовий процес, що вимагає часу й ресурсів (наприклад, технічний огляд складу, подача вагонів під навантаження й ін.);
- очікування – технологічна операція, що вимагає часу без витрати ресурсів (наприклад, охолодження двигуна при підготовці до ремонту, технологічна перерва в маневровій роботі для пропуску пасажирського поїзда й ін.);
- фіктивна (залежність) – указує тільки на логічний зв'язок між роботами й не вимагає ні часу, ні ресурсів.

Дійсну роботу й очікування відзначають на графіку суцільними лініями, а фіктивну – штриховою. Тривалість роботи, обмеженої подіями  $i$  й  $j$ ,

позначають як  $t_{ij}$ . Значення її можуть бути детермінованими, тобто встановленими точно, або визначеними з деяким ступенем імовірності. При стохастичному (імовірнісному) характері тривалості робіт для визначення очікуваної величини  $t_{ij}$  використовують три тимчасових оцінки:

- оптимістична – тобто мінімальний час, за який можна виконати роботу при сприятливому збігу обставин  $t_{ij}^{\min}$ ;
- песимістична – максимальна тривалість роботи при несприятливому збігу обставин  $t_{ij}^{\max}$ ;
- найбільш імовірна – тривалість роботи в найбільше часто повторюваних умовах  $t_{ij}^{mp}$ .

На основі теорії ймовірностей і математичної статистики виведені формули для визначення  $t_{ij}$ :

якщо відомі всі три оцінки

$$t_{ij} = \frac{t_{ij}^{\min} + 4t_{ij}^{mp} + t_{ij}^{\max}}{6};$$

якщо відомі тільки оптимістична й песимістична оцінки

$$t_{ij} = \frac{3t_{ij}^{\min} + 2t_{ij}^{\max}}{5}.$$

Подія – це фіксований факт, що визначає закінчення або можливість початку однієї або декількох робіт, момент, що фіксує певний стан виробничого процесу (не має тривалості). Наприклад: «Технічний огляд прибулого складу закінчений». Це означає готовність до виконання наступної роботи: «Причеплення маневрового локомотива й насування составу на гірку». У кожній роботі є початкова й кінцева події. Роботу не можна почати, поки не

наступить її початкова подія. Подія ж не може наступити, поки не будуть виконані всі роботи, для яких вона є кінцевою.

Стосовно попередніх і наступних робіт події бувають:

- проміжними – виражають одержання кінцевих результатів всіх попередніх і готовність до початку всіх безпосередньо наступних робіт. Вони служать одночасно початковими й кінцевими подіями для різних робіт;
- вихідними – виражають готовність до початку робіт. Вони не мають вхідних робіт. На мережі може бути тільки одна початкова подія;
- завершальними – виражають факт закінчення всіх робіт даного процесу й не мають вихідних робіт. Таких подій на мережі може бути одна (одноцільова мережа) або кілька (багатоцільова мережа).

Шлях – це будь-яка послідовність робіт, що з'єднує які-небудь дві події. Тривалість його дорівнює сумарній тривалості складових робіт. Розрізняють шлях:

- повний – послідовність робіт, що з'єднує вихідну й завершальну події;
- що є попереднім події  $i$  – послідовність робіт, що з'єднує події вихідну та проміжну  $i$  ;
- наступний за подією  $i$  – послідовність робіт, що з'єднує подію  $i$  із завершальною;
- між подіями  $i$  й  $j$  (проміжними);
- критичний – найбільший повний шлях.

У сітковому графіку завжди кілька повних шляхів. Максимальний з них **критичний**. Його тривалість визначає загальний строк виконання процесу. Щоб прискорити останній, треба зменшити критичний шлях. Для оптимізації сіткового графіка за строком виконання процесу необхідно вишукати способи скорочення критичного шляху, контролювати виконання робіт, що становлять критичний шлях, вживати оперативні заходи, попереджаючи їх зрив. Звичайно на сітковому графіку критичний шлях позначають жирною лінією. Можливість наочно представити саме ту послідовність робіт, що ви-

значає загальний строк виконання процесу, – важлива перевага сіткового графіка перед іншими способами планування й контролю. Це особливо помітно, коли мається велика кількість (сотні, тисячі) робіт і виконавців.

