

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

БАРДАСЬ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 656.222.3

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ
ШЛЯХОМ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ

05.22.01 Транспортні системи

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник
Скалозуб Владислав Васильович
доктор технічних наук, професор

Дніпропетровськ – 2012

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ.....	11
1.1. Розвиток теорії та практики планування поїздоутворення на сортувальних станціях.....	12
1.2. Розвиток теорії та практики оперативного керування залізничними перевезеннями за кордоном.....	32
1.3. Перспективні напрямки розвитку методів планування поїздоутворення на основі даних АСК ВП УЗ.....	38
Висновки по 1 розділу.....	40
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ.....	41
2.1. Завдання аналізу процесів поїздоутворення на сортувальних станціях.....	41
2.2. Загальна характеристика об'єкту дослідження.....	43
2.3. Вибір методу прогнозування руху поїздів та дослідження стохастичних характеристик прогнозу прибуття.....	45
2.3.1. Дослідження зв'язків тривалості руху поїздів по ділянкам та умов руху.....	46
2.3.2. Методика складання прогнозу прибуття поїздів.....	59
2.3.3. Визначення очікуваної точності прогнозу прибуття поїздів на станцію.....	69
2.4. Дослідження процесів поїздоутворення на сортувальній станції за допомогою імітаційного моделювання.....	72
2.4.1. Модель фізичних процесів.....	73
2.4.2. Інформаційна модель роботи станції.....	77
2.4.3. Модель процесів передачі інформації.....	77
2.4.4. Модель системи керування черговою розпуску.....	78
2.4.5. Використання методів зниження дисперсії.....	79
2.4.6. Метод загальних випадкових чисел.....	82
2.4.7. Перевірка адекватності імітаційної моделі сортувальної станції.....	83
2.5. Дослідження простою составів із замикаючими групами в парку прийому.....	85
2.6. Дослідження зв'язків параметрів поїздопотоків та черговості розпуску.....	88
2.7. Постановка задачі вибору черговості розпуску составів для транспортної мережі.....	95
Висновки по 2 розділу.....	97
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ.....	99
3.1. Особливості моделі вибору черговості розпуску составів	

для транспортної мережі.....	99
3.2. Удосконалення методів вибору черговості розпуску з використанням двоетапної задачі стохастичного програмування.....	101
3.3. Дворівнева модель вибору черговості розпуску составів.....	109
3.4. Удосконалення технології перебору варіантів черговості розпуску за допомогою визначення ідеальної послідовності розпуску.....	112
3.4.1. Використання критеріїв І П Р в двоетапній моделі вибору черговості розпуску составів.....	117
Висновки по 3 розділу.....	118
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ.....	120
4.1. Оцінка ефективності автоматизації методики планування поїздоутворення.....	121
4.2. Модель вибору черговості розпуску составів в умовах диференціації вагопотоків за вартістю простою.....	123
Висновки по 4 розділу.....	127
ВИСНОВКИ.....	129
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	131
Додаток А Пошук залежностей тривалості руху вантажного поїзда по ділянкам від маси составу поїзда та перевірка адекватності отриманих залежностей.....	151
Додаток Б Визначення відносної точності прогнозу прибуття поїздів.....	156
Додаток В Техніко-експлуатаційна характеристика станції Нижньодніпровськ-Вузол.....	158
Додаток Г Відображення технологічного процесу роботи станції за допомогою теорії скінченних автоматів.....	173
Додаток Д Перевірка адекватності імітаційної моделі сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол.....	179
Додаток Е Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	184

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

FI-FO – first in – first out (стратегія вибору черговості обробки об'єктів у порядку їх надходження до системи)

АСК ВП УЗ – автоматизована система керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці

АСК ВП УЗ-Є – автоматизована система керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці – єдина

