

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ МІСЦЕВОЇ РОБОТИ НА
ДІЛЬНИЦІ ЗАЛІЗНИЦІ НА ОСНОВІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ПЛАНУВАННЯ ПОДАЧІ ТА ЗАБИРАННЯ ВАГОНІВ

Пояснювальна записка і розрахунки

до кваліфікаційної роботи

ПЕОМР.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д24
спеціальності 275 / 275.02 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)



Владислав МИРОШНИЧЕНКО

Керівник: доцент, к-т. техн. наук

Олексій КОСТЕННИКОВ

Рецензент: професор, д-р. техн. наук

Андрій ПРОХОРЧЕНКО

2026 р.

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 13 слайдів презентації, 98 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 13 рисунків, 6 таблиць, 23 літературних джерел.

Ключові слова: місцева робота, подача та забирання вагонів, оперативне планування, залізнична дільниця, простій вагонів, нерівномірність вагонопотоків.

Об'єкт дослідження — процес організації місцевої роботи на дільниці залізниці.

Предмет дослідження — технологія планування подачі та забирання вагонів на станціях залізничної дільниці.

У кваліфікаційній роботі розглянуто підвищення ефективності організації місцевої роботи шляхом удосконалення планування подачі та забирання вагонів. Запропоновано підхід до вибору раціонального варіанта обслуговування станцій дільниці з урахуванням нерівномірності вагонопотоків, тривалості вантажних операцій, часу очікування подачі та забирання вагонів і наявних локомотивних ресурсів. Удосконалення технології планування передбачає узгодження роботи збірних і вивізних поїздів та диспетчерських локомотивів із готовністю вагонів до виконання наступних операцій. Запропоновані рішення можуть використовуватися оперативним персоналом для обґрунтування черговості та періодичності обслуговування станцій, скорочення непродуктивних простоїв вагонів і зменшення експлуатаційних витрат.

ABSTRACT

This qualification work includes 13 presentation slides, 109 pages of explanatory notes in A4 format, containing 13 figures, 6 tables, and 23 literary sources.

Keywords: local railway operations, wagon placement and collection, operational planning, railway section, wagon dwell time, wagon flow variability.

Object of the research — the process of organizing local railway operations within a railway section.

Subject of the research — the planning technology for wagon placement and collection at stations within a railway section.

The qualification thesis addresses the improvement of local railway operations through enhanced planning of wagon placement and collection. An approach is proposed for selecting a rational station service arrangement that accounts for wagon flow variability, the duration of loading and unloading operations, waiting times for wagon placement and collection, and available locomotive resources. The improved planning technology involves coordinating local freight trains, transfer trains, and dedicated local-service locomotives with wagon readiness for subsequent operations. The proposed solutions can support operational personnel in determining the sequence and frequency of station servicing, reducing unproductive wagon dwell time, and lowering operating costs.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доцент, к-т техн. наук

 Антон КОВАЛЬОВ

«23» лютого 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мирошниченку Владиславу Олексійовичу

1 Тема «Підвищення ефективності організації місцевої роботи на дільниці залізниці на основі вдосконалення технології планування подачі та забирання вагонів»

керівник Костенніков Олексій Михайлович, канд. техн. наук, доцент

затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами перевезень від 23 лютого 2026 року № 06/26

2 Строк подання студентом роботи 19 червня 2026 року

3 Вихідні дані до роботи. Система управління поїзної роботи на Південній залізниці, Вагонопотоки досліджуваного полігону, Показники роботи залізниць України, Технологія роботи дорожнього центру управління перевезеннями на Південній залізниці, Інструкція поїзного диспетчера.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці. 1) Теорія і практика організації і управління місцевою роботою на вітчизняних та закордонних залізницях. 2) Удосконалення технології організації місцевої роботи на дільницях. 3) Розробка системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників для ефективного управління місцевою роботою. 4) Визначення економічного ефекту для полігону залізниці від впровадження запропонованої СППР поїзного диспетчера

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу.

1) Дослідження тривалості очікування операцій, що мають обмежувальний характер в загальному часі доставки вагонів

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, к-т. екон. наук		

7. Дата видачі завдання 23 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

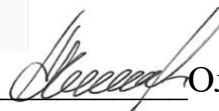
Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1) Теорія і практика організації і управління місцевою роботою на вітчизняних та закордонних залізницях.	06.04..26	виконано
2) Удосконалення технології організації місцевої роботи на дільницях.	26.04.26	виконано
3) Розробка системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників для ефективного управління місцевою роботою.	10.05.26	виконано
4) Визначення економічного ефекту для полігону залізниці від впровадження запропонованої СППР поїзного диспетчера	01.06.26	виконано
Оформлення роботи	19.06.26	виконано

Студент



Владислав МИРОШНИЧЕНКО

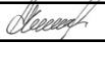
Керівник



Олексій КОСТЕННІКОВ

Зміст

Вступ	7
1 Теорія і практика організації і управління місцевою роботою на вітчизняних та закордонних залізницях	10
1.1 Аналіз організації місцевої роботи на залізницях України та за кордоном	10
1.2 Аналіз закордонного досвіду організації місцевої роботи	18
1.3 Аналіз досліджень з питань організації місцевої роботи	21
1.4 Дослідження сезонної нерівномірності перевезень вантажів та її вплив на організацію місцевої роботи дільниць	25
2 Удосконалення технології організації місцевої роботи на дільницях	36
2.1 Формалізація технології організації місцевої роботи на дільницях	36
2.2 Модель раціональної організації місцевої роботи	41
2.2.1 Організація ступінчатих маршрутів	43
2.2.2 Організація і просування збірних поїздів	50
2.2.3 Доцільність призначення вивізного поїзду	58
2.3 Пропозиції з удосконалення технології регулювання порожнього рухомого складу	64
3 Розробка системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників для ефективного управління місцевою роботою	71
3.1 Принцип побудови системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників	74
3.2 Визначення задач які повинна вирішувати система підтримки прийняття рішень оперативних працівників при управлінні місцевою роботою	77

					ПЕОМР.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Підвищення ефективності організації місцевої роботи на дільниці залізниці на основі вдосконалення технології планування подачі та забирання вагонів	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Мирошніченко						98
Перевір.		Костенніков						
Реценз.						УкрДУЗТ		
Н. Контр.		Костенніков						
Затверд.		Ковальов						

3.3 Структура та алгоритм функціонування системи по ефективному управлінні місцевою роботою дільниці	74
3.4 Програмна реалізація системи підтримки прийняття рішень для оперативного управління місцевою роботою	80
4 Визначення економічного ефекту для полігону залізниці від впровадження запропонованої СППР поїзного диспетчера	82
Висновок	89
Список використаних джерел	91
Додаток А Дослідження тривалості очікування операцій, що мають обмежувальний характер в загальному часі доставки вагонів	94

					ПЕОМР.300.00.00.000 ПЗ	5Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

Актуальність. Ефективність вантажних перевезень залізничним транспортом значною мірою залежить від узгодженості операцій, які виконуються на станціях і дільницях під час обслуговування місцевих вагонопотоків. Своєчасна подача вагонів під вантажні операції та їх забирання після завершення навантаження або вивантаження впливають на тривалість доставки вантажів, обіг вагонів і використання локомотивного парку. Порушення послідовності та строків виконання цих операцій спричиняє накопичення вагонів на станціях, збільшення непродуктивних простоїв і додаткові експлуатаційні витрати.

Місцева робота на залізничній дільниці охоплює розвезення вагонів до станцій призначення, забезпечення пунктів навантаження порожнім рухомим складом, подачу вагонів до місць виконання вантажних операцій, їх забирання та подальше відправлення. Організація цих процесів потребує узгодження роботи станцій, вантажовласників, збірних і вивізних поїздів та диспетчерських локомотивів. При цьому план обслуговування станцій має враховувати фактичне надходження вагонів, готовність вантажних фронтів, тривалість вантажних операцій і можливості використання локомотивів.

Нерівномірність вагонопотоків та коливання обсягів навантаження і вивантаження ускладнюють визначення раціональних строків подачі та забирання вагонів. Застосування незмінної періодичності обслуговування без урахування поточної експлуатаційної ситуації може призводити як до тривалого очікування вагонів, так і до недостатнього використання локомотивів. Тому під час оперативного планування необхідно враховувати взаємозв'язок між витратами на обслуговування станцій і втратами, пов'язаними з простоєм рухомого складу.

Одним із напрямів підвищення ефективності місцевої роботи є вдосконалення технології планування подачі та забирання вагонів на основі вибору економічно доцільного варіанта обслуговування станцій. Такий

підхід передбачає визначення черговості виконання операцій, періодичності обслуговування та способу використання локомотивних ресурсів відповідно до фактичної потреби станцій. Його застосування створює передумови для скорочення часу очікування транспортних операцій, поліпшення використання рухомого складу та забезпечення своєчасного відправлення вагонів.

Отже, актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю вдосконалення оперативного планування місцевої роботи на залізничній дільниці, зокрема узгодження подачі та забирання вагонів із виконанням вантажних операцій і наявними експлуатаційними ресурсами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота за своїм змістом відповідає пріоритетним напрямам Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, схваленої постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 року № 1550, та операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках.

Метою роботи є підвищення ефективності організації місцевої роботи на дільницях Ромодан — Бахмач, Гребінка — Бахмач та Прилуки — Ніжин шляхом удосконалення технології планування подачі та забирання вагонів, що забезпечує скорочення непродуктивних простоїв рухомого складу та зменшення експлуатаційних витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати наявну технологію організації місцевої роботи та порядок планування подачі й забирання вагонів на станціях досліджуваних дільниць;

- визначити чинники, що впливають на тривалість очікування подачі та забирання вагонів, з урахуванням нерівномірності вагонопотоків і тривалості вантажних операцій;

- удосконалити підхід до визначення раціональної черговості та періодичності обслуговування станцій збірними і вивізними поїздами та диспетчерськими локомотивами;

– сформувати модель планування подачі та забирання вагонів з урахуванням технологічних обмежень і витрат на виконання місцевої роботи;

– оцінити ефективність запропонованих рішень за показниками простою вагонів, використання локомотивних ресурсів та експлуатаційних витрат.

Об’єкт дослідження — процес організації місцевої роботи на дільниці залізниці.

Предмет дослідження — технологія планування подачі та забирання вагонів на станціях залізничної дільниці.

Методи дослідження. Для дослідження організації місцевої роботи використано системний аналіз технологічних процесів обслуговування станцій, методи математичної статистики для оцінювання нерівномірності вагонопотоків і тривалості очікування операцій, математичне моделювання для формування варіантів планування подачі та забирання вагонів, а також порівняння експлуатаційних витрат для обґрунтування раціонального варіанта обслуговування станцій.

Наукова новизна полягає в удосконаленні підходу до планування подачі та забирання вагонів на станціях залізничної дільниці, який передбачає узгоджене врахування нерівномірності вагонопотоків, готовності вагонів після завершення вантажних операцій та доступності локомотивних ресурсів. Вибір варіанта обслуговування здійснюється з урахуванням сукупних витрат на роботу локомотивів і простій вагонів, що дозволяє обґрунтувати раціональну черговість та періодичність виконання транспортних операцій.

Практичне значення. Запропонований підхід до планування подачі та забирання вагонів може використовуватися для формування змінно-добового плану місцевої роботи та його оперативного коригування відповідно до фактичної ситуації на дільниці. Застосування розроблених рішень дає можливість обґрунтувати порядок обслуговування станцій,

узгоджувати роботу локомотивів із готовністю вагонів і вантажних фронтів, скорочувати непродуктивні простої та зменшувати експлуатаційні витрати.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідались, обговорювались та схвалені на 22-й науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика». Харків, УкрДУЗТ, 5-6 червня 2026 р.

1 Теорія і практика організації і управління місцевою роботою на вітчизняних та закордонних залізницях

1.1 Аналіз організації місцевої роботи на залізницях України та за кордоном

Організацією місцевої роботи на залізницях почали займатися в часи виникнення перших залізниць.

Перші роки першого десятиріччя минулого століття можна вважати періодом зародження в експлуатаційній роботі залізниць нового терміну – організація місцевої роботи.

Протягом всієї історії розвитку залізничного транспорту спеціалісти удосконалюють теорію і практику експлуатаційної роботи, приділяючи значну увагу організації місцевої роботи на станціях і дільницях.

Місцева робота включає в себе розвезення місцевого вантажу до пунктів призначення; передачу місцевого вантажу на інші підрозділи даної залізниці; забезпечення станцій навантаження порожніми вагонами; вивантаження і навантаження вагонів; забезпечення своєчасного відправлення місцевих вагонів після закінчення вантажних операцій.

Напрямок розвитку теорії місцевої роботи є вирішення цілого ряду оптимізаційних задач:

- змінно-добового планування місцевої і вантажної роботи залізниць і дирекцій;
- поточного планування поїзної роботи на технічних станціях
- поточного планування розвезення і забирання місцевого вантажу на дільницях;
- складання планів-графіків місцевої роботи;
- оптимізації плану формування місцевих поїздів;

- оптимального прокладання місцевих поїздів на графіку руху;
- оптимізації роботи на проміжних станціях;
- оптимального розподілу порожніх вагонів під навантаження;
- оптимізації подач і черговості обслуговування вантажних фронтів.

На сьогодні на залізницях України збереглася традиційна технологія планування місцевої роботи, яка заснована на таких основних положеннях:

- формування масиву заявок на навантаження виконується за допомогою Автоматизованої системи місцевого планування АС МЕСПЛАН, але при цьому зберігається технологія «ручного» збирання підтверджених вантажовідправником заявок на навантаження вагонів;
- функції планування забезпечення заявок на навантаження вагонів покладені на диспетчерів - вагонорозподільників;
- поточне планування розвозу місцевих вагонів і відправлення навантажених вагонів і порожніх в регулювання покладено на поїзних диспетчерів дільниць.

Керування поїзною та маневровою роботою на дільницях здійснюється поїзними диспетчерами дорожнього центру управління по перевезенню вантажів і пасажирів. Метою планування місцевої роботи дирекції є забезпечення (в конкретних умовах кожної доби або зміни) виконання плану навантаження і вивантаження.

Оперативне планування поїзної і вантажної роботи передбачає розробку добових і змінних планів роботи Укрзалізниці, залізниці, дирекцій і станцій. Добовий план розробляється і затверджується до 13 години доби, що передуює плановій добі, з відокремленням завдань на першу половину доби, і доводиться до лінійних станцій підрозділів не пізніше 15 години. Основною формою планування являється план роботи дирекції - дільниць станцій на зміну. Він складається на основі добового і змінного завдання управління залізниці. Розміри планування навантаження і вивантаження залежить від положення станцій до початку плануємого періоду, наявності місцевого вантажу на дирекції до розвозу і на місцях, інформації про підхід

вантажу і технологічних норм на обробку поїздів і вагонів розрахованих з урахуванням маневрових засобів і рівня механізації вантажних робіт на станціях, кількості порожніх вагонів для забезпечення заявок на навантаження.

При складанні плану місцевої роботи враховується добова і внутрішньодобова нерівномірність прибуття вагонів під вивантаження і підведення порожніх від навантаження, а також варіанти розвезення вагонів під вивантаження і забирання після навантаження резервними, вивізними і диспетчерськими локомотивами, за рахунок чого прискорюється доставка вагонів. Обслуговування станцій дільниці тим чи іншим локомотивом здійснюється за вказівкою поїзного диспетчера виходячи з оперативної ситуації на дільниці.

Добове планування можливо умовно розподілити на планування вивантаження і навантаження вагонів по дільницям. Добове планування навантаження виконується на основі таких даних:

- виконання плану навантаження за попередню добу, наявність не вивантажених вагонів і вагонів, які знаходяться під вивантаженням на станціях дирекції;
- підхід вагонів під навантаження до станцій дирекції та дільниці в складі місцевих поїздів (розвезення) і транзитних поїздів (групи відчеплення), а також поїздів в розформування на технічних станціях дирекції;
- інформація про можливі обмеження по вивантаженню вагонів (тимчасове зачинення вантажних фронтів тощо).

В загальному вигляді план вивантаження вагонів визначається за формулою:

$$B = N_{підх} + N_{дир} + N_{нев} - N_{с}, \quad (1.1)$$

де $N_{підх}$ - кількість вагонів на підході до станцій дирекції в складі місцевих та транзитних поїздів, ваг.;

N_{dir} - наявність місцевих вагонів на станціях дирекції під вивантаження на інші станції дирекції, ваг.;

$N_{нев}$ - наявність не вивантажених вагонів на станціях дирекції, ваг.;

N_{ε} - наявність вагонів на станціях дирекції під вивантаженням, ваг.

Добове планування навантаження виконується на основі заявок вантажовідправників на навантаження в вагони, в тому числі відправницькими маршрутами. Співробітники ДЦУ спільно з відділом комерційної роботи та маркетингу повинні виконувати аналіз виконання плану навантаження за минулу добу на звітній період. При цьому необхідно оцінювати:

- загальне виконання станціями дирекції плану навантаження по роду рухомого складу, роду вантажу (в вагонах і тоннах), по вантажовідправникам;
- недовантаження, допущені за попередню добу і які потребують виконання в наступній добі, причини недовантаження;
- наявність вагонів під навантаженням на звітній період.

Працівники відділу станцій розглядають можливість забезпечення заявок на навантаження порожніми вагонами, які знаходяться на дирекції, звільняються з-під вивантаження або надходять під вивантаження, формують та видають завдання для станцій (маневровим диспетчерам сортувальних станцій, черговим по станціям, на яких є ПТО) на відбирання і підготовку вагонів під навантаження, а також проект запиту в ДЦУ для підсилення додаткових порожніх вагонів необхідного роду та придатності.

Таким чином, проект плану навантаження формується наступним чином:

$$H = 3 + N_{нед} + N_n, \quad (1.2)$$

де 3- заявки, які прийняті залізницею на перевезення вантажів в вагонах, ваг.;

$N_{нед}$ - допущені з вини залізниці або вантажовідправника недовантаження за минулу добу, ваг.;

N_n - кількість вагонів, які знаходяться під навантаженням на звітній період, ваг.

Для більш точного планування розмірів навантаження, вивантаження і організації виконання цих планів ДНН або заступник ДНН щодобово о 10 і 15 годині проводить селекторну нараду з начальниками станцій на якій робить оперативний розбір виконання плану минулої доби і уточнює наявність порожніх вагонів, а також можливості використання вагонів із-під вивантаження, дає завдання кожній станції на попередню добу. Після уточнення через ДНЦО вищезазначеної інформації про вивантаження та навантаження, начальник відділу станцій або його заступник дає завдання черговому по дирекції про розвезення та забирання місцевого вантажу по станціях дільниці, а черговий по дирекції передає наказ черговому по регіону дорожнього центру управління по перевезенню вантажів і пасажирів.

Розвезення місцевого вантажу по станціям дільниці та забирання вагонів із станцій здійснюється збірними поїздами, а також диспетчерськими локомотивами. Планування роботи збірного поїзда на дільниці здійснює поїзний диспетчер по узгодженню з начальником відділу станцій дирекції (заступником начальника відділу станцій) або черговим відповідальним працівником дирекції. Відчеплення вагонів від збірного поїзда виконується на станціях, де закріплений маневровий локомотив з наступним довозом місцевого вантажу на станції диспетчерським локомотивом. Манєврова робота на станціях дільниць виконується манєвровими локомотивами ЧМЕ 3.

На сьогодні забезпечення процесу поточного планування засобами АСУ недостатньо в плані підтримки прийняття управлінських рішень.

Планування подач і забирань вагонів безпосередньо до вантажних фронтів виконується начальником станції, а для невеликих проміжних станцій з невеликими обсягами роботи начальником опорної станції.

При існуючій системі організації оперативного планування і управління місцевою роботою, коли поїзний диспетчер зосереджує основну увагу на організації поїзної роботи дільниці (пропуску вантажних поїздів), а розвезення місцевих вагонів, організується, як кажуть, «по можливості», за виключенням випадків, коли збірні, вивізні і передаточні поїзди відправляються і прямують за твердими нитками графіку руху поїздів. Функції планування накопичення составів вивізних та передаточних поїздів на сортувальних і великих дільничних станціях покладені повністю на маневрових диспетчерів станцій, задача яких – забезпечити «виштовхування» поїздів з власної станції при умові виконання середньої ваги сформованого поїзда. Маневровий диспетчер, як правило, не може відслідкувати постійно ситуацію на станціях прилеглого району місцевої роботи, в тому числі, на сусідніх станціях вузла, і не може прийняти рішення, яке покращить взаємодію станцій і прискорить прослідкування місцевих вагонопотоків, що нерідко призводить до втрати часу при накопиченні і формуванні місцевих поїздів, виникненню фактів невиконання термінів доставки вантажів, несвоєчасного підведення порожніх вагонів під навантаження і завантажених під вивантаження.