Існує кілька способів розрахунку параметрів сіткового графіка (табличний, матричний й ін.). Для порівняно невеликих графіків, які застосовують в експлуатації залізниць, зручно розраховувати параметри на самих графіках. Для цього кожна подія – коло – ділять на чотири сектори (рис. 4.1).

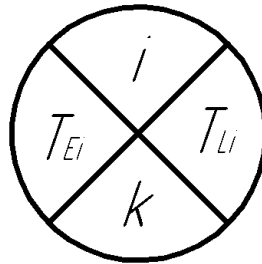


Рис. 4.1. Зображення події

У верхньому ставлять номер події  $i$ , інші заповнюють за розрахунком. У лівому секторі записують ранній строк здійснення події  $T_{Ei}$ , у правому – пізній  $T_{Li}$ , у нижньому – номер попередньої події  $k$  на максимальному попередньому шляху. Всі події повинні бути правильно пронумеровані. Починають розрахунок з першої (вихідної) події, проставляючи  $T_{Ei} = 0$ . Потім розраховують  $T_{Ej}$ , послідовно переходячи від події з меншим номером до події з більшим номером, за формулою

$$T_{Ej} = \max(T_{Ei} + t_{ij}),$$

де  $i$  – номери всіх попередніх подій по числу вхідних у подію  $j$  робіт.

Дійшовши до останньої події, заповнюють у ній й правий сектор, тому що  $T_{Ei} = T_{Li} = T_{kp}$ . Тим самим визначена величина критичного шляху. Потім

розраховують  $T_{Li}$ , послідовно переходячи від події з більшим номером до події з меншим номером (у зворотній послідовності), по формулі

$$T_{Li} = \min(T_{Lj} - t_{ij}),$$

де  $j$  – номери всіх наступних подій по числу вихідних з події  $i$  робіт.

У вихідній події при цьому повинне вийти  $T_{L1} = 0$ , тому що для неї  $T_{E1} = T_{L1} = 0$ . Положення критичного шляху на сітковому графіку встановлюється, починаючи з останньої (завершальної) події, по номерах, проставлених у нижніх секторах.

Одним з найбільш важливих параметрів, що характеризують сітковий графік є **резерв часу**, що для шляху виражається різницею між тривалістю критичного  $T_{kp}$  й розглянутого  $T$  шляхів:  $R_T = T_{kp} - T$ . Він показує, на скільки можна збільшити тривалості всіх робіт без зміни загального строку реалізації процесу, тобто гранично припустиме збільшення тривалості шляху  $T$ . При подальшому збільшенні  $T$  шлях стає критичним; резерв часу для події  $i$ , а саме  $R_i = T_{Li} - T_{Ei}$ , показує, на який час можна затримати здійснення події не змінюючи загального строку виконання процесу. Для подій, що лежать на критичному шляху,  $R_i = 0$ , тому що  $T_{Ei} = T_{Li}$ . Практично необхідно знати резерви часу для виконання кожної роботи. Аналіз цих резервів допомагає ефективно розподілити ресурси між роботами. Розрізняють наступні види резервів часу для роботи  $ij$  (рис. 4.2):

- повний – визначається як резерв часу у максимального зі шляхів, що проходять через роботу,  $R_{ij} = T_{kp} - \max T_{ij}$  показує припустиме збільшення тривалості роботи (або запізнювання її початку), при якому довжина максимального зі шляхів, що проходять через неї, не перевищить тривалості критичного шляху. При використанні цього резерву максимальний шлях, що проходить через роботу  $ij$ , стає критичним і всі роботи, що лежать на ньому



втрачають резерви часу. Величину  $R_{ij}$  зручно визначати через ранні й пізні строки здійснення подій:  $R_{ij} = T_{Lj} - T_{Ei} - t_{ij}$ ;