ВЧРС – вибір черговості розпуску составів

ДСП – черговий по станції

ДСПГ – черговий по гірці

ДСПП – черговий по парку

ДСЦ – маневровий диспетчер

ДСЦС – станційний диспетчер

ІМ – інформаційна модель

ІПР – ідеальна послідовність розпуску

МВРП – механізований вагоноремонтний пункт

МЗД – методи зниження дисперсії

МППІ – модель процесів передачі інформації

МСКЧР – модель системи керування черговістю розпуску

МФП – модель фізичних процесів

ПТО – пункт технічного обслуговування

СЕМП – ситуаційно-евристичний метод прогнозування

СМО – система масового обслуговування

СТЦ – станційний технологічний центр

ВСТУП

Актуальність теми. Управління процесами поїздоутворення являється одним із основних завдань оперативного керування, що вирішуються на сортувальних станціях. Якість управління поїздоутворенням в значній мірі визначається оперативним плануванням, яке залежить від значної кількості показників, що враховуються. З розвитком автоматизованих систем керування залізничним транспортом України в цілому зростають можливості щодо розширення інформаційної бази процесів планування поїздоутворення. В цих умовах збільшується значення завдань урахування черговості розпуску составів з метою забезпечення удосконалення структури поїздів, яка впливає на умови переробки вагонопотоків на мережі сортувальних станцій в цілому. Інформаційне забезпечення АСК ВП УЗ таким чином дає змогу узагальнити завдання вибору черговості розпуску составів для транспортної мережі.

Вибір черговості розпуску составів на сортувальних станціях, як засіб впливу на процес поїздоутворення, є складною оптимізаційною задачею, яка на даний час не отримала свого остаточного вирішення. Відомі моделі вибору черговості розпуску розглядають сортувальну станцію окремо від залізничної мережі та не враховують багатоетапну процедуру переробки вагонопотоків на станціях. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи, що присвячена підвищенню ефективності поїздоутворення за рахунок оптимізації черговості розпуску составів є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку, що визначені у Постанові Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 про реформування залізничної галузі [1] та Стратегії розвитку залізничного транспорту до 2020 року [2], а також пов'язана з НДР, що виконана Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: "Розробка адаптивних методів, інформаційних технологій та уніфікованих інформаційних процедур багатокритеріального ієрархічного і нечіткого управління в умовах невизначеності" (№ державної реєстрації 0109U002989).

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності поїздоутворення за рахунок оптимізації черговості розпуску составів з урахуванням роботи системи сортувальних станцій транспортної мережі.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі були поставлені та розв'язані наступні завдання:

- дослідження та аналіз напрямків підвищення ефективності процесу поїздоутворення за рахунок вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях транспортної мережі;
- дослідження процесу пропуску поїздів залізничними ділянками;
- розробка методики та засобів інформаційного забезпечення, призначених для вирішення завдань планування поїздоутворення за

рахунок вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях транспортної мережі на основі даних АСК ВП УЗ;
 –розробка математичної моделі задачі вибору черговості розпуску составів для мережі сортувальних станцій;
 –адаптація математичної моделі задачі вибору черговості розпуску составів до функціонування в умовах надходження неточної інформації;
 –розробка процедур спрямованих на зменшення обсягів перебору варіантів черговості розпуску составів;
 –оцінка ефективності процесів поїздоутворення на мережі сортувальних станцій за допомогою створених методів вибору черговості розпуску составів.

Об’єкт дослідження – процеси поїздоутворення на сортувальних станціях.

Предмет дослідження – планування поїздоутворення на сортувальних станціях залізничної мережі шляхом вибору черговості розпуску составів.

Методи дослідження. Наукові та прикладні результати дисертаційної роботи щодо підвищення ефективності процесів планування поїздоутворення отримані на основі інформаційного, математичного та імітаційного моделювання, теорії оптимізації, а саме: методи теорії ймовірностей, математичної статистики, регресійного аналізу, RS-аналізу часових рядів, багатомірної лінійної екстраполяції та методи ситуаційно-евристичного прогнозування були використанні для аналізу закономірностей процесу пропуску поїздів залізничними ділянками, а також для розробки інформаційного забезпечення задачі вибору черговості розпуску составів; методи імітаційного моделювання, теорія скінченних автоматів, теорія масового обслуговування, методи комбінаторної оптимізації були використані для дослідження закономірностей процесів поїздоутворення на сортувальних станціях та оцінки ефективності запропонованих методик вибору черговості розпуску составів; методи двоетапного стохастичного програмування, декомпозиції комбінаторних задач, оптимізації по критеріям, що застосовуються послідовно, були використані для формування моделі вибору черговості розпуску составів.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено нове завдання щодо планування поїздоутворення на сортувальних станціях залізничної мережі. Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше сформульовано завдання і розроблені математичні моделі вибору черговості розпуску составів для мережі сортувальних станцій. Сформовано новий критерій ефективності черговості розпуску составів на основі показника якості структури поїздів свого формування. Він дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на послідовності технічних станцій.