Аналіз загального часу доставки вантажу від станції відправлення до станції призначення (рисунок 1) вказує на те, що в існуючій технології доставки найбільше часу займає: очікування забирання зі станції навантаження та простій вагонів на станціях переробки. Отже, виникає необхідність удосконалення організації місцевої роботи в плані створення системи, що дозволить скоротити вищезазначені простой вагонів.

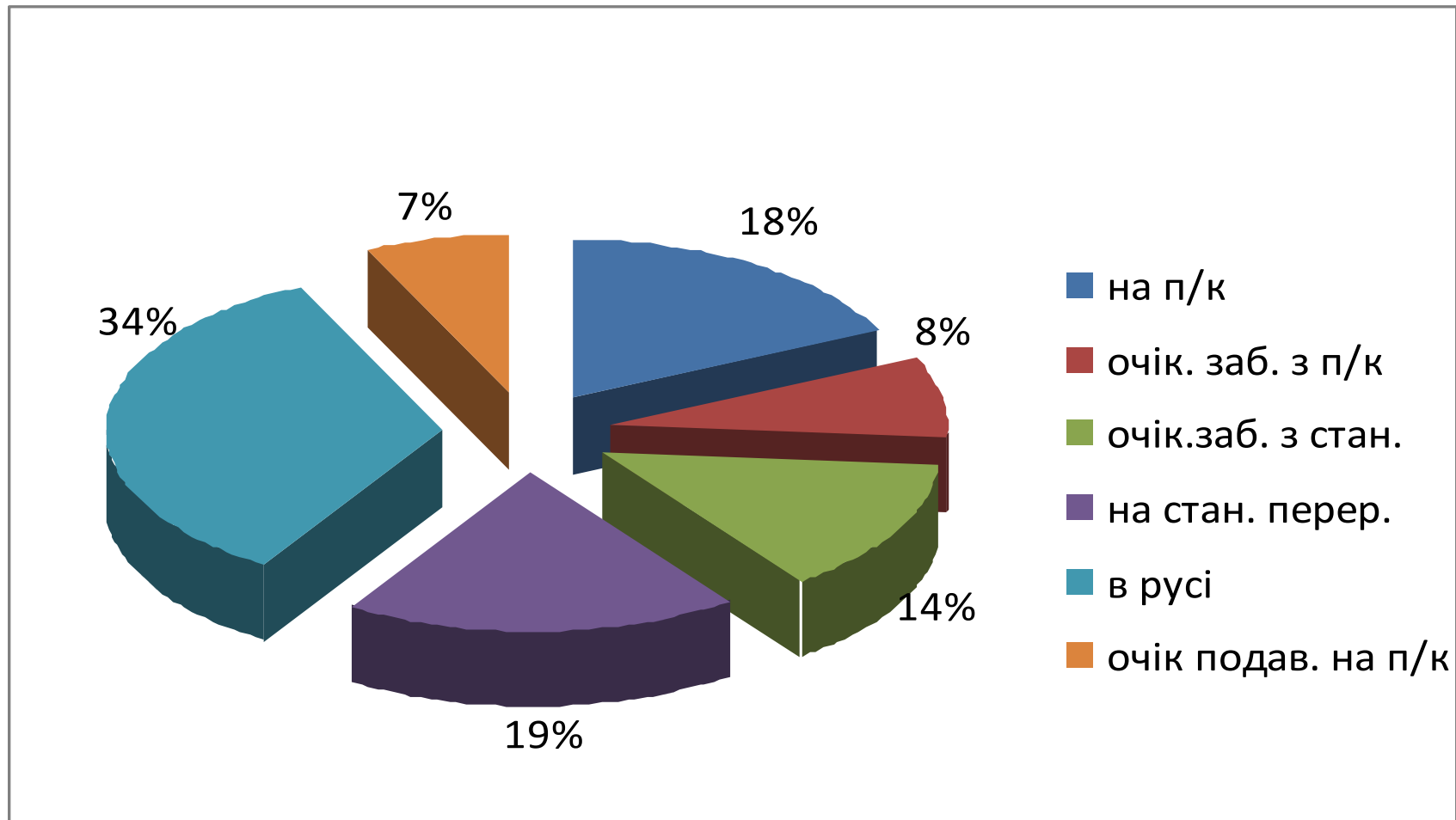


Рисунок 1.1 - Розподіл часу в загальному ланцюзі доставки вантажу

В додатку А наведено дослідження тривалості простоїв, що мають обмежувальний характер в загальному часі доставки вантажу.

1.2 Аналіз закордонного досвіду організації місцевої роботи

За кордоном розроблена програма метою даного дослідження є розробка методики і алгоритмів, для оптимізації розвезення місцевого вантажу. Змінна інформація: прогноз розміщення і зайнятості маневрових локомотивів до початку періоду, прогноз загальної наявності вагонів в районах до початку запланованого періоду, прогноз на всю глибину періоду готовності груп вагонів до вивезення.

На більшості залізниць працюють центри управління місцевою роботою (ЦУМР). Вони забезпечують виконання плану навантаження і норм вивантаження по дирекції залізниці на основі раціональної організації доставки вагонів з місцевим вантажем на станції і розподілу порожніх вагонів для навантаження по завданню дорожнього центру управління перевезеннями (ДЦУП) [3].

В склад диспетчерського персоналу ЦУМР входять: старший диспетчер ЦУМР, черговий по дирекції залізниці, диспетчери по місцевій роботі. У виконанні виробничих завдань диспетчерський персонал ЦУМР підпорядковується дорожньому диспетчеру (керівнику району управління) і диспетчеру по регулюванню вагонного парку району управління ДЦУП залізниці, в рамках якого функціонує ЦУМР, і взаємодіє з диспетчерами дорожнього центру управління з питань виконання графіку руху і плану формування місцевих поїздів.

В межах полігону управління ЦУМР може бути організована необхідна кількість технологічних районів місцевої роботи (РМР). Кожен РМР формується на базі великої технічної або вантажної станції дільниці (опорна

станція) і зв'язаних з нею по технології місцевої роботи і територіальному розташуванні інших станцій. В якості опорної станції може виступати сортувальна, вантажна або дільнична станція (позакласна, 1 і 2 класу).

В ЦУМР організується безперервна інформаційна взаємодія з ДЦУП, черговим по станціях, маневровим і станційним диспетчерам станцій, а також транспортними службами організацій, залізничні колії незагального користування обслуговуються залізницею

Технологія диспетчерського управління місцевою роботою передбачає оперативний контроль за доставкою завантажених і порожніх вагонів з моменту їх надходження з сусідніх залізниць і дирекцій залізниць до подавання до пунктів навантаження і вивантаження вагонів і здавання із залізниці (з передаванням під управління ДЦУП або ЦУМР сусідньої залізниці). При цьому регулювання місцевою роботою між дирекціями залізниць, доставка місцевих вагонів від міжзалізничних стиків до опорної станції РМР, черговість обслуговування дільниць місцевої роботи залізниці поїзним локомотивами знаходяться в компетенції ДЦУП.

ЦУМР виконує наступні функції:

- оперативне планування і управління місцевою роботою на дирекції залізниці з метою виконання технічних норм експлуатаційної роботи по навантаженню, вивантаженню, розвезенню, передачі місцевого вантажу і порожніх вагонів, використанню рухомого складу;
- забезпеченні станцій відділку залізниці вагонами під навантаження відповідного типу і роду з урахуванням приналежності вагона і заявок вантажовідправників;
- виконання завдань ДЦУП по навантаженню і вивантаженню, формуванню і відправленню наскрізних і місцевих (внутрішньозалізничних) поїздів, виконанню технічних норм експлуатаційної роботи відділку залізниці;
- виконання технологічних нормативів по переміщенню і підготовці вагонів в межах дирекції залізниці;

- взаємодія з вантажовідправниками і вантажоодержувачами на території РМР, із структурними підрозділами Центру фірмового транспортного обслуговування і перевізниками вантажу;
- організація роботи з власниками залізничних колій незагального користування на основі єдиних технологічних процесів роботи цих колій і станцій примикання;
- взаємодія з вагонним депо, пунктами технічного обслуговування, промислово-пропарочними станціями і пунктами підготовки вагонів під навантаження в організації підготовки технічно придатних вантажних вагонів під навантаження (для РМР, на станціях яких розміщені вагонні депо і пункти підготовки вагонів під навантаження);
- ефективне використання поїзних та маневрових локомотивів, які заняті в виконанні місцевої роботи.

Досвід функціонування ЦУМР показав позитивні результати: час обороту місцевого вагону за липень 2005 року (в порівнянні з плановими завданнями) скоротився на 9,6 год. Дані результати досягнуті за рахунок своєчасного розвезення місцевого вантажу, а також прискореного доведення вагонів під вивантаження (вивантаження вагонів збільшилось в середньому на 24 вагони за добу, а зростання вивантаження до рівня минулого року склало 9%).

На мережі Польських залізниць створено цілий ряд імітаційних моделей обслуговування полігонів, роботи сортувальних станцій та побудови графіку руху поїздів. Сортувальна робота виконується на 15 сортувальних станціях, близько 300 так названих «маневрових» станцій виконують формування поїздів на сортувальні станції, а також подачі на вантажні фронти та прилеглі проміжні станції, тим самим організовують місцеву роботу і частково вивільняють сортувальні станції від переробки місцевого вагонопотоку [5]. При цьому близько 80% поїздів відправляються за твердими нитками графіку руху поїздів, незалежно від маси та довжини

складу, що, в свою чергу є суттєвим недоліком такої організації вагонопотоку.

На залізницях Німеччини відокремлюються сортувальні, дільничні та допоміжні станції, а також «ближні» та «дальні» полігони, по яким курсують наскрізні поїзди між сортувальними станціями. На «ближньому» полігоні знаходяться вузлові та допоміжні станції. Між вузловими і допоміжними станціями курсують збірні поїзди за твердими нитками графіку, обумовлені графіком роботи клієнтів. Від сортувальної до вузлової станції та в зворотному напрямку прямують одnogrupні дільничні поїзди, в окремих випадках – групові дільничні поїзди (наприклад, при обслуговуванні декількох вузлових станцій). Така організація вагонопотоку на DB скоротила число маневрових операцій та відповідні витрати, а також строки доставки вантажу. Але значним недоліком такої організації вантажопотоку є збільшення обороту вагона.

На залізницях Австралії в 1993 році було введено систему PROWESS. Дана система оснований на твердому графіку руху вантажних поїздів з урахуванням інтересів вантажовідправників. Така технологія дозволяє раціонально використовувати ресурси локомотивного та вагонного парку та гарантує своєчасне обслуговування поїздів. Недоліком даної системи є неминучість відправлення неповносоставних та неповновагових поїздів.

На канадських та Американських залізницях розроблені нові системи керування, які сприяють підвищенню експлуатаційних показників на залізницях країн. Технологічні особливості системи дозволяють експлуатувати її в умовах виникнення нестандартних ситуацій, а також забезпечувати безперервний контроль за рухом поїздів.

Таким чином, із аналізу технологій роботи закордонних залізниць можна зробити висновок, що на сучасному етапі роботи залізничного транспорту значна увага приділяється підвищенню якості обслуговування клієнтів, скорочення строків доставки вантажів та експлуатаційних витрат,

особливо за рахунок початкового та кінцевого етапів доставки вантажів, тобто за рахунок організації місцевої роботи.

1.3 Аналіз досліджень з питань організації місцевої роботи

Основна задача системи організації місцевої роботи – забезпечення ефективності транспортного конвеєра в умовах нерівномірності вагонопотоків з метою зменшення часу обороту місцевого вагону, скорочення простою технічних засобів і людських ресурсів на вантажно - розвантажувальних фронтах, удосконалення взаємодії з іншими видами транспорту та великими підприємствами, а також раціонального використання локомотивів і вагонів.

Майже половина всієї вантажної роботи виконується на проміжних станціях, більшість з яких обслуговуються збірними поїздами. Упорядкування роботи цих поїздів є однією з найважливіших умов удосконалення організації місцевих вагонопотоків і повинно проводитися на основі твердого графіку руху поїздів.

Важливу роль в організації місцевої роботи відіграють вивізні поїзди. Їх призначають для обслуговування значних стійких вагонопотоків між технічною і однією або декількома проміжними станціями. На проміжних станціях, які обслуговує вивізний поїзд, забезпечується скорочення простою місцевих вагонів. В умовах роботи локомотивів, які обслуговують збірні поїзди на коротких тягових плечах, вивізні поїзди використовуються головним чином для скорочення необхідної кількості збірних поїздів.

Введення вивізних поїздів забезпечує не тільки скорочення кількості збірних поїздів, але є одним із основних факторів по забезпеченню збільшення довжини ділянок, на яких обертаються збірні поїзди. Крім цього, широке впровадження вивізних поїздів дозволяє забезпечити

необхідну частоту подавань-забирань місцевих вагонів на передвузлові проміжні станції, які виконують значний обсяг місцевої роботи по навантаженню вивантаженню вагонів. Це достоїнство вивізних поїздів пояснюється тим, що вони курсують не по всій дільниці, а лише в передвузловій зоні на відстані 10-50 км.

В залежності від місцевих умов для організації вивізного руху використовуються спеціальні вивізні, диспетчерські та маневрові локомотиви. При необхідності вивізні локомотиви використовуються і в маневровій роботі по обслуговуванню вантажних фронтів та під'їзних колій на проміжних станціях.

Методика по визначенню оптимального варіанту освоєння місцевих вагонопотоків вивізними поїздами передбачає обіг тільки повновагових вивізних поїздів, але розміри вивізного руху потрібно встановлювати не по максимальній, а по оптимальній з економічної точки зору ваговій нормі. В подальшому визначення ефективності вивізного руху проводиться за допомогою ретельних техніко-економічних розрахунків на основі найбільш раціонального використання вивізних локомотивів [8].

Організація місцевої роботи крупних залізничних вузлів, в основі яких лежить стабільний вузловий графік, передбачає необхідність роботи диспетчерських локомотивів. Диспетчерські локомотиви виділяються для розвезення і забирання вагонів на проміжних станціях всередині дільниці. В цьому випадку збірні поїзди зупиняються не на всіх, а тільки на опорних проміжних станціях по розвезенню і забиранню місцевого вантажу диспетчерськими локомотивами. Обсяги роботи, які припадають на диспетчерські локомотиви, залежать від характеру нерівномірності руху транзитних поїздів та кількості додаткових передаточних і збірних поїздів, які виникли понад графік по причині нерівномірності вагонопотоків [9].

Для зменшення простою вагонів на сортувальних станціях, які спеціалізуються по обслуговуванню прилеглих дільниць, тобто організовують місцеву роботу на полігоні, запропоновано виконувати

«пошаговую» концентрацію сортувальної роботи з послідовним виключенням переробки вагонопотоку дальніх призначень (транзит з переробкою) станціями дільниці (сортувальними та дільничними). Недоліком даної системи є відсутність можливості виконувати аналіз обслуговування станціями районів організації місцевої роботи.

Розміри перевезень на залізничному транспорті зазнають значних коливань. З однієї сторони ці коливання обумовлені високим ступенем завантаження пропускної спроможності залізничних ліній, з другої - сезонністю перевезень деяких вантажів [10]. Нерівномірність перевезень часто посилює відмови у роботі технічних пристроїв – локомотивів, вагонів, вантажно-розвантажувальних машин і ін. Все це негативно впливає на якість обслуговування клієнтів.

Безперебійна перевізна робота залізничного транспорту може бути забезпечена за наявності визначених резервів технічних засобів і пропускної спроможності залізниць. На залізничному транспорті одним з найбільш чутливих до коливань, в пред'явленні вантажів до перевезення, є вагони. В таких умовах ефективним засобом, який дозволить забезпечити ритмічне надання вантажовідправникам навантажувальних ресурсів, є створення в районі навантаження технологічного резерву порожніх вагонів.

В раніше виконаних роботах величину резерву порожніх вагонів встановлюють в залежності від добових коливань навантажувальних ресурсів. При цьому вважали, що надходження порожніх вагонів на вантажну станцію з достатньою точністю описується нормальним законом. Але у вказаних роботах не розглядали вплив внутрішньодобових коливань надходження порожніх вагонів на вантажну станцію. Насправді порожні вагони передаються вантажовідправнику декілька разів за добу окремими партіями, тому вплив внутрішньодобової нерівномірності на розмір резерву може бути дуже значимим.

Методика [11] дозволяє визначати оптимальну величину резерву вагонів для більшості вантажних станцій масового навантаження вантажів з

урахуванням внутрішньодобової нерівномірності перевезень. Нормування резерву може виконуватися, як для його оперативного використання в роботі, так і при аналізуванні функціонування станції і її удосконалення. Але визначення резерву вантажних вагонів проводилося без достатніх економічних розрахунків, тому не дозволяє оптимізувати його розміри

В подальшому, задачу оптимальних розмірів резерву парка вагонів, призначених для перевезення в умовах нерівномірності, підтвердили детальними техніко-економічними розрахунками [5]. Але для забезпечення мінімальних експлуатаційних витрат, деякі рекомендації потребують уточнення і доповнення.

В умовах значних добових коливань місцевих вантажопотоків збірні поїзди часто не виконують зупинки, які передбачені графіком руху поїздів. Із-за нерівномірності підходів вагонів такі поїзди, як правило, мають кількість груп підбірки вагонів менше, ніж число станцій, на яких передбачено зупинки. Диспетчери мають можливість, не очікуючи збірного поїзду, відправляти місцеві вагони з резервними локомотивами або транзитними поїздами, використовуючи час їх стоянки для причеплення або відчеплення вагонів. В роботах вчених було досліджено закони, яким підпорядковується розподіл прибуття і відправлення вагонів на проміжних станціях. Отриманий аналіз в подальшому був врахований при визначенні необхідної кількості зупинок збірних поїздів, що дозволило створити більш сприятливі умови для розробки і виконання твердого графіку руху, забезпечити плановість в роботі проміжних станцій і значно підвищити дільничну швидкість.

Проведений огляд показує, що на всіх етапах роботи залізничного транспорту вчені, інженери, передовики виробництва зробили значний внесок в області теоретичних розробок, пов'язаних з раціональною організацією місцевої роботи дільниць, внесли багато корисних теоретичних і практичних пропозицій щодо покращення і удосконалення процесу

місцевих перевезень. Але при організації місцевих вагонопотоків в повній мірі не враховувались особливості нерівномірності сезонних перевезень.

1.4 Дослідження сезонної нерівномірності перевезень вантажів та її вплив на організацію місцевої роботи дільниць

Залізничному транспорту, як і транспорту взагалі, притаманні постійні коливання обсягів перевізної роботи.

Під коливаннями обсягів перевізної роботи мається на увазі:

зміна кількості відправлених вантажів із навантажувальних районів за сезонами року;

зменшення навантаження в вихідні дні;

припинення вантажно-розвантажувальних робіт окремими підприємствами в нічний час;

добові коливання струменів вагонопотоків та розмірів руху;

згущення підводу поїздів до стикових пунктів переходу з залізниці на залізницю і т.д.

Перераховані вище коливання відбуваються в часі, тому їх прийнято називати нерівномірністю залізничних перевезень у часі[7]

Нерівномірність перевезень в часі призводить до значного погіршення використання рухомого складу, непродуктивного використання локомотивів та надпростою місцевих вагонів на залізничних станціях [14]. Як правило, нерівномірність в вантажній роботі впливає на експлуатаційну роботу мережі, залізниць, дирекцій, напрямків (збільшуються простої вагонів під вантажними операціями, в очікуванні відправлення та на технічних станціях; зростає оборот та збільшується робочий парк вагонів). В періоди зменшення вантажної роботи, можуть не виконуватися норми передачі вагонів по стиковим пунктам; збільшується відсоток порожнього пробігу вагонів;

погіршується використання локомотивного парку; порушується нормальний режим роботи та збільшується необхідність в локомотивних бригадах [19].

Нерівномірність надходження вантажів під навантаження впливає на необхідну технічну продуктивність вантажно-розвантажувальних пристроїв та механізмів. В додатку Б наведена узагальнену схему впливу нерівномірності перевезень на експлуатаційні показники діяльності залізниць.

Коливання розмірів вантажної роботи та поїзного руху викликані значною кількістю причин, які можна класифікувати наступним чином: причини, які залежать від експлуатаційних вимог роботи залізничного транспорту; причини, які пов'язані з сезонними факторами; причини, що знаходяться за межами транспорту, які можна прогнозувати та враховувати при плануванні перевезень; причини, що знаходяться за межами транспорту, більшість з яких не піддається будь-якому точному обліку.

Друга та четверта причини переважно впливають на обсяги перевезень за тривалими періодами – сезон, місяць; третя причина – в основному викликає добову нерівномірність. Згущення роботи в окремі періоди доби, як правило, визначаються першою групою. З цієї ж причини виникає внутрішньонедільна нерівномірність, яка пов'язана з перервами в виробництві продукції в вихідні та святкові дні. У зв'язку з тим, що внутрішньодобова та внутрішньо недільна нерівномірність навантаження є наслідком технологічних та організаційних проблем, її можна не враховувати при створенні резервів на нерівномірність. Отже, в подальших дослідженнях інтерес представляють сезонна та внутрішньомісячна нерівномірність. Безперечно, що всі нерівномірності мають деякий технологічний вплив, але таке представлення нерівномірності полегшить проведення аналізу впливу коливань обсягів роботи на організацію місцевих вагонопотоків.