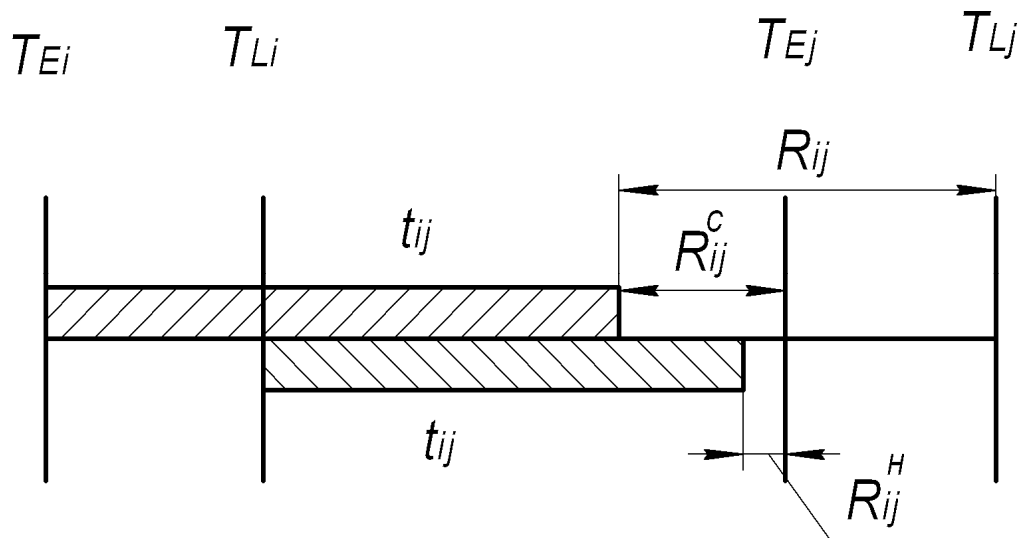


Рис. 4.2. Діаграма резервів часу

- вільний (окремий)  $R_{ij}^c = T_{Ej} - T_{Ei} - t_{ij}$  – максимальний час, на який можна збільшити тривалість роботи  $ij$  (або відстрочити її початок), якщо початкова й кінцева події наступлять у свої ранні строки. При використанні вільного резерву часу для однієї роботи не торкає вільні резерви часу інших робіт, якщо всі події наступають у свої ранні строки;

- незалежний  $R_{ij}^H = T_{Ej} - T_{Li} - t_{ij}$  – утворюється лише в деяких робіт і показує максимальний час, на який можна збільшити тривалість роботи  $ij$  (або відстрочити її початок) незалежно від строків здійснення її початкової й кінцевої подій. Використання незалежного резерву в кожному разі не зачіпає резервів часу інших робіт.

Роботи, що лежать на критичному шляху, не мають ніяких резервів часу. Таким чином, знаючи ранні й пізні строки здійснення подій і тривалість робіт, можна визначити всі параметри сіткового графіка.

## 4.2. Задача по оптимізації ресурсів робочої сили для виконання роботи з переробки транзитного вагона на дільничній станції

Сітковий графік (рис. 4.3) представлений у вигляді графа взаємозалежних робіт. Необхідно визначити критичний шлях, розрахувати резерви часу для всіх робіт.

У лівому секторі вихідної події 1 ставимо нуль. Переходимо до події 2. У неї входить тільки одна робота 1.2 тривалістю  $t_{12} = 15$ . Тому розглядаємо тільки одну суму  $0+15=15$ . Проставляємо її в лівий сектор, а в нижній записуємо 1 – номер попередньої події, що відповідає максимальному (і в цьому випадку єдиному) попередньому шляху.

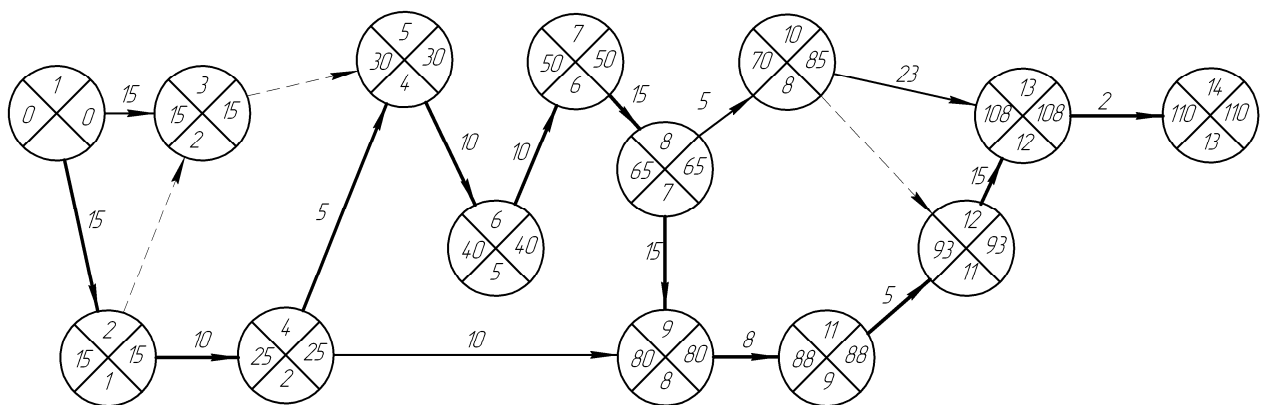


Рис. 4.3. Сітковий графік переробки транзитного вагона на станції

У подію 3 входить дві роботи, причому одна з них робота 2.3 – фіктивна, яка показує, що до початку фіктивної роботи 3.5 необхідно закінчити роботу 1.2. Тому розглядаємо дві суми раннього строку здійснення попередньої події й тривалості роботи:  $1.3 - 0+15=15$ ;  $2.3 - 15+0=15$ . Максимальну суму 15 поміщаємо в лівий сектор, а в нижній записуємо 2 – номер попередньої події.

Для події 4 у лівому секторі записуємо цифру  $25=15+10$ , а в нижньому – 2.

Для події 5 розглядаємо дві суми, аналогічно події 3:  $3.5 - 15+0=15$  й  $4.5 - 25+5=30$ . Максимальну суму 30 поміщаємо в лівий сектор, а в нижній записуємо 4 – номер попередньої події.

Для події 6 у лівому секторі записуємо цифру  $40=30+10$ , а в нижньому – 5. Для події 7, аналогічно, у лівому секторі записуємо цифру  $50=40+10$ , а в нижньому – 6.

Для події 8 у лівому секторі записуємо цифру  $65=50+15$ , а в нижньому – 7.

Для події 9 розглядаємо дві суми:  $8.9 - 65+15=80$  й  $4.9 - 25+10=35$ . Максимальну суму 80 поміщаємо в лівий сектор, а в нижній записуємо 8 – номер попередньої події.

Для події 10 у лівому секторі записуємо цифру  $70=65+5$ , а в нижньому – 8. Для події 11 у лівому секторі записуємо цифру  $88=80+8$ , а в нижньому – 9.

Для події 12 розглядаємо дві суми:  $10.12 - 70+0=70$  й  $11.12 - 88+5=93$ . Максимальну суму 93 поміщаємо в лівий сектор, а в нижній записуємо 11 – номер попередньої події.

Для події 13 розглядаємо дві суми:  $10.13 - 70+23=93$  й  $12.13 - 93+15=108$ . Максимальну суму 108 поміщаємо в лівий сектор, а в нижній записуємо 12 – номер попередньої події. Для події 14 у лівому секторі записуємо цифру  $110=108+2$ , а в нижньому – 13.

Тепер у завершальній події заповнені всі чотири сектори. Рухаючись у зворотному порядку, визначимо всі пізні строки інших подій. З події 13 виходить тільки одна робота, тому й різниця між пізнім строком здійснення наступної події й тривалістю роботи розглядаємо тільки одну  $110-2=108$ . Це і є пізній строк здійснення події 13. Записуємо його в правий сектор. З події 12 виходить тільки одна робота, тоді  $108-15=93$ . З події 11 виходить тільки одна робота, тоді  $93-5=88$ . З події 10 виходять дві роботи 10.13 й 10.12, тому й різниці розглядаємо дві:  $108-23=85$  й  $93-0=93$ . Мінімальна з них 85 – пізній строк події 10 (правий сектор).