Зміна обсягів перевезень за періодами року (квартал, місяць) прийнято називати сезонною нерівномірністю. Сезонну нерівномірність перевезень найбільш точно визначати коливаннями обсягів навантаження.

Нерівномірність відправлення вантажів породжує нерівномірність виробництва та нерівномірність підходу порожніх вагонів під навантаження, яка залежить від характеру вивільнення вагонів в місцях вивантаження, що в свою чергу знаходиться під впливом нерівномірності відправлення вантажів. Тим самим виникає коло, в якому, один раз виникає, а потім циркулює нерівномірність (див. дод. Б).

Таким чином, нерівномірність перевезень, або постійні коливання обсягів роботи транспорту по навантаженню та руху, є специфічною особливістю залізничного транспорту, яку необхідно враховувати при плануванні перевезень, розвитку технічних засобів та організації перевізного процесу.

Статистичне дослідження сезонності пропонується проводити в «статичному» та в «динамічному» аспектах. Статичний аналіз сезонності ставить наступні задачі: чисельно виразити прояви сезонних коливань; виявити їх потужність та характер в конкретних умовах; відкрити фактори, що викликають сезонні коливання; провести математичне моделювання сезонної хвилі. Ціллю динамічного аналізу є вивчення закономірностей формування сезонних хвиль об'ємних показників вантажних перевезень та висновок про їх еволюцію в часі (на протязі декількох років).

Відомо декілька способів дослідження сезонних коливань. Найбільш простим є побудова індексів сезонності [21]. Індексом сезонності є показники, які характеризують результати порівняння фактичних рівнів даного місяця із середньомісячним рівнем або рівнями, що розраховані при виявленні основної тенденції для того ж місяця.

Найбільш точним способом розрахунку індексу сезонності є розрахунок сезонних коливань за допомогою згладжування ряду за методом ковзної середньої. В цьому випадку індекси сезонності розраховуються як відношення фактичного рівня відповідного місяця до згладженого рівня. Після встановлення стійких коливань можна перейти до моделювання сезонної хвилі. Моделювання сезонної хвилі виконується на основі побудови

аналітичної залежності сезонних коливань. Побудова аналітичної моделі виявляє основний закон коливання даного часового ряду у зв'язку з переходом від місяця до місяця та дає середню характеристику внутрішньорічних коливань.

В якості аналітичної форми сезонної хвилі показників вантажних перевезень пропонується використовувати рівняння, що являє собою кінцевий ряд (ряд Фур'є) синусоїдальних членів з косинусами та синусами, та має назву гармонічного аналізу. Синусоїдальна або косинусоїдальна функція з визначеним періодом і є гармонікою. Кожен член суми представляє з себе гармоніку з визначеним періодом. Перша гармоніка має період, який дорівнює довжині періоду, що досліджується. Друга має період, який дорівнює половині основного, третя одній третині основного та ін. В загальному вигляді якщо є P спостережень, то число гармонік не повинно перевищувати $P / 2$.

Якщо величину показника, який досліджується, представити як частину довжини кола, то залежність відповідних їм значень показника буде мати наступний вигляд

$$\bar{y}_t = a_0 + \sum_{i=1}^{P/2} [A_i \sin(2\pi * it / P) + B_i \cos(2\pi * it / P)] \quad (1.3)$$

де P - число значень показника, що вивчається або величина періоду;

i - величина гармоніки;

t - номер спостереження ($t = 1, 2, \dots, P$);

a_0 - середньорічний рівень показника;

A_i, B_i - коефіцієнти гармонік.

Представлення часового ряду у вигляді рівняння (1.3) відомо як гармонічний регресійний аналіз.

Коефіцієнти A_i, B_i оцінюються по методу найменших квадратів. Отримання формул для коефіцієнтів визначається завдяки властивості ортогональності

$$\sum_{t=1}^p \sin(2\pi * it / p) \sin(2\pi * jt / p) \begin{cases} = 0, \text{ якщо } i \neq j \\ = 0, \text{ якщо } i = j = 0 \neq p/2 \\ = p/2, \text{ якщо } i = j \neq 0 \neq p/2 \end{cases} \quad (1.4)$$

$$\sum_{t=1}^p \cos(2\pi * it / p) \cos(2\pi * jt / p) \begin{cases} = 0, \text{ якщо } i \neq j \\ = p/2, \text{ якщо } i = j \neq 0 \neq p/2 \\ = p, \text{ якщо } i = j = 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

$$\sum_{t=1}^p \cos(2\pi * it / p) \sin(2\pi * jt / p) = 0 \quad \text{якщо } i = j = 0, 1, 2, \dots, p/2 \quad (1.6)$$

Для оцінки параметрів a_0, A_i, B_i рівняння (1.3) при парному числі спостережень використовуються наступні формули

$$a_0 = (\sum_{t=1}^p y_t) / p$$

$$A_i = 2[\sum_{t=1}^p \sin(2\pi * it / p)] / p \quad (1.7)$$

$$B_i = 2[\sum_{t=1}^p \cos(2\pi * it / p)] / p$$

Звідси видно, що a_0 є середнє значення показника за період. Число гармонік не може перевищувати $p/2$, тобто $i \leq p/2$. Тому за цими формулами необхідно розраховувати коефіцієнти для $(p/2 - 1)$ гармонік. Для останньої гармоніки завжди:

$$A = 0$$

$$B = 2 \left[\sum_{t=1}^p \cos(2\pi * it / p) \right] / p \quad (1.8)$$

Для отримання узагальненої характеристики потужності коливань динамічного ряду із-за сезонного фактору пропонується використовувати середнє квадратичне відхилення індексів сезонності (y %) від 100% або коефіцієнт коливання сезонної хвилі.

$$\sigma_{sez} = \sqrt{\sum (i_{sez} - 100)^2 / 12}, \quad (1.9)$$

де i_{sez} - значення постійної сезонної хвилі y % (індекс сезонності).

Порівняння коефіцієнтів коливання, які розраховуються за різні періоди, вказує зміщення в сезонності. Зменшення σ_{sez} вказує зниження впливу сезонності на динаміку показника, що аналізується.

Зрушення в сезонності призводять до еволюції сезонної хвилі, яку можливо оцінювати за допомогою коефіцієнта напруженості Н.С. Четвертікова.

Коефіцієнт напруженості характеризує зв'язок між абсолютними сезонними відхиленнями та постійною сезонною хвилею. Цей зв'язок записується рівнянням прямої для кожного періоду:

$$d = R * y, \quad (1.10)$$

де R - коефіцієнт напруженості для відповідного періоду;

y - постійна сезонна хвиля в нормованих відхиленнях, яка розраховується за значеннями:

$$t_i = d_i / \sigma_i, \quad (1.11)$$

де σ_i середнє квадратичне відхилення абсолютних сезонних коливань.

Зміна коефіцієнта напруженості по рокам вказує на еволюцію сезонних коливань, і, як наслідок, сезонної хвилі.

В попередніх дослідженнях напруженість та коливання сезонної хвилі при вивченні сезонності на залізничному транспорті не використовувались.

Розрахунок сезонної хвилі об'ємних показників вантажних перевезень пропонується виконувати в наступній послідовності: тренд, сезонні коливання, сезонна хвиля. Використання даного принципу ґрунтується на гіпотезі одностороннього зв'язку між трендом та сезонною хвилею. Від правильного тренда залежить точність сезонної хвилі. Щоб максимально виключити тенденцію з динамічного ряду, необхідно часовий тренд та сезонний компонент розрахувати за два ітераційних етапи.

Для розрахунку сезонного компоненту пропонується використовувати ітеративний метод. Використання даного методу засноване на принципі послідовного та комплексного розрахунку загальної тенденції та сезонної хвилі. За допомогою цього методу розраховується попередня та кінцева розрахункова хвиля, в якій найбільш повно еліміновано вплив тренда та випадкових коливань [20].

Запропонована методика статистичної оцінки показників внутрішньорічного коливання обсягів навантаження наведена в додатку Б.

Для більш обґрунтованого формулювання вимог нерівномірності був проведений аналіз обсягів місцевої роботи з урахуванням нерівномірності перевезень.

Аналіз фактично виконаних обсягів роботи залізниць проводився на основі звітних даних ГО-2, ГО-10, ЦО-11.

Дослідження внутрішньорічних коливань навантаження всіх вантажів проводилося за 2007-2010 роки (Додаток Б). Для виключення основної

тенденції розвитку динамічного ряду, яка суттєво змінювала стійкі внутрішньорічні коливання, використовувалась 12-місячна та 7-місячна ковзна середня в два ітераційних етапи. Після видалення тренду розраховувались сезонні коливання в нормованих відхиленнях. Після цього будувалася сезонна хвиля в нормованих відхиленнях. Для традиційності представлення сезонної хвилі, нормовані відхилення перераховані в індекси сезонності. Оцінка ступені еволюції сезонної хвилі виконувалась за допомогою коефіцієнта напруженості, сила коливання постійної сезонної хвилі за допомогою коефіцієнта коливання.

На рисунку 1.2 показано відношення обсягу середньодобового навантаження вагонів по всіх залізницях УЗ за місяць до середньодобового обсягу навантаження за рік.

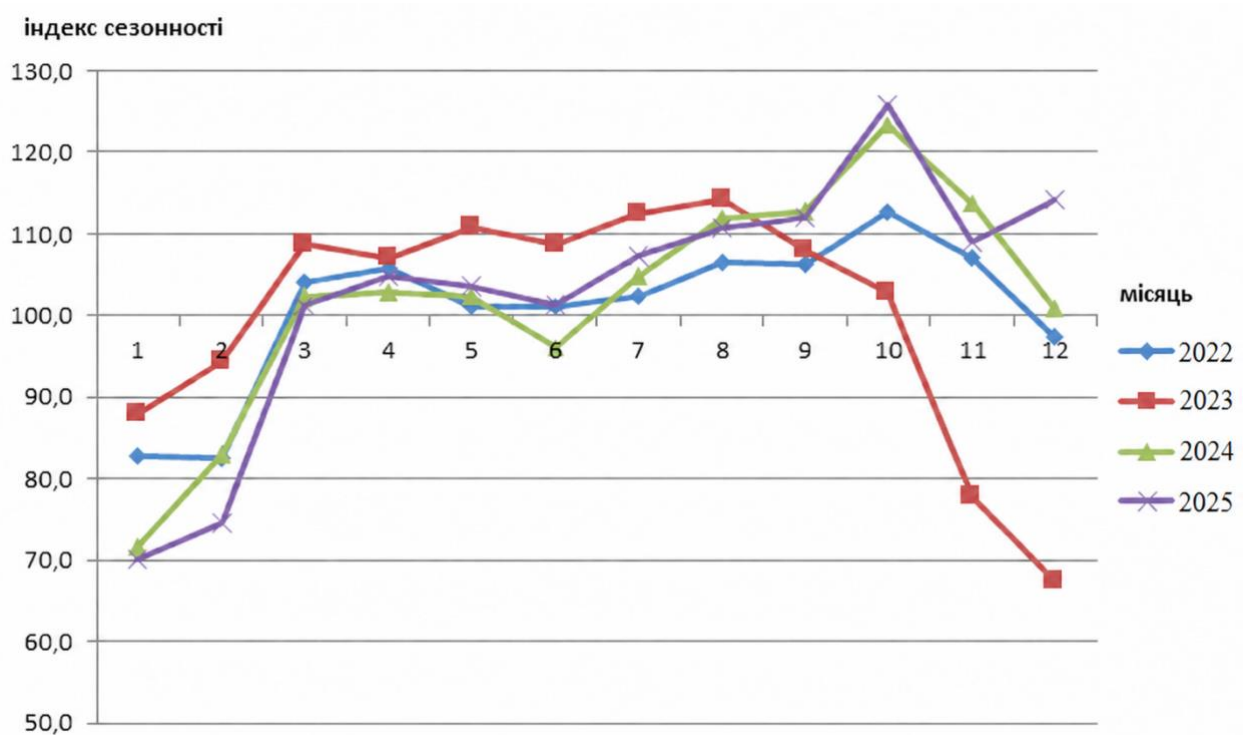


Рисунок 1.2 – Індекс сезонності навантаження вантажів за 2022-2025 рр

З діаграми видно, що обсяги перевезення вантажів за місяцями перевищують середньорічний обсяг перевезення, наприклад, в листопаді майже на 25%. Зниження індексу сезонності в 2008 році пояснюється

світовою фінансовою кризою, в той період обсяги перевезень значно впали по всіх залізницях.

Проведене дослідження сезонної нерівномірності навантаження вантажів вказує на те, що постійні сезонні хвилі мають стійкий характер, незважаючи на збільшення обсягів перевезень. За досліджуваний період коефіцієнт напруженості не мав тенденції до значної зміни. Відбулося деяке зниження коефіцієнта коливання сезонної хвилі з 3,21 до 2,65. Збільшення коливання сезонної хвилі відбулося по таким вантажам як нафтові, зернові та чорні метали – ці вантажі найбільш схильні до впливу ринкової кон'юктури цін.

Порівняльний аналіз планів навантаження з реальними показниками по дільницях Полтавської дирекції залізничних перевезень за максимальний місяць 2025 року, вказує на відхилення планових потреб у вагонах від реальних, це викликано тим, що вантажовласники не в змозі чітко планувати обсяги навантаження вагонів в період збільшення обсягів сезонного навантаження через ряд причин (квоти на експорт різних видів вантажів, кон'юктура цін, погодні умови та ін.).

В таблиці 1.1 приведені дані, які характеризують роботу дільниць з виконання навантаження і вивантаження вантажів.

З метою визначення питомої ваги категорій вантажних поїздів, якими в основному освоюються місцеві вагонопотоки, всі дільниці Південної залізниці, які аналізуються, поділені на дільниці, на яких проміжні станції обслуговуються (таблиця 1.2):

- збірними поїздами (1 варіант);
- збірними поїздами і диспетчерськими локомотивами (2 варіант);
- збірними поїздами і вивізними локомотивами (3 варіант).

З таблиці 1.2 можна побачити, що в період сезонних перевезень збільшується роль вивізних і диспетчерських локомотивів.

Для порівняння розподілу часу знаходження збірних і вивізних поїздів у різних станах проведено аналіз їх пересування в період виконання сезонних перевезень.

Таблиця 1.1 – Обсяги навантаження і вивантаження вантажів

Період роботи	Дільниці з добовою роботою, %				
	до 50 ваг	51- 100 ваг	101 -150 ваг	151 -200 ваг	> 200ваг
В період сезонних перевезень	28	34	22	11	5
В період відсутності сезонних перевезень	41	35	12	8	4

Таблиця 1.2 – Питома вага вказаних типів дільниць

Період роботи	Частка дільниць за способом обслуговування від загальної кількості, %		
	1 варіант	2 варіант	3 варіант
Період максимальних сезонних перевезень вантажів	44	35	21
Період відсутності сезонних перевезень вантажів	61	26	13

З наведених даних можна встановити, що при використанні вивізних поїздів майже вдвічі зменшується час на зупинки для виконання маневрової роботи.

Частка зупинок збірних поїздів на проміжних станціях, яка відноситься до загального часу руху їх по дільниці, для одноколійних ліній складає 59%, двоколійних - 64%, що можна обґрунтувати значними розмірами пасажирського та вантажного руху на двоколійних лініях.

Вищенаведені дані вказують на наявність вагомих відмінностей в організації місцевої роботи в умовах сезонного коливання вагонопотоків.

Висновок. Для врахування цих відмінностей необхідно більш повно використовувати математичний апарат для моделювання технології роботи і вирішення задач в оперативних умовах [25]. Об'єктом автоматизації повинен бути процес підготовки рішень по змінно-добовому і поточному плануванні та управлінні місцевою роботою залізниці і її дирекцій на основі.

2 Удосконалення технології організації місцевої роботи на дільницях

2.1 Формалізація технології організації місцевої роботи на дільницях

В загальному вигляді дільниці можна представити графом (рисунок 2.1)

$$P_n = \{G_n^R; F_n\}, \quad (2.1)$$

де G_n - всі g_n - нні вершини графа R типу;

F_n - всі f_n -нні ребра графа;

n - порядковий номер вершини або ребра в графі.

В якості розрахункового обираються дільниці, кожна вершина G_n може приймати значення R_a^{TC} , $R_{a,b}^{OC}$, $R_{a,b,c}^{np}$, $R_{a,u}^{cm}$ при $G_n \in P_{R_a^{TC}}$

де R_a^{TC} - технічна станція – сортувальна, крупна дільнична або вантажна станція, яка виконує формування і розформування місцевих поїздів для прилеглих дільниць.

$R_{a,b}^{OC}$ - опорна станція – як правило, крупна проміжна станція або дільнична станція, яка є станцією роботи або розформування місцевих поїздів, сформованих технічною станцією, і виконує розвезення та подачу-забирання вагонів на закріплені за нею станції та їх вантажні фронти своїми маневровими локомотивами;

$R_{a,b,c}^{np}$ - проміжна станція, на якій виконуються вантажні операції, яка не має своїх маневрових локомотивів і обслуговується маневровими локомотивами опорної станції;

$R_{a,u}^{cm}$ - стиковий пункт розглядуваного полігону з сусідніми полігонами;

$P_{R_a^{TC}}$ - район місцевої роботи технічної станції R_a^{TC} , до якого входять одна технічна станція, опорні станції $R_{a,b}^{OC}$, проміжні малодіяльні станції $R_{a,b,c}^{np}$ та стикові пункти $R_{a,u}^{cm}$;

a - найменування технічної станції;

b - найменування опорної станції, яка знаходиться в районі місцевої роботи технічної станції R_a^{TC} ;

c - найменування закріпленої станції, яка знаходиться в районі місцевої роботи технічної станції R_a^{TC} та в зоні обслуговування опорної станції $R_{a,b}^{OC}$;

u - найменування стикового пункту полігону.

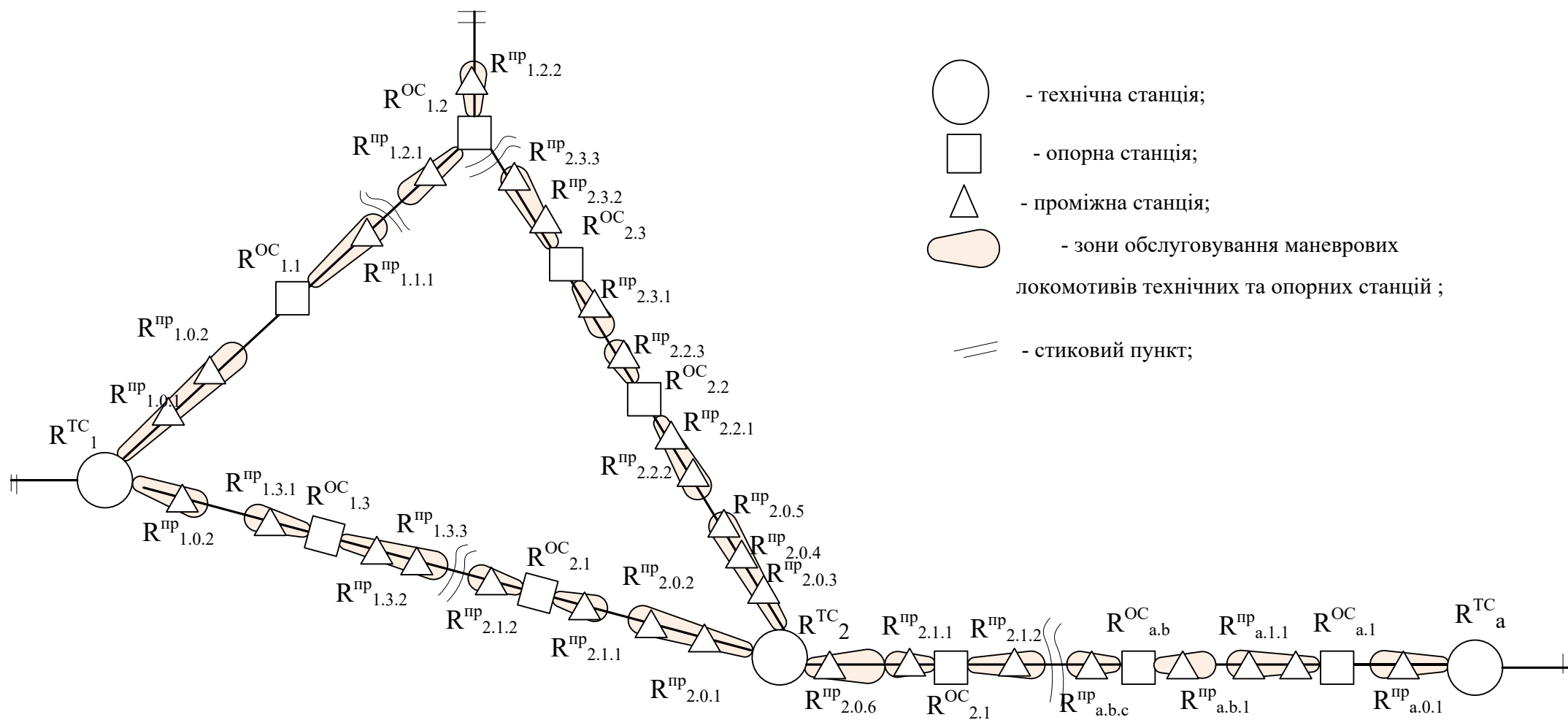


Рисунок 2.1 Схема діляниць в загальному вигляді

Кожній вершині графа належить окремий набір параметрів:

$$G_n = \{N_r, M_r, K_r^{ман}, R_k^{OC}, R_r^{ст}, R_r^{ПТО, ПКО}, R_r^{np}, T_r^\lambda\}, \quad (2.2)$$

де N_r - множина вантажовідправників або вантажоодержувачів станції r ;

M_r - множина вантажних фронтів станції r ;

$K_r^{ман}$ - кількість закріплених за станцією r маневрових локомотивів, які зайняті в місцевій роботі;

R_k^{OC} - кількість опорних станцій, які знаходяться в районі місцевої роботи (тільки при $G_n = R_a^{TC}$);

$R_r^{ст}$ - кількість стикових пунктів, які входять в район місцевої роботи (тільки при $G_n = R_a^{TC}$);

$R_r^{ПТО, ПКО}$ - станції технічного та комерційного огляду під навантаження вагонів, які дислокуються на момент розрахунку або вивантажуються на даній r станції;

R_r^{np} - кількість проміжних станцій для кожної опорної станції в зоні обслуговування її маневрових локомотивів (при $G_n = R_a^{TC}, R_{a,b}^{OC}$);

T_r^λ - множина змінних параметрів на виконання технологічних операцій з поїздами та вагонами, год.