З події 9 виходить тільки одна робота, тоді  $88-8=80$ .

З події 8 виходять дві роботи 8.10 й 8.9, тому й різниці розглядаємо дві:  $85-5=80$  й  $80-15=65$ . Мінімальна з них 65 – пізній строк події 8 (правий сектор). Аналогічно заповнюємо праві сектори інших подій.

Тепер визначимо положення критичного шляху на сітковому графіку по номерах, що стоять в нижніх секторах, пересуваючись у зворотному порядку від події до події 14, 13, 12, 11, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 2, 1. Тривалість його 110. Резерви часу для робіт, що не лежать на критичному шляху, показані в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Резерви часу робіт сіткового графіка

$ij$	$R_{ij}$	$R_{ij}^c$	$R_{ij}^H$
1.3	-	-	-
2.3	-	-	-
3.5	15	15	15
4.9	45	45	45
8.10	10	-	-
10.12	23	23	8
10.13	15	15	-

#### 4.3. Покращення графіку переробки транзитного вагона на дільничній станції

Розглянемо технологічну лінію переробки транзитних вагонів на станції. Укрупнений сітковий графік (рис. 4.3) відбиває технологію обробки вагонів замикаючої групи, що прибула з поїздом, на якому телеграма-натурний лист не отриманий. Документи на станції пересилають із розсильним. На станції є єдина технічна контора (ТК) і механізована гірка. Вихідна подія графіка - момент прибуття в розформування поїзда із замикаючою групою

(подія 1), що завершує готовність сформованого поїзда до відправлення (подія 14). Перелік робіт даний у табл. 4.2.

Критичний шлях виражає мінімально можливий простій вагона, що переробляється на станції, без часу накопичення, тобто простій вагона замикаючої групи. Таким чином, завдання зводиться до скорочення критичного шляху. Цього можна домогтися, по-перше, логічною перебудовою мережі так, щоб роботи, що лежать на ньому, виконувалися не послідовно, а паралельно (удосконалювання методів роботи); по-друге, скороченням тривалості робіт, що лежать на критичному шляху (застосування більше удосконалених технічних засобів, механізація й автоматизація різних процесів й ін.). Перший шлях вимагає, як правило, організаційних мір, другий - капітальних вкладень. Тому насамперед необхідно прагнути вичерпати всі резерви першого шляху. Треба, однак, відзначити, що цей розподіл умовний, тому що впровадження більше удосконалених технічних засобів нерідко вимагає перегляду технології.

На графіку (рис. 4.3) критичний шлях (жирна лінія) - послідовність робіт 1-2-4-5-6-7-8-9-11-12-13-14 із загальною тривалістю 110 хв. Аналіз показує, що всі вони в основному пов'язані з роботою технічної контори - перевіркою, крейдовою розміткою й списуванням состава й пересиланням документів. З операцій обробки вагонів на критичному шляху перебувають лише їхній розпуск і закінчення формування состава. Тому для вдосконалювання роботи технічної контори вирішено провести наступні заходи:

- сполучити списування состава в сортувальному парку з накопиченням вагонів і формуванням. Дані про состав передавати в технічну контору по радіозв'язку;
- впровадити телетайпний зв'язок для одержання телеграм-натурних листів, що дозволить складати сортувальний листок і передавати його всім причетним працівникам до прибуття поїзда на станцію, а також відмовитися від крейдової розмітки состава в парку прибуття. Таким чином, ці операції будуть зняті із критичного шляху;