Для кожного ребра

$$F_r = \{L_f, V_f^k, T_f^k, M_f, Q_f^k\}, \quad (2.3)$$

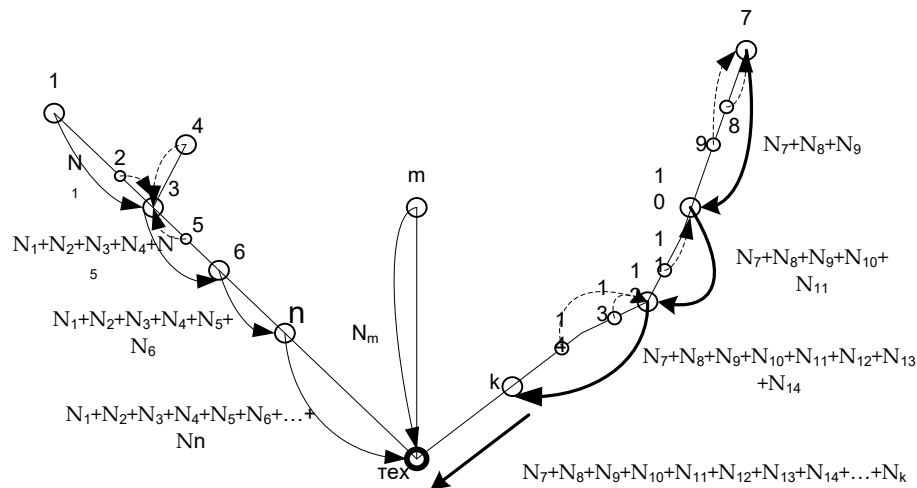
де L_f - довжина ділянки, яка обмежена станціями (вершинами) G_n , км;

V_f^k - дільнична швидкість прямування місцевих поїздів різних категорій k по дільниці, км/год.;

T_f^k - технологічний час прямування по дільниці F_r поїздів категорії k , год.;

M_f - максимальна пропускна спроможність дільниці, яка обмежена станціями G_n .

Q_f^k - встановлена вагова норма поїздів категорій k на дільниці, яка обмежена станціями G_n , т.



$N_1+N_2+N_3+N_4+N_5+N_6+\dots+N_n$	немаршрутизований вагонопотік, який надходить на технічну станцію збірними поїздами;
N_m	немаршрутизований вагонопотік, який надходить на технічну станцію вивізними поїздами;
$N_1+N_2+N_3+N_4+N_5+N_6+N_7+N_8+\dots+N_k$	маршрутизований вагонопотік, включений в ступінчатий маршрут, який проходить технічну станцію без переробки.
	диспетчерський локомотив

Рисунок 2.2 – Варіанти просування вагонопотоків в районі навантаження.

Таким чином оцінка поточної ситуації та розробка відповідних рішень для оперативного управління місцевою роботою полягає у виконанні відображення виду

$$R \in (\sqcup n; C_i) \rightarrow p \in \{p_1, p_2, \dots, p_i\}, i = [1; 5] \quad (2.4)$$

де p_1 - не змінювати технологію місцевої роботи на дільниці;

p_2 - призначити формування ступінчатого маршруту;

p_3 - призначити додатковий збірний поїзд;

p_4 - призначити вивізний поїзд;

p_5 - призначити диспетчерський локомотив;

$\sqcup n$ - кількість вагонів по станціям дільниці;

C_i - експлуатаційні витрати при відповідних рішеннях.

Відповідно до вищезазначеного, можна зробити висновок про необхідність детального техніко-економічного обґрунтування експлуатаційних витрат при відповідних рішеннях.

2.2 Модель раціональної організації місцевої роботи

Таким чином, для реалізації відповідних рішень по освоєнню вагонопотоку модель раціональної організації місцевої роботи має вигляд

$$F = \delta_i C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \rightarrow \min \quad (2.5)$$

δ - функція Хевісайда, що моделює можливість формування ступінчатого маршруту

$$\delta_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } C_1 > C_2 \\ 1, & \text{якщо } C_1 < C_2 \end{cases}$$

за умови виконання наступних обмежень

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 < C_3; \\ C_{ек}^{вив} > C_2; \\ C_{ек}^{\partial.л.} > C_4; \\ \sum_{i=1}^n H_i \leq E_{скл}; \\ \sum_{i=1}^n Q_i \leq \sum_{i=1}^n \Pi_i, \Pi_i = n_{BPM}^i R_{BPM}^i T_p^i \\ 0 \leq \sum n_{Ra^{TC}} \leq N_{Ra^{TC}} \\ 0 \leq \sum M_f \leq K_f \end{array} \right. ,$$

де C_1 витрати на організацію на ділянці ступінчатого маршруту, грн;

C_2 - витрати на організацію вивізного поїзду, грн;

C_3 - витрати на організацію на ділянці збірного поїзда, грн;

C_4 - витрати на організацію диспетчерського локомотиву, грн;

$C_{ек}^{вив}$ - економія витрат від призначення вивізного поїзду;

$C_{ек}^{\partial.л.}$ - економія витрат від призначення диспетчерського локомотиву;

$\sum_{i=1}^n H_i$ - прибуття i -го вантажу, який потребує складування, тонн;

$E_{скл}$ - наявна складська ємність, тонн;

$\sum_{i=1}^n Q_i$ - загальне прибуття i -го вантажу, тонн;

Π_i - переробна спроможність вантажно-розвантажувальних машин по переробці i -го вантажу;

n_{BPM}^i - кількість вантажно-розвантажувальних машин по переробці i -го вантажу;

R_{BPM}^i - продуктивність ВРМ за годину при переробці i -го вантажу, тонн/год.;

T_p^i - тривалість роботи ВРМ за добу, год./добу;

$\sum n_{R_a^{TC}}$ - добовий вагонопотік a -тої технічної станції, ваг.;

$N_{R_a^{TC}}$ - переробна спроможність a -тої технічної станції, ваг.;

M_f - кількість поїздів на ділянці f ;

K_f - максимальна пропускна спроможність ділянки f .

Тобто, якщо виконується умова $C_2 < C_3$ на ділянці доцільно формувати ступінчатий маршрут, за умови $C_{ек}^{вие} > C_2$ доцільно засилати вивізний поїзд, в іншому випадку ділянка обслуговується збірними поїздами.

2.2.1 Організація ступінчатих маршрутів

Маршрутизація перевезень є найбільш удосконаленою формою експлуатаційної роботи, одним із резервів удосконалення перевізного процесу. Вона забезпечує прискорення швидкості доставки вантажів, найкращу їх схоронність при транспортуванні, сприяє прискоренню обороту вагонів і скороченню кількості перероблених вагонів на технічних станціях.

До загальних витрат $C^{ст.мар}$ на організацію та переміщення місцевого вагонопотоку від зародження до погашення в маршрутних призначеннях (ступінчаті маршрути) запропоновано включити наступні витрати

$C_3^{ст.мар}$ - витрати, пов'язані з організацією вагонопотоків при зародженні ступінчатого маршруту на ділянці (накопиченням складу, формуванням поїзду, роботою місцевих поїздів, в яких є вагони, які входять в ступінчатий маршрут, підготовка поїзда до відправлення);

$C_{перем}^{ст.мар}$ - витрати на переміщення місцевого вагонопотоку, який включено в ступінчаті маршрути на всьому шляху прямування від станції формування до станції розформування;

$C_{роз}^{ст.мар}$ - витрати пов'язані з розформуванням маршрутного поїзда, які включають витрати на роботу маневрових локомотивів при розформуванні поїзда;

$C_{дод}^{ст.мар}$ додаткові витрати, які пов'язані з можливістю несхоронності вантажу або частини вантажу, наданням знижок клієнтам за формування ступінчатого маршруту, витрати пов'язані з вивезенням і переміщенням вагонів, які залишилися на ділянці до технічної станції. Ці витрати необхідно враховувати після того, як з окремої ділянки зберуть вагони для формування ступінчатого маршруту.

$$C_3^{ст.мар} = C_{пер}^{зб-мар} + C_{нак}^{ст.мар} + C_{ф}^{ст.мар} + C_{ман}^{ст.мар} + C_{підг.до.відпр}^{ст.мар}, \quad (2.6)$$

де $C_{пер}^{зб-мар}$ - витрати на переміщення місцевого вагонопотоку по ділянці при зародженні маршруту;

$$C_{пер}^{зб-мар} = N_{зб}^{зб-мар} \sum_{k=1}^{a+1} (L_k c_k^{n.км}), \quad (2.7)$$

де L_k - відстань між станціями зупинки збірної поїздки, км;

$N_{пер}^{зб-мар}$ - кількість збірних поїздів в яких є групи вагонів для формування маршрутів;

a - кількість станцій зупинок збірних поїздів;

$c_k^{п.км}$ - вартість переміщення поїзду на відстань 1 км. При переміщенні поїздки на k -му перегоні, грн.;

$C_{нак}^{ст.мар}$ - витрати на накопичення місцевого вагонопотоку при формуванні ступінчатого маршруту [79].

$$C_{нак}^{ст.мар} = \sum_{i=1}^p t_i^{оч} m_i^{ст.мар} c_{ваг-год} + c_j^{ст.мар} m_j^{ст.мар} c_{ваг-год}, \quad (2.8)$$

де $t_i^{оч}$ - тривалість очікування забирання вагонів з i -тої проміжної станції;

$m_i^{ст.мар}$ - кількість вагонів, яку включають в ступінчатий маршрут на i -тій станції;

$c_{ваг-год}$ - вартість простою одного вагона в годину, грн.;

i - кількість станцій, з яких забираються вагони для ступінчатого маршруту;

де j - станція формування ступінчатого маршруту;

$c_j^{ст.мар}$ - параметр накопичення маршрутного поїздки на станції формування;

$m_j^{ст.мар}$ - середня кількість вагонів в складі ступінчатого маршруту;

$c_j^{ст.мар} m_j^{ст.мар} c_{ваг-год}$ - витрати на накопичення маршруту на j -тій станції формування маршруту.

$C_{ф}^{ст.мар}$ - витрати на формування ступінчатого маршруту на станції дільниці;

$$C_{\phi}^{ст.мар} = \sum_{i=1}^m N_j^{ст.мар} m_j^{ст.мар} T_j^{\phi.ст.мар} c_{ваг-год} , \quad (2.9)$$

де j - станція ділянки на якій формується ступінчатий маршрут;

$N_j^{ст.мар}$ - кількість сформованих ступінчатих маршрутів за добу на j - тій станції;

i - кількість ступінчатих маршрутів, сформованих і відправлених з j - тої станції за добу;

$m_j^{ст.мар}$ - кількість вагонів в i -му ступінчатому маршруті, сформованому на j - тій станції ділянки;

$T_j^{\phi.ст.мар}$ - середній час на формування маршрутного поїзду [80], год.

$$T_j^{\phi.ст.мар} = t_c + t_{зб} \quad (2.10)$$

де t_c - нормативний час на сортування вагонів при формуванні ступінчатого маршруту, год.;

$t_{зб}$ - нормативний час на збирання вагонів після сортування, год.

Витрати на роботу локомотивів при формуванні ступінчатих маршрутів визначаються за формулою:

$$C_{ман}^{ст.мар} = \sum_{i=1}^m N_j^{ст.мар} m_j^{ст.мар} T_j^{\phi.ст.мар} c_{лок-год}^{ман} , \quad (2.11)$$

$c_{лок-год}^{ман}$ - вартість 1 години роботи маневрового локомотива, грн/лок-год.

Витрати на підготовку до відправлення місцевих поїздів на ділянці і згодом сформованого ступінчатого маршруту визначаються за формулою:

$$C_{\text{підг.до.відпр}}^{\text{ст.мар}} = \sum_{j=1}^m N_j^{\text{ст.мар}} \cdot m_j^{\text{ст.мар}} \cdot T_{\text{підг.до.відпр}}^{\text{ст.мар}} \cdot c_{\text{ваг-год}}, \quad (2.12)$$

де $T_{\text{підг.до.відпр}}^{\text{ст.мар}}$ - середній час на підготовку до відправлення поїзда на станції формування, год.

$$T_{\text{підг.до.відпр}}^{\text{ст.мар}} = t_{\text{ком,тех}} \cdot m^{\text{ст.мар}}, \quad (2.13)$$

де $t_{\text{еіі,о.до}}$ - нормативний час на проведення технічного і комерційного огляду одного вагону при відправленні. Цей час розраховують, виходячи з технологічних процесів роботи станцій.

Оскільки вагонопотік, який включено до ступінчатого маршруту проходить технічні станції від зародження до погашення без переробки, то витрати на переміщенням маршрутного складу, визначаються за формулою:

$$C_{\text{перем}}^{\text{ст.мар}} = \sum_{z=1}^g N^{\text{ст.мар}} \left(\frac{L}{V_{\text{марш}}} c_{\text{п.км}} + N_{\text{тех}}^{\text{ст}} c_{\text{ваг-год}} t_{\text{зам}} + \frac{L}{V_{\text{марш}}} c_{\text{бр-год}} \right), \quad (2.14)$$

де L - відстань між технічними станціями при переміщенні маршрутного поїзда, км;

g - кількість технічних станцій, які ступінчатий маршрут проходить без переробки;

$c_{\text{п.км}}$ - вартість переміщення поїзду на відстань 1 км, грн;

$V_{\text{марш}}$ - маршрутна швидкість доставки вантажу, км/год.;

$c_{\text{ваг-год}}$ - вартість однієї вагоно-години простою на технічних станціях, грн;

$N_{tex}^{ст}$ - кількість технічних станцій, на яких виконується заміна локомотивів і локомотивних бригад;

$C_{бр-год}$ - вартість роботи однієї локомотивної бригади, грн/год.;

$t_{зам}$ - нормативний час на зміну локомотивів та локомотивних бригад на технічній станції, год.

Витрати, пов'язані з розформуванням ступінчатого маршруту

$$C_{розф}^{ст.мар} = N^{ст.мар} m_{ваг}^{ст.мар} \left((T_{закр} + T_{огл}) C_{ваг-год} + T_{огл} C_{ТО/КО} \right) + N^{ст.мар} T_{розф} C_{ваг-год} C_{лок-год}^{ман}, \quad (2.15)$$

де $N^{ст.мар}$ - кількість ступінчатих маршрутів, які прибули на станцію за добу;

$m_{ваг}^{ст.мар}$ - кількість вагонів в складі ступінчатого маршруту, ваг;

$t_{знах}$ - середній час знаходження вагона на технічній станції, год.;

$T_{розф}^i$ - нормативний час на розформування складу на i -тій технічній станції, год.;

$T_{огл}^i$ - нормативний час на проведення технічного і комерційного огляду одного вагона в парку приймання i -тої технічної станції, год.;

$C_{ТО/КО}$ - вартість оплати праці працівників ПТО та ПКО при огляді одного вагона.

$C_{лок-год}^{ман}$ - вартість години роботи маневрового локомотива.

$C_{ваг-год}$ - вартість простою одного вагона протягом години, грн;

$N_{tex}^{ст}$ - кількість технічних станцій на яких виконується заміна локомотива.

Додаткові витрати визначаються за формулою:

$$C_{\text{доо}}^{\text{ст.мар}} = C_{\text{штраф}} + C_{\text{зниж}}, \quad (2.16)$$

де $C_{\text{штраф}}$ - витрати, пов'язані з виплатою штрафів у разі псування й незбереження вантажу. Ці витрати розраховується тільки після доставки вантажу клієнтам. Оскільки при формуванні маршруту дані витрати будуть скорочуватися за рахунок зменшення переробок на технічних станціях, їх необхідно враховувати в середньостатистичних даних по залізниці;

$C_{\text{зниж}}$ - витрати, пов'язані з наданням знижок клієнтам при формуванні ступінчатого маршруту. Дані витрати встановлюються згідно з;

Згідно з тривалістю виконання операцій при доставці вагонів постає необхідним дослідити характер величини t^{oc} , яка за своїм сутнісним призначенням в загальному ланцюзі технології доставки вантажу ступінчатими маршрутами займає основне місце – має найбільшу тривалість виконання..

Дослідження тривалості очікування забирання вагонів зі станцій наведено в додатку А.

Як показали результати розподілу середнього часу очікування забирання вагонів цей час має імовірнісну природу і підпорядковано закону Ерланга 3-го порядку із щільністю

$$E_3 = \frac{(3\mu)^3}{2} \int_0^{t_{\max}^{oc}} (t^{oc})^3 \exp(-3t^{oc}) \cdot dt^{oc} \quad (2.17)$$

$$\text{де } \mu = \frac{1}{t^{oc}}.$$

Час очікування забирання вагонів зі станції розподіляється за законом Ерланга 3-го порядку $E_3 f(t^{oc}) = 4270.3519 (t^{oc})^2 e^{-20.4408 t^{oc}}$.

Тоді вартісна оцінка накопичення місцевого вагонопотоку при формуванні ступінчатого маршруту

$$C_{\text{нак}}^{\text{ст.мар}} = \sum_{i=1}^p \left(\frac{(3\mu)^3}{2} \int_0^{t_{\text{max}}^{\text{оч}}} (t^{\text{оч}})^3 \exp(-3t^{\text{оч}}) \cdot dt^{\text{оч}} \right) m_i^{\text{ст.мар}} c_{\text{ваг-зод}} + \quad (2.18)$$

$$+ c_j^{\text{ст.мар}} m_j^{\text{ст.мар}} c_{\text{ваг-зод}}$$

Остаточню витрати на організацію та переміщення місцевого вагонопотоку від зародження до погашення в ступінчатих маршрутах буде мати вигляд

$$C^{\text{ст.мар}} = \left\{ N_{\text{зб-мар}}^{\text{зб}} \sum_{k=1}^{a+1} (L_k c_k^{n.км}) + \right.$$

$$+ \sum_{i=1}^p \left(\frac{(3\mu)^3}{2} \int_0^{t_{\text{max}}^{\text{оч}}} (t^{\text{оч}})^3 \exp(-3t^{\text{оч}}) \cdot dt^{\text{оч}} \right) m_i^{\text{ст.мар}} c_{\text{ваг-зод}} +$$

$$+ c_j^{\text{ст.мар}} m_j^{\text{ст.мар}} c_{\text{ваг-зод}} +$$

$$+ \sum_{i=1}^m N_j^{\text{ст.мар}} m_j^{\text{ст.мар}} \left(T_j^{\text{ф.ст.мар}} c_{\text{ваг-зод}} + T_{\text{підг.до.відпр}}^{\text{ст.мар}} c_{\text{ваг-зод}} + T_j^{\text{ф.ст.мар}} c_{\text{лок-зод}}^{\text{ман}} \right) + \quad (2.19)$$

$$+ \sum_{z=1}^g N^{\text{ст.мар}} \left(\frac{L}{V_{\text{марш}}} c_{n.км} + N_{\text{тех}}^{\text{ст}} c_{\text{ваг-зод}} t_{\text{зам}} + \frac{L}{V_{\text{марш}}} c_{\text{бр-зод}} \right) +$$

$$+ N^{\text{ст.мар}} m_{\text{ваг}}^{\text{ст.мар}} \left((T_{\text{закр}} + T_{\text{огл}}) c_{\text{ваг-зод}} + T_{\text{огл}} c_{\text{ТО/КО}} \right) +$$

$$+ N^{\text{ст.мар}} T_{\text{розф}} c_{\text{ваг-зод}} c_{\text{лок-зод}}^{\text{ман}} + C_{\text{штраф}} + C_{\text{зниж}} \left. \right\}$$

2.2.2 Організація і просування збірних поїздів

До цільової функції $C^{\text{зб}}$ на організацію і просуванням по дільниці збірних поїздів і збірних з додаванням дільничного вагонопотоку вирішено включити

$C_{роб}^{зб}$ - витрати на забирання місцевих вагонів з дільниці в збірних, збірно-дільничних та передавальних поїздах (далі місцевих поїздів);

$C_{перем}^{ваг}$ - витрати на переміщення місцевого вагонопотоку від станції формування (технічної станції, яка обслуговує дільницю) до станції призначення;

$C_{розф}^{ваг}$ - витрати на розформування вагонопотоку на останній технічній станції;

$C_{дод}^{ваг}$ - група додаткових витрат. У цю групу включені витрати, пов'язані з можливістю прострочення у доставці вантажів та можливої незбереження вантажу або частини вантажний партії під час перевезення, а також супроводом складу або окремих вагонів (вагонів з цінними вантажами) воєнізованою охороною .

Витрати на роботу місцевих поїздів на дільниці [81]:

$$C_{роб}^{зб} = C_{п.ваг}^{зб} + C_{ман.лок}^{зб} + C_{підг}^{зб} + C_{перем}^{зб}, \quad (2.20)$$

де $C_{п.ваг}^{зб}$ - витрати, пов'язані з простоем вагонів в очікуванні збірного поїзда;

$C_{ман.лок}^{зб}$ - витрати на роботу маневрових локомотивів по розвезенню вагонів на ділянці і роботою на станціях;

$C_{підг}^{зб}$ - витрати на підготовку поїзда до відправлення.

$C_{перем}^{зб}$ - витрати, пов'язані з переміщенням місцевих поїздів по ділянці.

$$C_{п.ваг}^{зб} = \sum_{i=1}^n t_i^{оч} m_i^{прич} c_{ваг-зод}, \quad (2.21)$$

де $t_i^{оч}$ - час очікування забирання вагонів з i -тої проміжної станції;

$m_i^{прич}$ - добова кількість вагонів, яку причіпляють до збірного поїзду на i -тій станції;

$C_{ваг-год}$ - вартість простою одного вагона в годину, грн.;

i - кількість станцій, на яких зупиняється збірний поїзд;

$$C_{ман.лок}^{зб} = \sum_{i=1}^n N_{зб} C_{лок-год}^{ман} (t_{ман.лок}^{пер} + t_{ман.лок}^{ст}) N_{ман.лок}, \quad (2.22)$$

де $t_{ман.лок}^{пер}$ - витрати часу на переміщення маневрових локомотивів по ділянці при розвезенні вагонів від опорних до проміжних станцій, закріплених за опорними, при обслуговуванні одного збірного поїзда, год.;

$t_{ман.лок}^{ст}$ - витрати часу на роботу маневрового локомотива безпосередньо на проміжних станціях ділянки при обслуговуванні одного збірного поїзда, год.;

$$t_{ман.лок}^{пер} = n_i \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{V_{розв}}, \quad (2.23)$$

де L_i - відстань між опорними станціями та станціями на які розвезення вагонів виконується маневровим локомотивом опорної станції км;

n_i - кількість проміжних станцій на ділянці, які закріплені за опорними станціями;

$V_{розв}$ - швидкість розвезення вагонів по проміжним станціям ділянки, км/год.

$$t_{ман.лок}^{ст} = t_{відч} + t_{под} + t_{розст} + t_{зб} + t_{приб} + t_{прич}, \quad (2.24)$$

$C_{\text{лок-зод}}^{\text{ман}}$ - вартість 1 години роботи маневрового локомотива, грн.

$$C_{\text{підг}}^{\text{зб}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{зб}} m_{\text{зб}} T_{\text{підг}}^{\text{зб}} C_{\text{ваг-зод}}, \quad (2.25)$$

де $T_{\text{підг}}^{\text{зб}}$ - середній час підготовки до відправлення поїзда, год.

$$T_{\text{підг}}^{\text{зб}} = t_{\text{ком,тех}} m_{\text{зб}}, \quad (2.26)$$

де $t_{\text{ком,тех}}$ - середній час на проведення технічного і комерційного огляду одного вагону при відправленні.

$$C_{\text{перем}}^{\text{зб}} = N_{\text{зб}} \sum_{i=1}^{n+1} L_i c_{\text{п-км}} + C_{\text{зуп}}^{\text{зб}}, \quad (2.27)$$

де L_i - відстань між станціями зупинки збірного поїзда, км;

$C_{\text{зуп}}^{\text{зб}}$ - витрати, пов'язані із зупинками місцевих поїздів на станціях ділянки;

$C_{\text{п.км}}$ - вартість переміщення поїзду на відстань 1 км. грн.

$$C_{\text{зуп}}^{\text{зб}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{зб}} p_{\text{зуп}}^i c_{\text{зуп}}^i, \quad (2.28)$$

де $c_{\text{зуп}}^i$ - вартість однієї зупинки збірного поїзда на i -тій станції, грн;

$p_{\text{зуп}}^i$ - імовірність зупинки поїзда на i -тій станції.

$$P_{зуп}^i = \frac{N_{зб}^i}{N^i}, \quad (2.29)$$

де $N_{зб}^i$ - сумарне число збірних поїздів, які зупиняються на станції для причеплення - відчеплення вагонів.

Витрати на переміщення завантажених вагонів до станції призначення:

$$C_{перем}^{ваг} = N_{наскр} m_{наскр}^{ваг} \left(\frac{L}{V_{дост}} c_{п.км} + N_{тех}^{см} c_{ваг-год} t_{зам} \right) + \sum_{i=1}^n (C_{перер}^{ваг} N_{наскр}^i m_{наскр}^{ваг} + N_{наскр}^i m_{наскр}^{ваг} P_{ваг} \left(\frac{L}{V_{розв}} c_{п.км} + N_{тех}^{см} c_{ваг-год} t_{зам} \right)) \quad (2.30)$$

де $N_{наскр}$ - кількість наскрізних поїздів, сформованих на i -тій технічній станції, яка обслуговує ділянку;

i - кількість технічних станцій на яких даний вагонопотік проходить переробку;

$N_{наскр}^i$ - кількість сформованих поїздів на i -тій технічній станції із вагонопотоку, який розглядається;

$C_{перер}^{ваг}$ - витрати на переробку розглядуваного вагонопотоку на i -тій технічній станції;

$P_{ваг}$ - частка розглядуваного місцевого вагонопотоку у $N_{наскр}^i$ наскрізному поїзді;

$m_{наскр}^{ваг}$ - середня кількість місцевих вагонів з дільниці в складі наскрізного поїзда, ваг.;

$$C_{перер}^{ваг} = N_{наскр}^{ваг} m_{ваг} (t_{знах} c_{ваг-год} + T_{огл}^i c_{ТО/КО} + T_{розф}^i T_{ф}^i c_{лок-год}^{ман}), \quad (2.31)$$

де $N_{наскр}^{ваг}$ - кількість наскрізних поїздів, які прибули на станцію за добу з місцевими вагонами з розглядуваної дільниці;

$m_{ваг}$ - кількість місцевих вагонів в складі дільниці яка розглядається, ваг;

$t_{знах}$ - середній час знаходження вагона на технічній станції, год.;

$T_{розф}^i$ - нормативний час на розформування складу на i -тій технічній станції, год.;

$T_{ф}^i$ - нормативний час на формування наскрізного поїзда на i -тій технічній станції, год.

$T_{огл}^i$ - нормативний час на проведення технічного і комерційного огляду одного вагона в парку приймання i -тої технічної станції, год.;

$C_{ТО/КО}$ - вартість оплати праці працівників ПТО та ПКО при огляді одного вагона.

$C_{лок-год}^{ман}$ - вартість години роботи маневрового локомотива.

$C_{ваг-год}$ - вартість простою одного вагона протягом години, грн.;

$N_{тех}^{ст}$ - кількість технічних станцій на яких виконується заміна локомотива.

Витрати, пов'язані з розформуванням місцевого вагонопотоку на останній технічній станції і доставки його до станції призначення визначаються за формулою

$$C_{розф}^{ваг} = C_{перер}^{ваг} + C_{перес}^{ваг}, \quad (2.32)$$

Витрати $C_{перер}^{ваг}$ визначаються згідно формули 3.34 для однієї станції.

Витрати пов'язані з пересуванням вагонів по дільницям і доставки до станції призначення $C_{перес}^{ваг}$ визначаються

$$C_{\text{ваг перес}} = \sum_{i=1}^{k+1} L_i c_{\text{ваг-км}} (m^{\text{зб}} - m_i^{\text{зр}}) + \sum_{i=1}^{k+1} L_i c_{\text{п.км}} + L_{\text{дїл}} c_{\text{бр-км}}^n + \sum_{i=1}^k m_i^{\text{зр}} T_i^{\text{роз}} c_{\text{лок-зод}}^{\text{ман}} + C_{\text{розв}}^{\text{м.в.}} \quad (2.33)$$

де L_i - відстань між i -ми проміжними станціями, на яких проводиться робота по відчепленню груп вагонів, км;

$m^{\text{ваг}}$ - склад поїзда при вході на ділянку розформування, ваг;

$m_j^{\text{зр}}$ - кількість вагонів, які відчіплюють на i -ій проміжній станції,

ваг;

$T_i^{\text{роз}}$ - час на виконання маневрової роботи з групою вагонів на i -ій проміжній станції;

$L_{\text{дїл}}$ - довжина всієї дільниці, км;

$c_{\text{лок-км}}^{\text{розд}}$ - вартість одного бригадо-км поїзних локомотивів, грн/км;

$\sum_{i=1}^k m_i^{\text{зр}} T_i^{\text{роз}} c_{\text{лок-зод}}^{\text{ман}}$ - витрати, пов'язані з виконанням маневрової роботи

на станціях, грн;

$C_{\text{розв}}^{\text{м.в.}}$ - витрати, пов'язані з розвезенням вагонів маневровими локомотивами з опорної станції на закріплені проміжні станції.

Витрати на розвезення вагонів маневровими локомотивами з опорної станції на закріплені проміжні станції або навпаки визначаються за формулою:

$$C_{\text{розв}}^{\text{м.в.}} = N^{\text{зб}} c_{\text{лок-зод}}^{\text{ман}} (t_{\text{ман.лок}}^{\text{пер}} + t_{\text{ман.лок}}^{\text{ст}} n_{\text{стан}}) \quad (2.34)$$

де $t_{\text{ман.лок}}^{\text{пер}}$ - витрати часу на переміщення маневрових локомотивів по ділянці при розвезення вагонів від опорних до проміжних станцій,

закріплених за опорними станціями, при обслуговуванні одного місцевого поїзда, (визначається згідно формули 2.23) год.;

$t_{ман.лок}^{ст}$ - витрати часу, пов'язані з роботою маневрового локомотива безпосередньо на проміжних станціях ділянки при обслуговуванні одного місцевого поїзда, (визначається згідно формули 2.24) год.;

$n_{стан}$ - загальна кількість опорних станцій на ділянці, відкритих для виконання вантажних операцій;

$c_{лок-год}^{ман}$ - вартість 1 години роботи маневрового локомотива, грн.

Згідно з тривалістю виконання операцій при доставці вагонів збірними поїздами постає необхідним дослідити характер величини $t^{оч}$ та $t_{знах}$, які за своїм сутнісним призначенням в загальному ланцюзі технології доставки вантажу збірними поїздами займають основне місце – мають найбільшу тривалість виконання.

Дослідження тривалості знаходження вагонів на станції переробки наведено в додатку А.

Як показали результати розподілу середнього часу тривалості знаходження вагонів на станції переробки цей час має імовірнісну природу і підпорядковано нормальному закону розподілу із щільністю

$$P = \frac{1}{11.283\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t_{знах} - \mu)^2}{254.61}\right), \quad (2.35)$$

де $\mu = \frac{1}{t_{знах}}.$

Таким чином

$$t_{знах} = 0.035366 \int_0^{t_{знах}} \exp\left(-\frac{(t_{знах} - 23.382)^2}{254.61}\right) \cdot dt_{знах} \quad (2.36)$$

Як відомо, останній інтеграл береться по частинам в елементарних функціях, але задля компактного запису залишається у вищенаведеній формі.

Тоді вартісна оцінка переробки вагонопотоку на технічній станції буде мати вигляд

$$C_{перер}^{ваг} = \sum_{i=1}^{k+1} \left[N_{наскр}^{ваг} m_{ваг} \left(0.035366 \int_{-\infty}^{t_{знах}} \exp \left(-\frac{(t_{знах} - 23,382)^2}{254,61} \right) \cdot dt_{знах} \right) c_{ваг-год} + \right. \quad (2.37)$$

$$\left. + T_{озл} c_{ТО/КО} + T_{розф}^i T_{\phi}^i c_{лок-год}^{ман} \right]$$

Остаточню витрати на організацію та переміщення місцевого вагонопотоку збірними поїздами будуть мати вигляд

$$C^{зб} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(3\mu)^3}{2} \int_0^{t_{max}^{оч}} (t^{оч})^3 \exp(-3t^{оч}) \cdot dt^{оч} \right) m_i^{прич} c_{ваг-год} +$$

$$+ \sum_{i=1}^n N_{зб} c_{лок-год}^{ман} (t_{ман.лок}^{пер} + t_{ман.лок}^{ст}) N_{ман.лок} + \sum_{i=1}^n N_{зб} m_{зб} T_{підг}^{зб} c_{ваг-год} +$$

$$+ N_{зб} \sum_{i=1}^{n+1} L_i c_{п-км} + \sum_{i=1}^n N_{зб} p_{зуп}^i c_{зуп}^i + N_{наскр} m_{наскр}^{ваг} \left(\frac{L}{V_{дост}} c_{п.км} + N_{тех}^{ст} c_{ваг-год} t_{зам} \right) +$$

$$+ \sum_{i=1}^{k+1} \left[N_{наскр}^{ваг} m_{ваг} \left(0.035366 \int_{-\infty}^{t_{знах}} \exp \left(-\frac{(t_{знах} - 23,382)^2}{254,61} \right) \cdot dt_{знах} \right) c_{ваг-год} + \right. \quad (2.38)$$

$$\left. + T_{озл} c_{ТО/КО} + T_{розф}^i T_{\phi}^i c_{лок-год}^{ман} \right] + N_{наскр}^i m_{наскр}^{ваг} p_{ваг} \left(\frac{L}{V_{розв}} c_{п.км} + N_{тех}^{ст} c_{ваг-год} t_{зам} \right) +$$

$$\sum_{i=1}^{k+1} L_i c_{ваг-км} (m^{зб} - m_i^{зп}) + \sum_{i=1}^{k+1} L_i c_{п.км} + L_{діл} c_{бр-км}^n + \sum_{i=1}^k m_i^{зп} T_i^{роз} c_{лок-год}^{ман} +$$

$$+ N_{зб} c_{лок-год}^{ман} (t_{ман.лок}^{пер} + t_{ман.лок}^{ст} n_{стан})$$

2.2.3 Доцільність призначення вивізного поїзду

У практиці роботи залізниць застосовується засилання локомотива, або навіть локомотивів на дільницю для забирання груп вагонів не дочікуючись

прибуття збірної поїзда, частіше всього це можна спостерігати в періоди сезонних перевезень. Така форма обслуговування проміжних станцій дільниці дає можливість скоротити простій вагонів на цих станціях, так як засилочний локомотив може прибути на будь-яку станцію одночасно із закінченням вантажних операцій [17].

Ефективність засилання локомотива залежить від ряду факторів, до числа яких можна віднести:

- дальність розміщення на дільниці станції, на яку потрібно засилати локомотив;
- число вагонів, що підлягають забиранню.

Чим більше таких вагонів і чим менша відстань засилання, тим більшим буде експлуатаційно-економічний ефект від запропонованого заходу.

По наміченим до обслуговування вивізними локомотивами проміжним станціям встановлюються найвигідніші розміри руху вивізних поїздів [22]. За вибраною системою формування та розрахованими розмірами вивізного руху встановлюється потрібний парк вивізних локомотивів

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n Mt}{24 - T_{\text{носм}}}, \quad (2.39)$$

де $\sum_{i=1}^n Mt$ - середньодобові витрати локомотиво-годин по всім i -тим

призначенням вивізних поїздів, год.;

$T_{\text{носм}}$ - час на екіпіровку вивізного локомотива та зміну бригад за добу, год.

Економія приведених експлуатаційних витрат при встановленні вивізного руху складається з наступних елементів:

а) скорочення поїздо-годин та числа зупинок збірних поїздів для району місцевої роботи;

$$C_{n.зод}^{ек} = \sum_{i=1}^n \Delta n_{зб} c_{n.зод} + p_{ек} c_{зуп}, \quad (2.40)$$

б) скорочення вагоно-годин простою місцевих вагонів на проміжних станціях, що обслуговуються вивізними поїздами;

$$C_{ваг-зод}^{ек} = \left(\sum_{i=1}^n N_{м'зб}^6 t_{зб} + \sum_{i=1}^n N_{м'г}^6 t_{г} \right) c_{ваг-зод}, \quad (2.41)$$

в) економія маневрових локомотиво-годин і вагоно-годин простою составів збірних і вивізних поїздів на станціях їх формування;

$$C_{ман}^{ек} = p_{ек} \square t_{ф}^{зр} \left(n_{зб} c_{лок-зод}^{ман} + N_{зб} c_{ваг-зод} \right) + N_{м} \square t_{ф}^{зб} c_{ваг-зод}, \quad (2.42)$$

г) скорочення локомотиво-годин збірних поїздів у пунктах обороту.

$$C_{лок-зод}^{ек} = \square n_{зб} t_{об} c_{лок-зод}, \quad (2.43)$$

При впровадженні вивізних поїздів виникають додаткові приведені експлуатаційні витрати, пов'язані з використанням вивізних локомотивів:

а) при засиланні локомотива на одну станцію виникає резервний пробіг в одному напрямку (якщо локомотив не буде подавати вагони на цю станцію):

$$C_{рез} = n_{в} l_{з} c_{п.км}^{рез}, \quad (2.44)$$

б) при маневровій роботі на проміжних станціях;

$$C_{ман} = \sum_{i=1}^n N_{м}^6 t_{м} c_{лок-год}^{ман}, \quad (2.45)$$

в) при простой з локомотивною бригадами на попутних проміжних станціях і в пунктах обороту;

$$C_{пр} = \sum_{i=1}^n n_{в} (t_{ст} + t_{об}) c_{лок-год}, \quad (2.46)$$

Ефективність встановлення вивізного руху для освоєння збільшеного вагонопотоку, з урахуванням збільшення дільниць обігу збірних поїздів визначається за умови:

$$C_{п.год}^{ек} + C_{ваг-год}^{ек} + C_{ман}^{ек} + C_{лок-год}^{ек} \geq C_{рез} + C_{ман} + C_{пр}, \quad (2.47)$$

де $p_{ек}$ - зменшена кількість груп підбору збірних поїздів у зв'язку із впровадженням вивізного руху;

$n_{зб}$ - кількість збірних поїздів даного призначення;

$\Delta n_{зб}$ - кількість збірних поїздів, що скорочується при встановленні вивізного руху;

$N_{м}^6$ - місцевий вагонопотік, охоплений вивізними поїздами;

$N_{зб}$ - середньодобовий вагонопотік в збірних поїздах після встановлення вивізного руху, ваг;

$t_{зб}$ - простій вагонів на проміжній станції при обслуговуванні збірним поїздом, год.;

t_{θ} - простій вагонів на проміжній станції при обслуговуванні вивізним, поїздом, год.;

l_3 - дальність засилання вивізного локомотиву, км.;

Δt_{ϕ}^{cp} - час по формуванню, що приходить в середньому на одну групу добірки збірної поїзда, год.;

$C_{зуп}$ - витрати, що приходяться на одну зупинку збірної поїзда, грн.;

$t_{об}$ - середній час перебування локомотивів збірних поїздів у пунктах обороту, год.;

t_m - середня тривалість маневрової роботи, яку виконує вивізний локомотив на проміжній станції, год.;

$t_{ст}$ - середня тривалість стоянки на проміжній станції, год.;

$C_{ваг-год}$ - вартість 1 вагоно-години простою, грн;

$C_{лок-год}^{ман}$ - вартість 1 локомотиво-години маневрової роботи, грн;

$C_{лок-год}$ - вартість 1 години простою локомотива із бригадами, грн;

$C_{п.год}$ - вартість 1 поїздо-години збірної поїзда, грн;

$C_{п.км}$ - вартість 1 км резервного пробігу вивізного локомотива, грн.