## Перелік робіт сіткового графіка (вихідний варіант)

Позначення	Вміст	Тривалість, хв.	Виконавці
1.2	Перевірка та крейдяна розмітка складу. Доставка під'їзних документів у технічну контору	15	Оператор ТК
1.3	Відчеплення пасажного локомотива, технічний і комерційний огляд і підготовка складу до розпуску	15	Локомотивна бригада, працівники ПТО
2.4	Перевірка документів в ТК, складання сортувального листка і його коригування маневровим диспетчером	10	Оператор ТК, маневровий диспетчер
3.5	Причеплення маневрового локомотива до складу, насуваючись на гірку	5	Складава бригада
4.5	Пересилання сортировального листка на гірку, саставительській бригаді, старшому регулювальника швидкості відчепів	5	Розсылний або за телефоном
4.6	Штемпелеваніє та розробка поїзних документів	10	Оператор ТК
5.6	Розпуск сотава з гірки	10	Черговий по гірці, складава бригада
6.7	Закінчення формування складу на витяжному шляху	10	Складава бригада
7.8	Списування сформованого складу	15	Оператор ТК
8.9	Прохід оператора в технічну контору і складання натурального листа	15	Оператор ТК
8.10	Перестановка сформованого складу в парк відправлення	5	Складава бригада
9.11	Підбірка і конвертування документів у технічній конторі	8	Оператор ТК
10.3	Технічне обслуговування та комерційний огляд вагонів, причеплення під'їзного локомотива, проба гальм	23	Працівники ПТО, локомотивна бригада
10.11	Пересилання документів на сформований склад у парк відправлення	5	Оператор ТК, рассилний
12.13	Перевірка складу розробниками технічної контори, вручення поїзних документів машиністу, повідомлення працівникам ПТО даних про масу та склад поїзда	15	Оператор ТК
13.14	Вручення машиністу довідки про гальма, відправлення	2	Працівник ПТО, локомотивна бригада

- організувати телетайпний зв'язок технічної контори з постами, розташованими в горловинах парків приймання й сортувального, тоді соста-

ви можна буде перевіряти на ходу під час прибуття поїзда на станцію й перестановки із сортувального парку в парк відправлення;

- побудувати пневматичну пошту. Це значно прискорить пересилання документів.

Кількісну характеристику можливого скорочення простою вагонів можна одержати, побудувавши новий варіант сіткового графіка (рис. 4.4.). Перелік його робіт наведений у табл. 4.3.

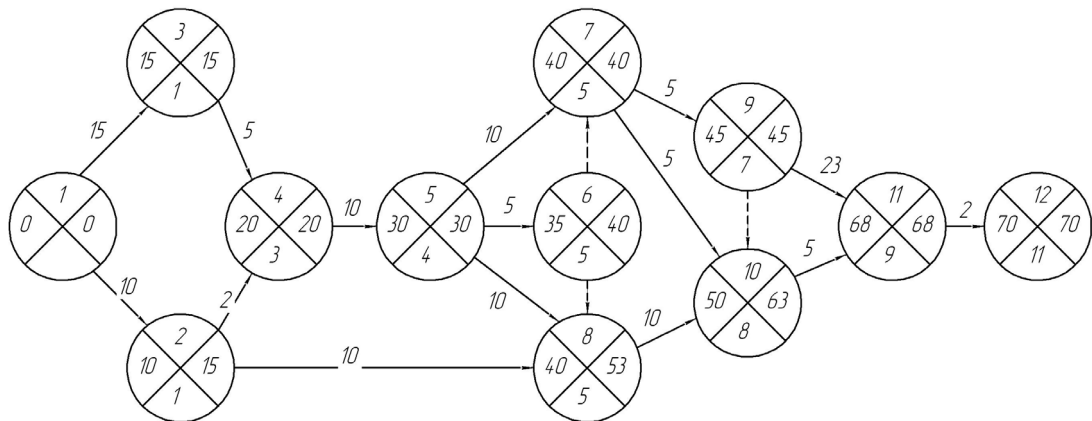


Рис. 4.4. Сітковий графік переробки транзитного вагону на дільничній станції (покращуваний варіант)

Тепер критичний шлях проходить через події 1-3-4-5-7- 9-11-12 і становить 70 хв, тобто скорочений у порівнянні з попереднім на 40 хв. При середньодобовій переробці на станції 4000 вагонів це дозволяє зберегти 973 000 вагоно-год на рік. Робочий парк знижується на 110 вагонів, що переробляють, у добу.