Отже, якщо нерівність 2.47 виконується, то можливо розглядати варіант засилання вивізного локомотиву, в іншому випадку – ні.

Витрати на переміщення місцевого вагонопотоку від станції формування (технічної станції, яка обслуговує дільницю) до станції призначення та витрати на розформування вагонопотоку на останній технічній станції визначаються таким же чином, як і для збірної поїзда.

Остаточні витрати на організацію та переміщення місцевого вагонопотоку вивізними поїздами будуть мати вигляд

$$\begin{aligned}
C_6 = & \left\{ n_6 l_3 c_{п.км}^{pez} + \sum_{i=1}^n N_m^6 t_m c_{лок-год}^{ман} + \sum_{i=1}^n n_6 (t_{cm} + t_{об}) c_{лок-год} + \right. \\
& N_{наскр} m_{наскр}^{ваг} \left(\frac{L}{V_{дост}} c_{п.км} + N_{тех}^{cm} c_{ваг-год} t_{зам} \right) + \\
& + \sum_{i=1}^{k+1} \left[N_{наскр}^{ваг} m_{ваг} \left(0.035366 \int_{-\infty}^{t_{знах}} \exp \left(-\frac{(t_{знах} - 23,382)^2}{254,61} \right) \cdot dt_{знах} \right) c_{ваг-год} + \right. \\
& + T_{огл} c_{ТО/КО} + T_{розф}^i T_{ф}^i c_{лок-год}^{ман} \left. \right] + N_{наскр}^i m_{наскр}^{ваг} p_{ваг} \left(\frac{L}{V_{розв}} c_{п.км} + N_{тех}^{cm} c_{ваг-год} t_{зам} \right) + \\
& \sum_{i=1}^{k+1} L_i c_{ваг-км} (m^{зб} - m_i^{zp}) + \sum_{i=1}^{k+1} L_i c_{п.км} + L_{дл} c_{бр-км}^n + \sum_{i=1}^k m_i^{zp} T_i^{роз} c_{лок-год}^{ман} + \\
& + N^{зб} c_{лок-год}^{ман} (t_{ман.лок}^{пер} + t_{ман.лок}^{cm} n_{стан}) \left. \right\} \quad (2.48)
\end{aligned}$$

Таким чином, можна зробити висновок, що цільова функція (3.5) по визначенню раціональної організації місцевої роботи неперервна і диференційована, що свідчить про існування раціональної технології організації місцевої роботи в області припустимих рішень, яка обумовлена виконанням системи обмежень.

Адекватність розробленої моделі і точність отриманих результатів обґрунтовано наступним:

- врахуванням послідовності всіх технологічних операції щодо переробки вагонопотоків на станціях та ділянках при організації місцевої роботи;
- наявністю реальних технічних і технологічних обмежень у моделі, що притаманні організації місцевої роботи;
- врахуванням невизначеності технологічних параметрів за рахунок введення до цільової функції відповідної щільності розподілу імовірнісних величин, що підтверджується критеріями узгодженості χ^2 та Колмогорова-Смірнова (додаток А).

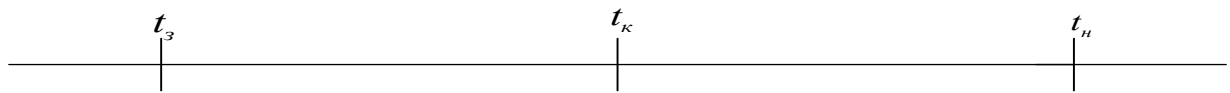
2.3 Пропозиції з удосконалення технології регулювання порожнього рухомого складу

Нераціональний розподіл вагонів для забезпечення сезонних перевезень вантажів, розсередженість пунктів навантаження і вивантаження на мережі залізниць при теперішніх методах регулювання призводить до надлишкових простоїв дефіцитного рухомого складу, несвоєчасного підводу порожніх вагонів під навантаження і, як наслідок, не забезпечення значної кількості заявок на навантаження. В попередніх дослідженнях регулювання вагонного парку виконувалося шляхом порівняння масиву заявок на навантаження і масиву інформації про місце розташування вагонів, в якості критерію для порівняння використовувався 2показник витрат вагоно-годин $C_{ваг.год.}$ [13]. Але в теперішніх умовах виникають ситуації, коли деякі заявки потребують першочергового навантаження, прискореної доставки або врахування вартості вантажу та ін., крім того потрібно враховувати експлуатаційний стан вагонів. Отже, на сьогоднішній день виникає потреба в розробці нових методів процесу регулювання порожніх вагонів з урахуванням вищенаведених факторів і використанням новітніх автоматизованих технологій [14].

Основа методу регулювання вагонів - в порівнянні за заданими критеріями масиву заявок на навантаження і масиву інформації про місце розташування і експлуатаційний стан рухомого складу. Окрім того, при порівнянні необхідно враховувати вартість вантажу, необхідність першочергового навантаження, прискореної доставки і ін. Все це можна враховувати за допомогою коефіцієнта пріоритету A . Тоді $AC_{ваг.год.} = K$, де K - це критерій порівняння.

Оскільки система регулювання не може функціонувати без часових обмежень, то виникає необхідність визначити глибину і інтервал планування. Глибина планування – це відрізок часу від моменту надходження заявки до

моменту початку навантаження вагону. Глибина планування має нижню та верхню межу. Нижня межа глибини планування – це момент надходження заявки, а верхня – це момент виходу обраного вагона з вихідної позиції до місця навантаження. Відправлення цього вагона після моменту виходу (верхня межа) призводить до запізнення тобто зриву навантаження.



$t_n - t_z$ - глибина планування;

t_z - нижня границя глибини планування, момент надходження заявки;

t_k - верхня границя глибини планування – крайній строк для забезпечення навантаження в даному варіанті;

t_n - початок навантаження.

Рисунок. 2.2 Графік глибини планування

Таким чином, нижня границя глибини планування, буде визначатися наступним рівнянням

$$(t_n - t_z)_i = (t'_i + t_\theta + t_{n.n} + t_i + t_n)_i, \quad (2.49)$$

де t'_i - час на прямування до місця вивантаження;

t_θ - час на вивантаження;

$t_{n.n}$ - час на операції по підготовці до навантаження;

t_i - час на прямування до місця навантаження;

t_n - час на операції попередні навантаженню.

Перші три елементи застосовуються для потенційно готових до навантаження вагонів p_2 .

Верхня границя глибини планування відповідає наступній умові

$$(t_n - t_k)_i = (t_i + t_n)_i, \quad (2.50)$$

Таким чином, всі розрахунки пов'язані з позначенням заявок на навантаження проводяться в період $(t_k - t_z)_i$.

Для регулювання вагонів задача має такий вигляд.

Необхідно p_i вагонів розподілити за m_i заявок. Критерієм переміщення вагона від моменту, який відповідає часу подачі інформації, до моменту початку навантаження є витрати вагоно-годин $C_{ваг.год.}$ з урахуванням коефіцієнта пріоритету A .

При надходженні потоку заявок і інформації можуть виникати різні ситуації

1 $\sum m_i = \sum p_i$ - ця умова забезпечує повну зв'язаність заявок і готових до навантаження вагонів.

2 $\sum m_i > \sum p_i$ - в такому випадку вирішення задачі заключається у виборі $\sum m_i = \sum p_i$ першочергових по важливості заявок. Цього можна досягнути наступним чином: представимо коефіцієнт пріоритету A , як лінгвістичну змінну [15] – пріоритет навантаження. Нечіткою змінною для неї є χ - числова характеристика цього пріоритету. Вона визначена на множині C і характеризується функцією приналежності, яка задана формулою

$$\mu_c(\chi) = \begin{cases} 0, & \text{при } m=0 \\ \left(\frac{m' + p}{m}\right)^2, & \text{при } (m - m') > p, \\ 1, & \text{при } (m - m') \leq p \end{cases} \quad (2.51)$$

де m - кількість заявок;

m' - кількість заявок, що мають пріоритет і потребують першочергового забезпечення;

p - кількість вагонів готових до навантаження.

Графічне представлення цієї функції наведено на рисунку 2.3.

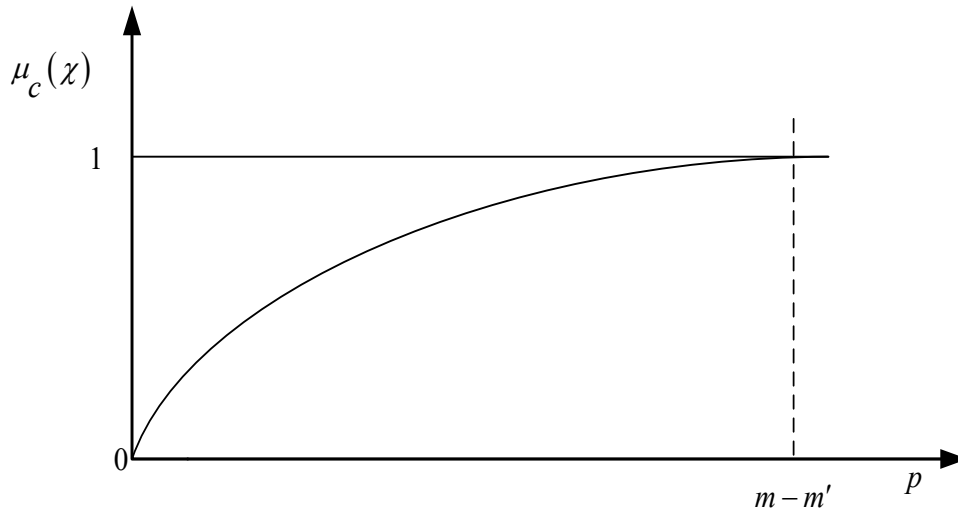


Рисунок 2.3 Графік функції приналежності, що відповідає за пріоритет навантаження

Таким чином виконуються розрахунки для кожної із заявок, що надходять у систему. Після цього система обирає заявку з найбільшим значенням функції приналежності, потім – другу за значенням і видає рекомендацію щодо пріоритетності навантаження.

Якщо пріоритету немає, то задача вирішується за критерієм мінімуму витрат вагоно-годин $C_{\text{ваг.год.}}$. При цьому необхідно мати на увазі, що $C_{\text{ваг.год.}}$ складається з двох величин: $C'_{\text{ваг.год.}}$ - витрати вагоно-годин від моменту подачі інформації про готовність до моменту прибуття в пункт навантаження і $C''_{\text{ваг.год.}}$ - від моменту прибуття в пункт навантаження до початку навантаження.

3 $\sum m_i < \sum p_i$ - в даному випадку забезпечуються всі заявки, а вагони, що залишилися і готові до навантаження, повертаються в чергу.

В усіх випадках виконується закріплення одного готового до навантаження вагона до однієї заявки. Задачі такого типу називаються задачами вибору та призначення.

Отже, переміщення вагона від пункту готовності під навантаження - p_i до пункту навантаження (заявки) - m_j визначається приведеними вагоно-годинами C_{ij} , що повинні бути мінімальними.

Проведене розподілення називається гарантуючим, а прийняті для забезпечення заявки вагони (готові до навантаження) – гарантуючими. На цьому закінчується вирішення першого етапу задачі – тотального розрахунку. Вихідні варіанти визначаються під час тотальних розрахунків, що проводяться через 6, 12 і 24 години в залежності від прийнятого режиму роботи системи.

Якщо для прийнятих в даному тотальному розрахунку варіантів виконується умова $(t_n - t_k)_i = (t + t_n)_i$, то ці варіанти вважаються прийнятими.

До місцезнаходження готового до навантаження вагона передається наказ на прямування його до місця навантаження. Забезпечена заявка і використаний вагон із подальших розрахунків виключаються. Всі інші m_j та p_i залишаються в пам'яті системи для подальших розрахунків.

Якщо позначити інформацію, що надходить в період між тотальними розрахунками про готові до навантаження вагони p'_i , базисний до даної заявки m_j варіант, а приведені вагоно-години відповідно C_{ij} , C'_{ij} , то при $C_{ij} \leq C'_{ij}$ залишається базисний варіант, а при $C_{ij} > C'_{ij}$ умовно приймається новий варіант. Після порівняння усієї інформації p'_i з всіма заявками m_j обирається варіант, який відповідає умові

$$C_{ij} - C'_{ij} = \max . \quad (2.52)$$

Потім p_i вихідного варіанту передається в пам'ять системи для участі в подальших тотальних розрахунках, а p'_i займає місце p_i .

Кожна нова інформація досліджується за вищезазначеною методикою. Порівняння нових масивів інформації про готовність вагонів до навантаження для заявки m_j проводиться тільки до того моменту, доки не буде досягнута верхня межа глибини планування.

Так як оперативні рішення задачі виконуються послідовно для кожної заявки, в результаті чого визначається більш прийнятний варіант, то цей метод можна назвати методом аукціонної вибірки.

Для m_j вихідний варіант p_i , при надходженні нової інформації p'_i , має вигляд

$$p_i = p'_i(\min C_{ij}) \Rightarrow \begin{cases} C_{ij} \Rightarrow p_i, & \text{при } C_{ij} \leq C'_{ij} \\ C'_{ij} \Rightarrow p'_i, & \text{при } C_{ij} > C'_{ij} \end{cases}, \quad (2.53)$$

При надходженні інформації p''_i

$$p_i = p''_i(\min C_{ij}) \Rightarrow \begin{cases} C_{ij} \Rightarrow p_i, & \text{при } C_{ij} \leq C''_{ij} \\ C'_{ij} \Rightarrow p'_i, & \text{при } C_{ij} > C''_{ij} \end{cases}, \quad (2.54)$$

та

$$p'_i = p''_i(\min C_{ij}) \Rightarrow \begin{cases} C'_{ij} \Rightarrow p'_i, & \text{при } C'_{ij} \leq C''_{ij} \\ C''_{ij} \Rightarrow p''_i, & \text{при } C'_{ij} > C''_{ij} \end{cases}, \quad (2.55)$$

далі проводиться перевірка усіх можливих варіантів p_i до отримання найбільш раціональних варіантів розподілу порожніх вагонів по заявкам на навантаження.

Отже, наведена методика розрахунків дасть змогу для проведення регулювання порожніх вагонів з мінімальними витратами вагоно-годин на переміщення та з урахуванням коефіцієнта пріоритетності.

Висновок. Завдяки удосконаленій методиці відбувається удосконалення технології роботи дирекції в галузі оптимізації управління місцевою роботою. Розроблена модель перевіряє можливість формування ступінчатого маршруту, потім вивізного поїзду, а вагонопотік який залишається охоплюється збірними поїздами.

За рахунок перевезення частини завантажених вагонів ступінчатими маршрутами та вивізними поїздами простій вагонів на технічній станції можливо зменшити на 11% в середньому за добу, вагоно-годин простою на станції навантаження в очікуванні забирання - на 18%, локомотиво-години роботи маневрових локомотивів на технічних станціях - на 4,5%.

3 Розробка системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників для ефективного управління місцевою роботою

3.1 Принцип побудови системи підтримки прийняття рішень оперативних працівників

При побудові СППР необхідно дотримуватися таких основних принципів: дружність по відношенню до користувача, відкритість, модульність і можливість реконфігурації системи, можливість вибору алгоритму вирішенні поставленої задачі, здатність аналізу своїх дій, можливість придбання і формалізації нових знань [16].

Дружність системи по відношенню до користувача передбачає високий рівень адаптації системи до його вимог. Реалізація даного принципу дозволяє використовувати розроблену СППР спеціалістами, які не мають поглиблених знань в область комп'ютерних технологій. Адаптація досягається шляхом використання в системі діалогового режиму і зручного інтерфейсу для людини яка приймає рішення (ЛПР).

Відкритість системи досягається можливістю розширення кола задач, які вирішує СППР шляхом використання для різних задач загального математичного апарату, програмного забезпечення конфігурації системи. Реалізація даного принципу також дозволяє легко адаптуватися СППР до нових задач, що досягається за допомогою доповнення системи новими даними, знаннями, моделями, а також математичними методами, які використовуються при формалізації знань та прийнятті рішень.

Модульність забезпечує декомпозицію вирішуваних задач при проектуванні і розширенні функціональних можливостей системи. Даний принцип передбачає побудову СППР із окремих функціональних модулів, що взаємодіють між собою це дає можливість легко вносити зміни в склад

кожного модулю, зберігаючи структуру системи і існуючі між модулями взаємозв'язки.

Реконфігурація надає можливість зміни конфігурації системи з метою адаптації до нових умов або типу завдання, що вирішується. Можливість вибору алгоритму вирішення задачі забезпечує визначення системою за участі ЛПР методології вирішення поставленого завдання. Можливість аналізу своїх дій надає ЛПР можливість отримати в зручній для зрозуміння формі і термінології пояснення знань СППР і приймає мого системою рішення. Можливість надбання а формалізації нових знань забезпечує поповнення бази знань не тільки робітниками СППР, але і самою системою в процесі функціонування.

База даних містить необхідну для функціонування СППР конкретну формалізовану інформацію про об'єкти предметної області та їх властивості: характеристику ділянок, обсяги навантаження по станціям ділянки за минулий період та плани перевезень на поточний час, інформацію про перевізний процес за минулі роки та теперішній час та ін.

Система управління базою даних (СУБД) забезпечує задоволення інформаційних потреб СППР шляхом надання ЛПР та іншим функціональним модулям системи можливостей швидкого доступу до даних для отримання інформації, що використовується при прийнятті рішень. Тому СУБД відповідає не тільки за зберігання відповідної моделі представлення даних, але і за роботу з даним різних програм та користувачів.

Отже, на основі вищезазначеного можна зробити висновок про необхідність побудови СППР модульного типу, де кожен окремий модуль буде вирішувати поставлені задачі.

3.2 Визначення задач які повинна вирішувати система підтримки прийняття рішень оперативних працівників при управлінні місцевою роботою

У завдання системи входить реалізація апарату підтримки оперативних рішень поїзного диспетчера, що керує місцевою роботою дільниці. Це втілюється у вигляді оцінки ситуації, що виникає в процесі роботи та використовуючи минулий досвід запропонувати найбільш раціональний варіант організації місцевої роботи. Важливим є те, що система сама безпосередньо не приймає рішення, вона лише підказує оперативному працівнику, який варіант дій є найбільш раціональним, а вже остаточне рішення приймає сам працівник, спираючись на надані йому підказки [18].

Критерій оптимальності рішення, що приймається по ефективному управлінні розглядуваною системою на деякому часовому інтервалі можливо записати в наступному вигляді

$$J = \text{extr}[F9(x, y, z, t)] \quad (3.1)$$

$$x \in R[x], y \in R[y], z \in R[z], t \in \Delta T$$

де x, y, z - функції, які характеризують входи, виходи та внутрішній стан системи на розглядуваному інтервалі часу ΔT ;

$R[x], R[y], R[z]$ - обмеження, що накладаються на дані функції.

Отже, основними функціями, які повинна вирішувати СППР є:

1) отримання і накопичення інформації про показники та стан перевізного процесу:

- збір щодобових даних навантаження вантажів по станціям за визначений період;
- оцінка поточної поїзної ситуації на дільницях визначеного полігону.

2) аналіз отриманих даних та прогнозування сезонних періодів масового навантаження на наступні місяці року;

3) визначення найбільш раціональних варіантів вирішення задачі, яка викликана визначеними даними:

- розрахунок економічної ефективності ступінчатого маршруту;

- розрахунок економічної ефективності збірних поїздів, вивізних та диспетчерських локомотивів;

4) розрахунки по регулюванню порожнього рухомого складу.

5) формування рекомендацій відповідно до розрахунків.

Як зазначалося вище, система має бути адаптивною. Процес адаптації такої системи полягає у її реакції на зміну входних параметрів та налаштуванні внутрішніх параметрів відповідним чином. Для підвищення швидкості реакції системи на зміну оперативної ситуації на дільниці є процес «засвоювання», тобто накопичення інформації про різні події з варіантами їх вирішення.

3.3 Структура та алгоритм функціонування системи по ефективному управлінні місцевою роботою дільниці

Ефективність заходів по ефективному управлінні місцевою роботою в значній мірі пов'язана з обґрунтованістю прийнятих рішень по вибору типу поїзда для обслуговування станцій дільниці, виду локомотивів, що працюють на дільниці, розподілу порожнього рухомого складу. Накопичений досвід моделювання великих систем та складних технологічних процесів дозволяє створювати СППР, що не тільки надають користувачу всю необхідну для прийняття рішень інформацію, але і забезпечують самостійне формування обґрунтованого вирішення з кількісною оцінкою критерію, що характеризує його оптимальність [19].

Основу архітектури СППР поїзного диспетчера (рис. 3.1) складають, моделюючий, вирішальний, інформаційний та керуючий модулі, а також модуль організації діалогу та введення в систему інформації про розміщені в межах дільниці станцій. Для зв'язку між модулями використовується інформаційно-керуюча системна шина, яка забезпечує передачу керуючих

сигналів і інформації, що необхідна для вирішення поставлених перед системою задач [20].

Моделюючий модуль включає в себе блок математичних моделей, які призначені для вирішення покладених на систему задач, таких як: прогнозування сезонності на визначений період; визначення витрат на організацію ступінчатого маршруту, збірних поїздів, вивізних та диспетчерських локомотивів на окремій дільниці; регулювання порожнього рухомого складу.

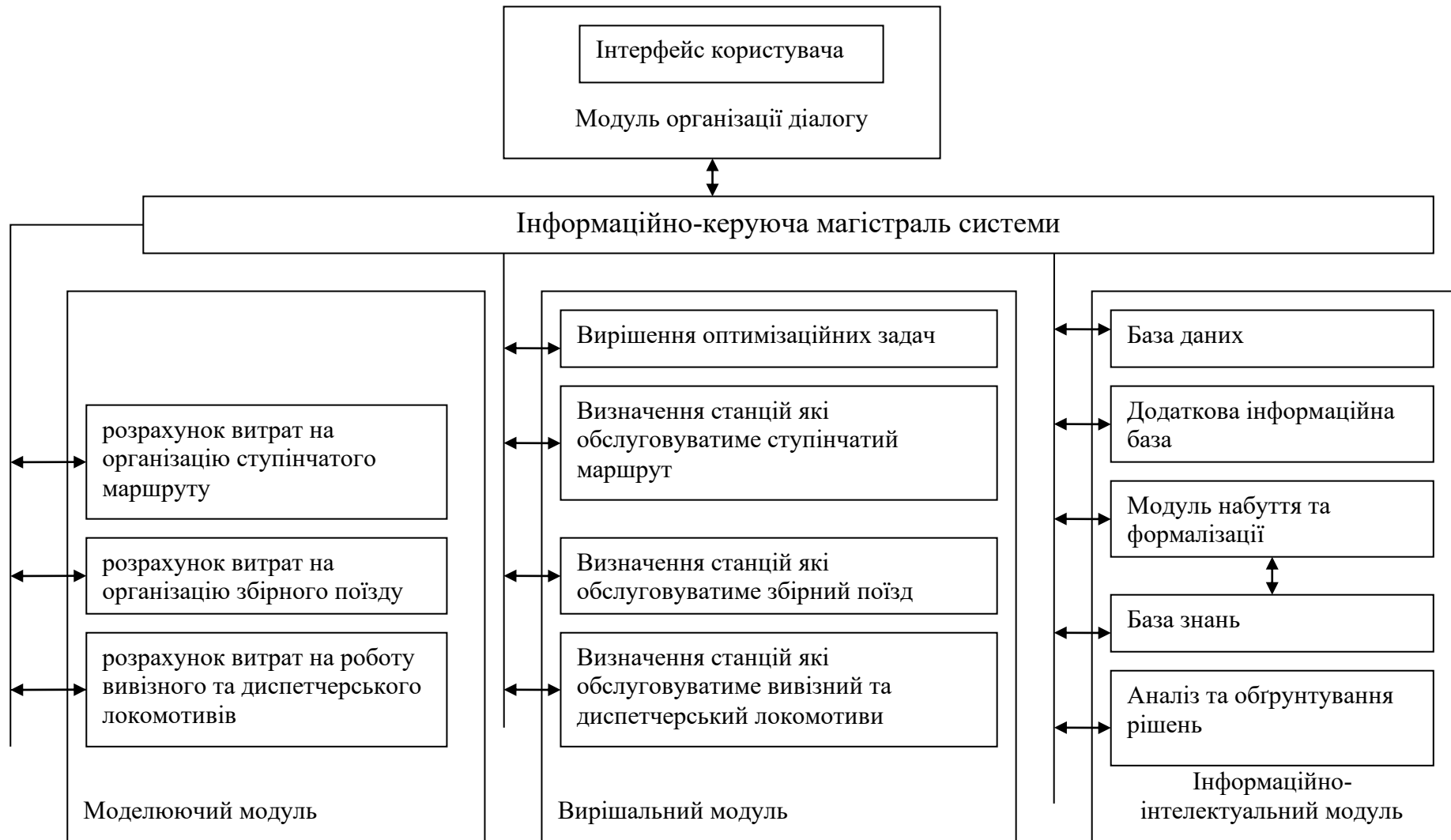


Рисунок 3.1. – Функціональна схема системи підтримки прийняття рішень в задачах управління місцевою роботою дільниць

Розрахунок витрат на організацію ступінчатих маршрутів, збірних поїздів, вивізних та диспетчерських локомотивів виконується на основі запропонованої методики (розділ 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3). Необхідні витрати на організацію одного із зазначених варіантів розраховуються на основі інформації про вартість всіх необхідних елементів (локомотиво-години, вагоно-години, поїздо-км та ін.), , яка зберігається в базі даних.

Регулювання порожнього рухомого складу виконується на основі розробленої методики в розділі 2.3.4. Вихідні дані, що необхідні для регулювання знаходяться в базі даних системи.

Вирішальний модуль забезпечує формування запропонованих СППР варіантів вирішення оптимізаційних задач. Виділення в склад СППР даного модуля обґрунтовано значимістю задач, що ставляться перед системою для формування оптимального рішення.

Під оптимізаційними задачами в СППР маються на увазі мінімальний по витратам вибір: станцій які обслуговуються ступінчатими маршрутами, збірними поїздами, вивізними та диспетчерськими локомотивами; станцій на які проводиться регулювання рухомого складу. Метою оптимізації є пошук одного з множини варіантів обслуговування станцій дільниці. В залежності від задачі, яка вирішується, запропонований користувачу варіант повинен забезпечувати мінімально можливий при заданих обсягах простій вагонів при мінімальних витратах.

Ще однією функцією вирішального модуля є аналіз запропонованих системою та людиною варіантів вирішення кожної із задач, що розглядаються. Після отримання від системи рекомендованого варіанта, ЛПР надається можливість або погодитися с запропонованим СППР варіантом, або змінити його на свій розсуд, попередньо оцінивши за допомогою системи обґрунтованість прийнятого рішення.

Нові інформаційні технології в АСК ВП УЗ забезпечують ведення вищезазначених баз даних, та містять повну інформацію про поїзди, вагони, станції і ін. Інформація в БД АСК ВП УЗ постійно оновлюється та підтримується в актуальному стані.

Розгалуженість інформаційної бази АСК ВП УЗ дозволяє побудувати схему передачі інформації та організації БД в розробленій СППР, рисунок 3.2.

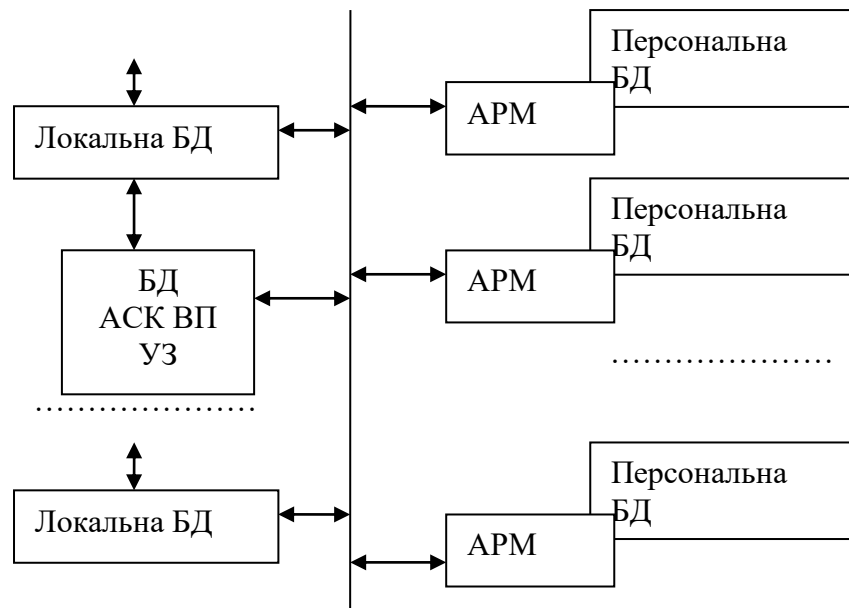


Рисунок 3.2 Схема передачі інформації при функціонуванні СППР.

Для перетворення повідомлень системи АСК ВП УЗ в запит бази даних для здійснення вибірки необхідних даних до розробленої СППР існує розроблений пристрій узгодження. Основна функція такого пристрою – перетворення даних системи АСК ВП УЗ в запит бази даних.

Загальна структура бази даних при реалізації системи підтримки прийняття рішень для оперативного управління місцевою роботою наведена на рисунку 3.3.

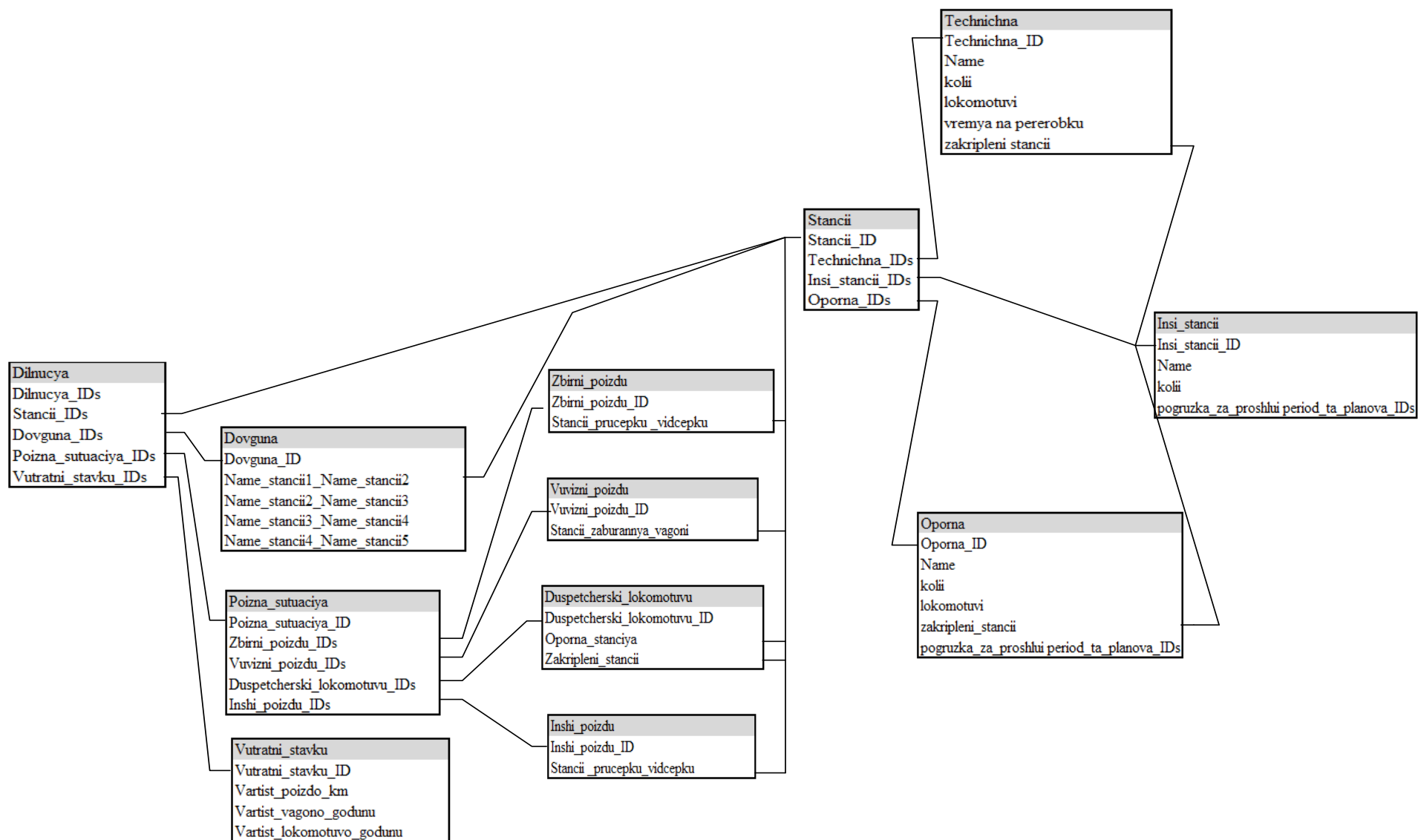


Рисунок 3.3 - Структура бази даних при реалізації СППР

3.4 Програмна реалізація системи підтримки прийняття рішень для оперативного управління місцевою роботою

Програмне забезпечення СППР орієнтовано на роботу з операційною системою Microsoft Windows. Всі програми, які входять в СППР виконані з використанням методу структурованого програмування в вигляді окремих, призначених для вирішення конкретної задачі, функціонально орієнтованих модулів. Об'єднання програмних компонент виконується шляхом спеціальної конфігураційної програми, яка забезпечує побудову та функціонування СППР у відповідності до архітектури, яка запропонована на рис. 4.1. Розроблена СППР реалізована в середовищі пакету прикладних програм Matlab та оптимізована для роботи в операційному середовищі Microsoft Windows.

Робота з СППР виконується за допомогою спеціального інтерфейсу (рис. 4.4, рис. 4.5).

Висновок.

Отже, СППР спочатку визначає кількість вагонів під навантаження для кожного клієнту всіх станцій полігону ДН. На наступному етапі автоматизована система визначає бальні характеристики лінійних об'єктів з яких буде вивозитися місцевий вантаж.

Встановлення розробленої автоматизованої системи підтримки прийняття рішень передбачається на автоматизованому робочому місці старшого поїзного диспетчера, оскільки як зазначалося раніше саме він повинен забезпечити узгоджену роботу усього полігону ПД при виконанні

експлуатаційного процесу в тому числі й місцевої робот

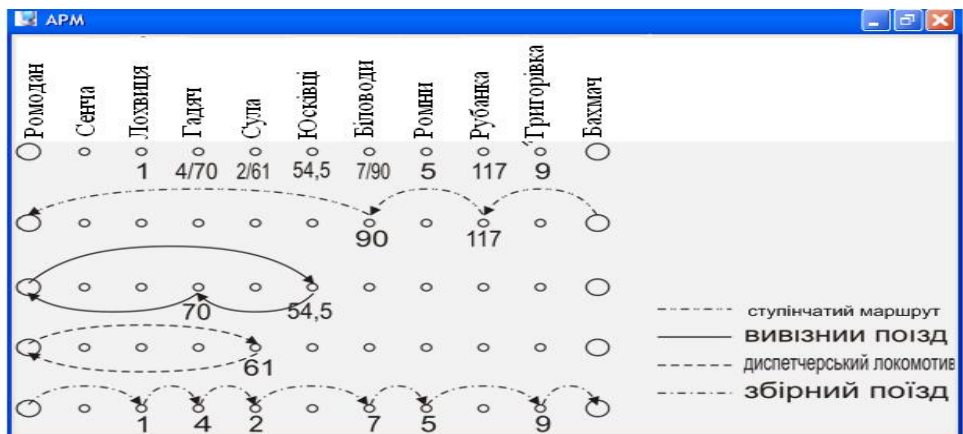


Рисунок 4.4 – Фрагмент інтерфейсу робочого місця старшого поїзного диспетчера (Вікно 1)

СППР АРМ ДНЦС			
Полтавська дирекція залізничних перевезень			
Дільниця	Кременчук- Полтава Півд	Дата	10 10 2010
Спосіб обслуговування станцій дільниці	Кіл-ть поїздів	Станції обслуговування	Станція розформування
36. п.	1	Ромни Лохвиця Гадяч Сула	Полтава-Півд.
В.п.	1	Біловоди Рубанка	Бахмач
Д.п.	1	Гадяч	Ромодан
Ступ. маршрут	1	Сенча Лохвиця	Кременчук

Рисунок 4.5 – Фрагмент інтерфейсу робочого місця старшого поїзного диспетчера (Вікно 2)

Висновок. Для більш ефективної роботи доцільно передбачити безпосереднє дублювання вхідної інформації з АРМ старшого поїзного диспетчера (ДНЦС) до АРМ поїзного диспетчера (ДНЦ). А також можливість мати доступ до АРМів інших ДНЦ.

4 Визначення економічного ефекту для полігону залізниці від впровадження запропонованої СППР поїзного диспетчера

Реалізація запропонованої системи підтримки прийняття рішень по управлінні місцевою роботою дає змогу зменшити експлуатаційні витрати за рахунок інтенсивного використання інформаційно-керуючих систем оперативним персоналом залізниці, що дозволяє скоротити простій вагонів на технічних станціях та в очікуванні забирання зі станції навантаження, а це, в свою чергу, призводить до зменшення маневрових локомотиво-годин роботи на технічних станціях.

Метою даної роботи є техніко – економічне обґрунтування впровадження додаткової програми на АРМ чергового по станції, яка дозволить встановити оптимальну кількість подач вагонів на вантажний фронт та зменшити простой вагонів в очікуванні виконання технологічних операцій.

Для надання прогнозової оцінки річних обсягів оброблених вагонів на наступні п'ять років застосовується метод екстраполяції на основі змінної середньої [22].

Для згладжування за трьома точками застосовується формула:

$$\bar{y}_0 = \frac{y_{-1} + y_0 + y_{+1}}{3} \quad (4.1)$$

де $\bar{y}_0$ – згладжене значення середньої точки для будь-якої групи з трьох точок фактичного ряду;

y_{-1}, y_0, y_{+1} – фактичні значення лівої, середньої і правої точок будь-якої групи фактичного ряду.

$$\bar{y}_2 = \frac{4018 + 3903 + 3791}{3} = 3904$$

$$\bar{y}_3 = \frac{3903 + 3791 + 3744}{3} = 3813$$

$$\bar{y}_4 = \frac{3791 + 3744 + 3696}{3} = 3744$$

Згладжені значення для першої і останньої крайніх точок фактичного ряду, визначаються за спеціальними формулами (4.2) та (4.3).

Для визначення середнього (згладженого) значення для першої точки з першої групи фактичного часового ряду використовується формула:

$$\bar{y}_{-1} = \frac{5 \cdot y_{-1} + 2 \cdot y_0 - y_{+1}}{6} \quad (4.2)$$

де $\bar{y}_{-1}$ – згладжене значення крайньої лівої точки фактичного ряду;

y_{-1} ; y_0 ; y_{+1} – фактичні значення першої (крайньої лівої) групи з трьох точок фактичного ряду.

$$\bar{y}_1 = \frac{5 \cdot 4018 + 2 \cdot 3903 - 3791}{6} = 4018$$

Для визначення середнього (згладженого) значення для останньої точки з останньої групи фактичного часового ряду використовується формула:

$$\bar{y}_{+1} = \frac{5 \cdot y_{+1} + 2 \cdot y_0 - y_{-1}}{6} \quad (4.3)$$

де $\bar{y}_{+1}$ – згладжене значення правої крайньої точки фактичного ряду;

y_{-1} ; y_0 ; y_{+1} – значення останніх трьох точок фактичного ряду.

$$\bar{y}_1 = \frac{5 \cdot 3696 + 2 \cdot 3744 - 3791}{6} = 3697$$

Побудовано графік згладженого ряду обсягів оброблених вагонів (рисунок 4.1);



Рисунок 4.1 – Річний обсяг оброблених вагонів

З графіка видно, що динаміка обсягів обробки вагонів відповідає лінійній залежності виду

$$y = a_0 + a_1 t$$

Визначаємо параметри обраної функції методом найменших квадратів.