Можливо й подальше скорочення тривалості критичного шляху. Для цього треба продовжити аналіз, розглядаючи кожну роботу як окремий процес і зобразивши його за допомогою сіткового графіка. Домігшись скорочення якої-небудь із робіт, необхідно перешикувати мережу, знову визначити критичний шлях і проаналізувати роботи, які його становлять.

## Перелік робіт сіткового графіка (покрещуваний варіант)

Позначення	Вміст	Тривалість, хв.
1.2	Пересилки по пневматичній пошті документів в технічесую контору, перевірка документів і розмітка телеграм-натурних аркушів	10
1.3	Отчетка під'їзного локомотиву, технічний і комерційний огляд, підготовка составу до розпуску	15
2.4	Повідомлення про результати перевірки натурального для телеграм аркуша ДСЦ і на гору	2
2.8	Штемпелювання і розбирання документів	10
3.1	Надвіз составу на гору	5
4.5	Розпуск составу	10
5.6	Завершення списування готового составу (по радію)	5
5.7	Закінчення формування составу на витяжній дорозі	10
5.8	Складання натурального аркуша	10
7.9	Перестановка готового составу в парк відправлення	5
7.10	Перевірка составу (по телетайпу)	5
8.10	Підбірка і конвертація вантажних документів	10
9.10	Технічне обслуговування і комерційний огляд вагонів, проба гальм	23
10.11	Пересилка по пневматичній пошті вантажних документів в парк відправлення, вручення їх машиністові, повідомлення даних про состав працівникам ПТО	5
11.12	Вручення машиністові довідки про гальма, відправлення	2



## ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі розглянуто удосконалення графіку обробки транзитного вагону на дільничній залізничній станції.
2. За допомогою статистичного аналізу виконано розрахунок інтервалу прибуття поїздів на станцію за допомогою графіку руху поїздів. Побудовано гістограму розподілу ймовірності інтервалу, та знайдено його математичне очікування  $M[I] = 60,27$  хв. Інтенсивність вхідного потоку, тобто середня кількість поїздів, що прибувають за одиницю часу  $\lambda = 0,0166$  поїздів/хв. Статистична дисперсія інтервалу прибуття  $D[I] = 991$  хв<sup>2</sup>. Середньоквадратичне відхилення інтервалу прибуття  $\sigma[I] = 31,5$  хв. Коефіцієнт варіації інтервалів прибуття – відносна міра розсіву випадкової величини  $\nu = 0,52$ .
3. За допомогою методів сіткового планування скорочено час на переробку транзитного вагону на станції, оптимізований критичний шлях проходить через події 1-3-4-5-7- 9-11-12 і становить 70 хв, тобто скорочений у порівнянні з попереднім на 40 хв. При середньодобовій переробці на станції 4000 вагонів це дозволяє зберегти 973 000 вагоно-год на рік. Робочий парк знижується на 110 вагонів, що переробляють, на добу.
4. Можливо й подальше скорочення тривалості критичного шляху. Для цього треба продовжити аналіз, розглядаючи кожну роботу як окремий процес і зобразивши його за допомогою сіткового графіка. Домігшись скорочення якої-небудь із робіт, необхідно перешикувати мережу, знову визначити критичний шлях і проаналізувати роботи, які його становлять.
5. Розглянуто питання ризику та невизначення різних інтервалів часу. Невизначеність є загальносистемною властивістю, а не подією, як наприклад, ризик. Незважаючи на гадану тривіальність цієї заяви, вона

досить корисна, тому що поняття невизначеності й ризику часто плутаються. Ризик виникає через невизначеність. Невизначеність розділяють на види незнання, невідомості й ризику. Якщо в нас немає ніякої інформації для прогнозування поведження системи, то мова йде про незнання.

6. Планування поїзної роботи, управління рухом поїздів, розвиток пропускнуої здатності залізничних ліній і вибір їх 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.