Для лінійної функції виду $\hat{y} = a_0 + a_1 t$ параметри визначаються розв'язанням системи рівнянь:

$$\begin{cases} na_o + a_1 \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_o \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i y_i \end{cases} \quad (4.4)$$

Для зручності визначення a_o і a_1 всі обчислення доцільно звести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Допоміжна таблиця для обчислення a_o і a_1 для $\hat{y} = a_o + a_1 t$

Рік	Кількість точок часового ряду (n)	t_i	y_i	$(t_i)^2$	$y_i t_i$
2021	1	1	4018	1	4018
2022	2	2	3903	4	7806
2023	3	3	3791	9	11373
2024	4	4	3744	16	14976
2025	5	5	3696	25	18480
	$n = 5$	$\sum_{i=1}^n t_i = 15$	$\sum_{i=1}^n y_i = 19152$	$\sum_{i=1}^n t_i^2 = 55$	$\sum_{i=1}^n t_i y_i = 56653$

$$\begin{cases} 5a_o + 15a_1 = 19152 \\ 15a_o + 55a_1 = 56653 \end{cases}$$

$$a_o = 4071$$

$$a_1 = -80,3$$

Таким чином, динаміка прогнозованих обсягів обробки вагонів за роками прогнозного періоду описується залежністю:

$$\hat{y} = 4071 - 80,3 \cdot t$$

Виконано прогнозування кількості оброблених вагонів на 2027-2032 р:

$$\hat{y}_{2027} = 4071 - 80,3 \cdot 6 = 3590 \text{ ваг.}$$

$$\hat{y}_{2028} = 4071 - 80,3 \cdot 7 = 3510 \text{ ваг.}$$

$$\hat{y}_{2029} = 4071 - 80,3 \cdot 8 = 3429 \text{ ваг.}$$

$$\hat{y}_{2030} = 4071 - 80,3 \cdot 9 = 3349 \text{ ваг.}$$

$$\hat{y}_{2031} = 4071 - 80,3 \cdot 10 = 3268 \text{ ваг.}$$

Визначаємо ступінь вірогідності обраної функції з використанням кореляційного відношення:

$$R = \sqrt{1 - \frac{S_{\text{зал}}^2}{S_{\text{заг}}^2}} \quad (4.5)$$

де $S_{\text{заг}}^2$ – загальна дисперсія;

$S_{\text{зал}}^2$ – залишкова дисперсія;

$$S_{\text{заг}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \quad (4.6)$$

$$S_{\text{зал}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p} \quad (4.7)$$

де y_i – фактичні значення часового ряду;

$\hat{y}_i$ – розрахункові значення часового ряду;

$\bar{y}$ – середнє значення часового ряду;

n – кількість точок (значень) фактичного часового ряду;

p – кількість параметрів a_i , що входять до рівняння теоретичної кривої

Величина R повинна завжди знаходитись в інтервалі $0 < R < 1$. Високий рівень якості обраної функції відповідає умові $0,7 < R < 1$.

Для визначення загальної та остаточної дисперсії усі розрахунки доцільно звести в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Допоміжна таблиця для розрахунку загальної та залишкової дисперсії

Рік n	t_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	$\bar{y}$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$
2027	1	4018	3992	26	676	3831	187	34969
2028	2	3903	3911	-8	64	3831	72	5184
2029	3	3791	3831	-40	1600	3831	-40	1600
2030	4	3744	3751	-7	49	3831	-87	7569
2031	5	3696	3670	26	676	3831	-135	18225
					3065			67547

$$S_{\text{заг}}^2 = \frac{67547}{5 - 1} = 16886,75$$

$$S_{\text{зал}}^2 = \frac{3065}{5 - 2} = 1021,67$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{1021,67}{16886,75}} = 0,969$$

Ступінь вірогідності отриманого прогнозу задовольняє умові $0,7 < R < 1$, тому визначається помилка прогнозу методом оцінки «стандартної помилки» (S) за формулою:

$$S = \pm \sqrt{S_{\text{зал}}^2} \quad (4.8)$$

$$S = \pm \sqrt{1021,67} = \pm 31,96$$

Метою реалізації проекту є зменшення виробничих витрат, а результати проекту залишаються незмінними за роками розрахункового

періоду (тобто, проекти, що здійснюються в окремих підрозділах АТ «Укрзалізниця», які фінансуються з основної діяльності за кошторисом витрат без отримання прибутку), то приріст економічного ефекту за розрахунковий період визначається за формулою

$$\Delta_T = \sum_{t=1}^n \Delta_t \alpha_t = \sum_{t=1}^n (Z_{t1} - Z_{t2}) \alpha_t, \quad (4.9)$$

де Z_{t1} - вартісна оцінка витрат в році t розрахункового періоду до здійснення проекту;

Z_{t2} - вартісна оцінка витрат в році t розрахункового періоду після здійснення проекту;

α_t - коефіцієнт приведення результатів і витрат до розрахункового року.

Для розрахунку загальних витрат на простій вагонів необхідно знайти добуток прогнозованої кількості вагонів за рік, середньої тривалості простою одного вагона в очікуванні операції та вартості однієї години простою вагона. Це значення розраховується для кожного розрахункового року як для варіанту до впровадження АРМ, так і для варіанту після впровадження.

Отже, було проведено прогнозування кількості оброблених вагонів на 2027 – 2031 р. та розрахунок економічного ефекту від впровадження додаткової програми на АРМ поїзного диспетчера. Проект окупається вже у першому році після впровадження та має велику економічну привабливість. Розрахований економічний ефект з урахуванням коефіцієнту приведення у першому році після його впровадження складе 6964,06 грн, а через 5 років економічний ефект наростаючим підсумком буде дорівнювати 113629,49грн.

Висновки

1. За результатами аналізу технології організації місцевої роботи встановлено, що ефективність обслуговування станцій залізничної дільниці значною мірою залежить від своєчасності подачі та забирання вагонів. Значну частину загального часу доставки вантажів становлять простой під час переробки на технічних станціях та очікування виконання транспортних операцій. Це обумовлює необхідність удосконалення оперативного планування місцевої роботи шляхом узгодження обслуговування станцій із фактичним надходженням вагонів і завершенням вантажних операцій.

2. Визначено основні чинники, що впливають на тривалість очікування подачі та забирання вагонів: нерівномірність вагонопотоків, сезонні коливання обсягів навантаження, тривалість вантажних операцій, періодичність обслуговування станцій та наявність локомотивних ресурсів.

3. Удосконалено методику визначення витрат на подачу та забирання вагонів, яка передбачає зіставлення можливих варіантів обслуговування станцій за сукупними витратами на роботу локомотивів і простій вагонів. Застосування методики створює основу для вибору економічно доцільної черговості та періодичності обслуговування станцій збірними і вивізними поїздами та диспетчерськими локомотивами.

4. Сформовано модель планування місцевої роботи, яка передбачає послідовну перевірку доцільності формування ступінчастих маршрутів і призначення вивізних поїздів із подальшим освоєнням залишкового вагонопотоку збірними поїздами. Така послідовність дає можливість узгодити спосіб забирання вагонів з обсягами та структурою вагонопотоку, скоротити зайву переробку на технічних станціях і раціонально використовувати локомотивні ресурси.

5. Для забезпечення своєчасної подачі порожніх вагонів під навантаження запропоновано вдосконалений метод їх регулювання з використанням теорії нечітких множин. Метод передбачає врахування коефіцієнта пріоритетності та вибір варіанта переміщення порожніх вагонів

із мінімальними витратами вагоно-годин. Його застосування доповнює планування подачі та забирання вагонів і сприяє узгодженню забезпечення станцій рухомим складом із потребами навантаження.

6. За результатами оцінювання запропонованих рішень встановлено, що перевезення частини завантажених вагонів ступінчастими маршрутами та вивізними поїздами дозволяє зменшити середньодобовий простій вагонів на технічній станції на 11 %, витрати вагоно-годин простою на станціях навантаження в очікуванні забирання — на 18 %, а витрати локомотиво-годин роботи маневрових локомотивів на технічних станціях — на 4,5 %. Наведені результати характеризують можливість підвищення ефективності місцевої роботи за рахунок раціонального планування забирання вагонів і вибору способу їх подальшого перевезення.

7. Запропоновано реалізацію вдосконаленої методики у складі системи підтримки прийняття рішень на автоматизованому робочому місці поїзного диспетчера. Система має забезпечувати порівняння варіантів подачі та забирання вагонів, визначення пов'язаних із ними експлуатаційних витрат і формування рекомендацій щодо обслуговування станцій.

8. Розрахована річна економія від упровадження запропонованої системи підтримки прийняття рішень становить 1 673 891,3 грн.

9. У роботі запропоновано вирішення завдання підвищення ефективності організації місцевої роботи на ділянці залізниці шляхом удосконалення технології планування подачі та забирання вагонів. Узгоджене врахування нерівномірності вагонопотоків, тривалості вантажних операцій і доступності локомотивних ресурсів дає можливість обґрунтовувати раціональний порядок обслуговування станцій. Практичне застосування запропонованих рішень спрямоване на скорочення непродуктивних простоїв вагонів, поліпшення використання рухомого складу та зменшення експлуатаційних витрат.

Список використаних джерел

- 1 Панченко С. В., Каграманян А. О., Блиндюк В. С. та ін. Вантажні перевезення. Управління вантажною і комерційною роботою: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 478 с.
- 2 Ross S. M. Stochastic Processes. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 510 p.
- 3 Данько М. І., Бутько Т. В., Березань О. В. та ін. Управління експлуатаційною роботою та якістю перевезень на залізничному транспорті: навчальний посібник / за ред. М. І. Данька. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 174 с.
- 4 Frisch S., Hungerländer P., Jellen A. et al. Integrated freight car routing and train scheduling. Central European Journal of Operations Research. 2023. Vol. 31. P. 417–443. DOI: 10.1007/s10100-022-00815-3.
- 5 Данько М. І., Бутько Т. В., Кулешов В. М. та ін. Загальний курс та технології роботи транспорту (залізничний транспорт): навчальний посібник / за ред. М. І. Данька. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 242 с.
- 6 Bohlin M., Hansmann R., Zimmermann U. T. Optimization of Railway Freight Shunting. Handbook of Optimization in the Railway Industry. Cham: Springer, 2018. P. 181–212. DOI: 10.1007/978-3-319-72153-8_9.
- 7 К вопросу развоза местного груза внутри железнодорожного узла. Сб. трудов ДИИТа. 1959. вып. XXVIII. 85с.
- 8 Котенко А. М. Управління вантажною і комерційною роботою на залізничному транспорті: підручник. Ч. 2. Харків: Нове слово, 2003. 388 с.
- 9 Кулешов В. В., Крячко К. В., Магальяс А. С. Удосконалення інформаційної технології роботи опорної станції при перевезеннях парком різних власників. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10 (41), ч. II. С. 228–232.
- 10 Zhu E., Crainic T. G., Gendreau M. Scheduled Service Network Design for Freight Rail Transportation. Operations Research. 2014. Vol. 62, No. 2. P. 383–400. DOI: 10.1287/opre.2013.1254.

11 Данько М.І., Котенко А.М., Ковальов А.О. Прогнозування показників роботи під'їзних колій і станцій примикання. *Залізнич. Транспорт України*. 2002. №6. С.18-19.

12 Данько М.І., Лаврухін О.В. Прогнозування розподілу вагонопотоків на основі теорії нечітких множин. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. Харків, 2004. Вип. №2. С. 80-83.

13 Gorman M. F., Crook K., Sellers D. North American freight rail industry real-time optimized equipment distribution systems: State of the practice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2011. Vol. 19, No. 1. P. 103–114. DOI: 10.1016/j.trc.2010.03.012.

14 Мацюк В.І. Удосконалення системи розвозу місцевих вагонів в залізничному вузлі : автореф. дис.. ...канд.техн.наук:05.22.01 Київ, 2008. 22с.

15 Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навчальний посібник. Київ: КНЕУ, 2004. 614 с.

16 Гайдук Д. А., Бутько Т. В. Удосконалення автоматизованої системи «Надзвичайна ситуація» у взаємодії з АСК ВП УЗ Є для керування рухом поїздів із використанням системи підтримки прийняття рішень. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2024. № 2. С. 3–6. DOI: 10.18664/iksz.v29i2.307509.

17 Лаврухін О. В., Долгополов П. В., Петрушов В. В., Ходаківський О. М. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями: навчальний посібник. Харків: Компанія СМІТ, 2011. 118 с.

18 Ситник В. Ф., Гордієнко І. В. Системи підтримки прийняття рішень: навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. Київ: КНЕУ, 2004. 427 с.

19 Згуровський М. З., Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просянкіна-Жарова Т. І. Байєсівські мережі в системах підтримки прийняття рішень: навчальний посібник. Київ: Видавниче підприємство «Едельвейс», 2015. 300 с.

20 Sharda R., Delen D., Turban E. Analytics, Data Science, & Artificial Intelligence: Systems for Decision Support. 11th ed. Pearson, 2021.

21 Юрченко Ю.М. Погасій С.О. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з теми «Визначення економічної ефективності заходів у галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізничному транспорті». Харків. УкрДАЗТ, 2002. 34с.

22 Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

23 О. М. Костенніков, В. О. Мирошніченко, І. Ю. Желєнков. Підвищення ефективності місцевої роботи на залізничних дільницях на основі удосконалення процесів подачі та забирання вагонів. 22-а науково-практична міжнародна конференція «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика». Харків, УкрДУЗТ, 5-6 червня 2026 р. 187-188
http://mt.kart.edu.ua/images/stories/Tezi_2026.pdf

Додаток А (обов'язковий)

Дослідження тривалості очікування операцій, що мають обмежувальний
характер в загальному часі доставки вагонів

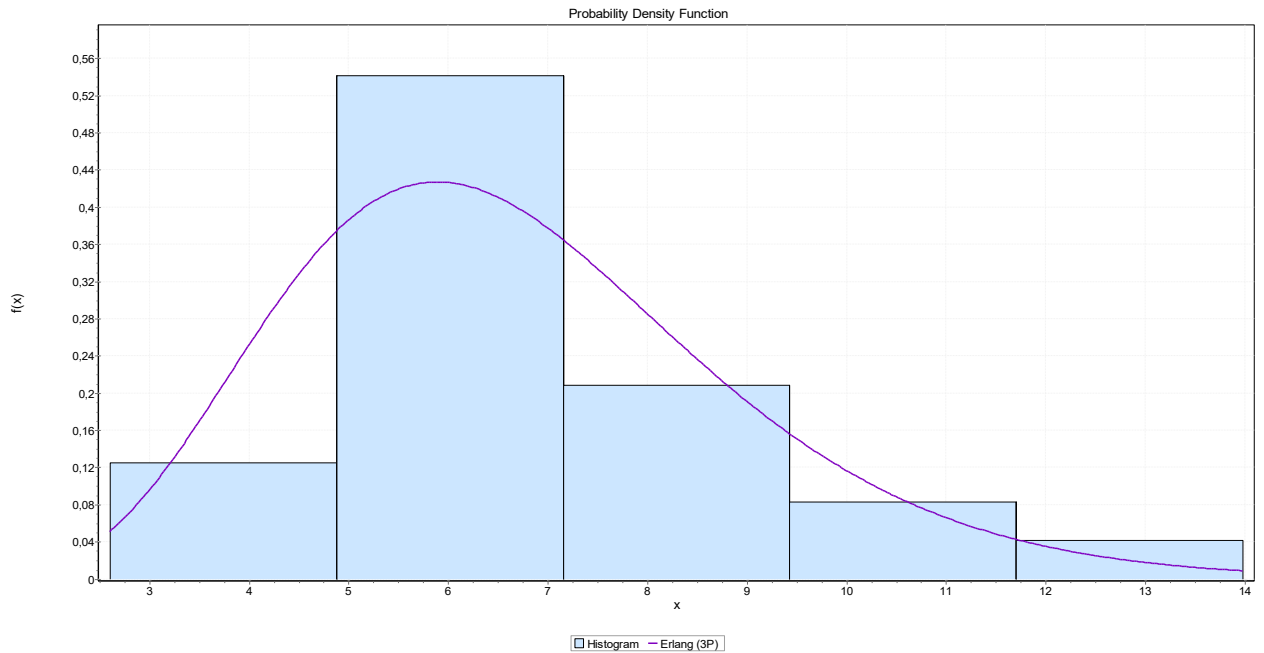


Рисунок А.1 - Гістограма щільності розподілу середнього часу очікування забирання/подачі вагонів по станціям за емпіричними даними

За результатами, що наведено на рис. час очікування забирання вагонів зі станції підпорядковано закону розподілу Ерланга 3-го порядку.

Щільність розподілу за законом Ерланга становить

$$f(t^{oc}) = 4270.3519 (t^{oc})^2 e^{-20.4408 t^{oc}}. \quad (A.1)$$

Функція розподілу визначена рівністю

$$F(t^{oc}) = \frac{(3\mu)^3}{2} \int_0^{t_{\max}^{oc}} (t^{oc})^3 \exp(-3t^{oc}) \cdot dt^{oc}, \quad (A.2)$$

де t^{oc} - тривалість очікування забирання вагонів зі станції, год.

Таблиця А.1 - перевірка за критеріями узгодженості

Колмогорова-Смірнова					
Значення критерію при спостереженнях	0.11595				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Критичні значення	0.14205	0.12662	0.1281	0.1392	0.1684
	Прийм.	Прийм.	Прийм.	Прийм.	Прийм.
χ^2 -Пірсона					
Значення критерію при спостереженнях	12.824				
Число ступенів свободи	5				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Критичні значення	6.8515	8.6461	10.826	12.952	14.296
	Неприйм.	Неприйм.	Неприйм.	Прийм.	Прийм.

α - рівень значимості

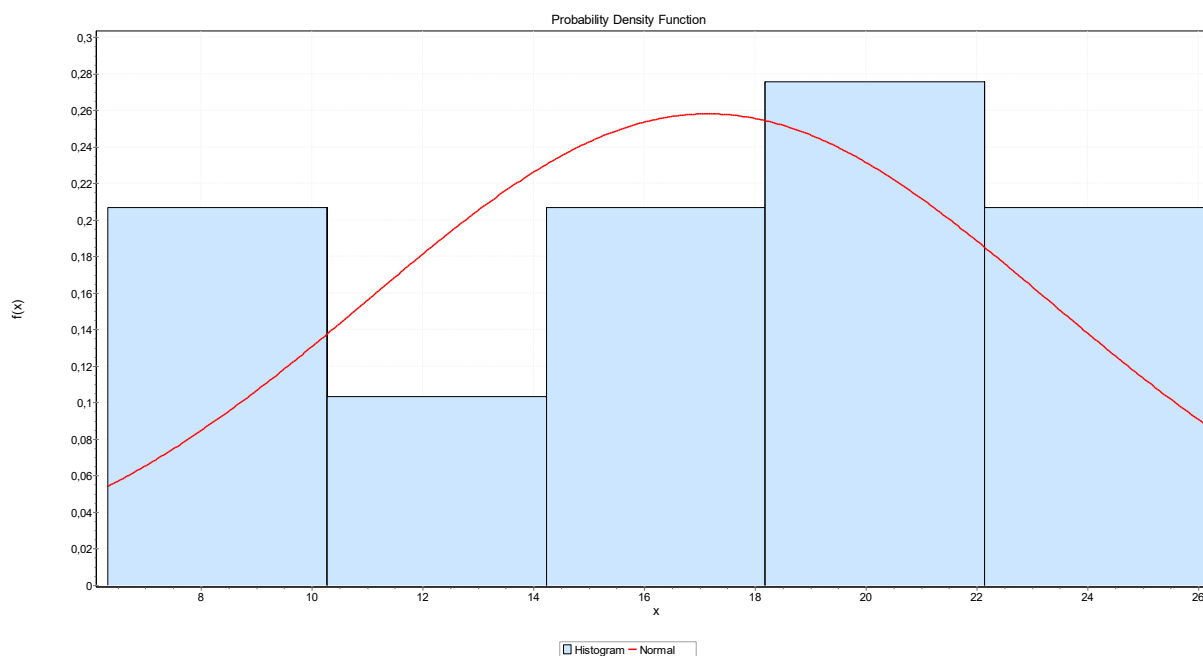


Рисунок А.2 - Гістограма щільності розподілу середнього часу знаходження вагона на технічній станції за емпіричними даними

Як показали результати (рисунок А.1), середня тривалість знаходження вагона на технічній станції, підпорядкована нормальному закону розподілу.

Щільність розподілу за нормальним законом становить

$$f(t_{\text{знах}}) = 0.035366 e^{-\frac{(t_{\text{знах}} - 23,382)^2}{254,61}}. \quad (\text{А } 3)$$

Функція нормального розподілу визначена рівністю

$$F(t_{\text{знах}}) = 0.035366 \int_{-\infty}^{t_{\text{знах}}} \exp\left(-\frac{(t_{\text{знах}} - 23,382)^2}{254,61}\right) \cdot dt_{\text{знах}}, \quad (\text{А } 4)$$

де $t_{\text{знах}}$ - середня тривалість знаходження вагона на технічній станції, год.

Таблиця А.2 - перевірка за критеріями узгодженості

Колмогорова-Смірнова					
Значення критерію при спостереженнях	0.12599				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Критичні значення	0.16325	0.18432	0.20844	0.2221	0.2634
	Прийм.	Прийм.	Прийм.	Прийм.	Прийм.
χ^2 -Пірсона					
Значення критерію при спостереженнях	0.93241				
Число ступенів свободи	3				
α	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
Критичні значення	2.9213	3.2184	4.4268	5.8243	7.2356
	Прийм.	Прийм.	Прийм.	Прийм.	Прийм.

Таблиця А.3 - статистичні характеристики розподілів часу досліджуваних показників за теоретичними даними

Показники	Значення при вибірці розподілу	
	середнього часу очікування забирання вагона зі станції	середнього часу знаходження вагона на технічній станції
Об'єм вибірки	308	295
Діапазон	13,94	26,24
Середнє	6,8136	23,382
Варіація	20,124	238,08
Стандартне відхилення	3,7245	11,283
Коефіцієнт варіації	0,64328	0,49423
Стандартна похибка	0,4869	1,8269
Асиметрія	0,96836	-0,29531
Ексцес	0,88143	-1,23081