Вперше сформульовано завдання вибору черговості розпуску составів у стохастичній постановці та запропоновано метод її вирішення на основі двоетапної моделі стохастичного програмування, що дозволяє врахувати стохастичну природу прогнозу прибуття поїздів на сортувальну станцію та

зменшити обсяги розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску.

Удосконалено метод аналізу варіантів черговості розпуску составів за рахунок введення та використання критерію ідеальної послідовності розпуску, що дозволяє зменшити обсяги розрахунків, пов'язаних із вибором варіантів черговості розпуску.

Практична значимість отриманих результатів. Наукові результати, моделі та методи із підвищення ефективності поїздоутворення на мережі сортувальних станцій, отримані в дисертаційній роботі, можуть бути використані при розробці автоматизованої системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу сортувальних станцій.

Розроблене математичне та програмне забезпечення може бути використане для складання прогнозу прибуття поїздів на сортувальні станції та видачі рекомендацій щодо раціональної черговості розпуску составів.

Результати роботи також використовуються в учбовому процесі у курсі „Дослідження операцій в транспортних системах” та у дипломному проектуванні при підготовці спеціалістів спеціальності 7.100403 „Організація перевезень і управління на залізничному транспорті”.

Результати роботи прийняті для впровадження Державною адміністрацією залізничного транспорту України для удосконалення автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера на Придніпровській залізниці. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені в роботі, отримані автором самостійно.

Статті [3, 4] опубліковані автором одноосібно. В статті [5] автором запропоновано при вирішенні задачі вибору черговості розпуску составів використовувати новий критерій якості структури поїздів свого формування та застосовано критерій ідеальної черговості розпуску для скорочення обсягів розрахунків. В роботі [6] автором запропоновано лексикографічне відношення критеріїв ефективності черговості розпуску составів та виконано адаптацію моделі вибору черговості розпуску при декомпозиції задачі.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 71-й науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2011 р.); на 7-й, 8-й, 9-й міжнародних наукових конференціях «Проблеми економіки транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008 – 2010 рр.); на міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008-2011 рр.), на наукових семінарах кафедри «Комп'ютерні інформаційні технології» 2009, 2010, 2012 рр. У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.

Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (квітень 2012 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 14 наукових праць: 4 наукових статті у фахових виданнях, затверджених ВАК України та 10 тез доповідей у матеріалах і тезах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу , чотирьох розділів, висновків і шести додатків. Повний обсяг роботи – 185 сторінок; з них основного тексту 130 сторінок; 34 рисунки, 4 таблиці, список використаних джерел та додатки на 55 сторінках. Список використаних джерел включає 177 найменувань.

РОЗДІЛ РОЗВИТОК МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ

Планування поїздоутворення на сортувальних станціях являється основною задачею оперативного керування. Задача характеризується великими обсягами вихідних даних, що необхідні для розрахунків. Крім того, вихідні дані постійно змінюються та уточнюються. В таких умовах ймовірність прийняття обґрунтованих та своєчасних керуючих рішень оперативним персоналом значно зменшується. Тому на даний момент вплив оперативного персоналу на процес поїздоутворення обмежується відсутністю ефективних систем підтримки прийняття рішень.

Проблемам планування поїздоутворення, які враховують різні аспекти процесу, присвячені дослідження багатьох вчених: М.А. Аветікяна, А.Е. Александрова, Г.А. Балокіна, В.І. Бобровського, К.А. Бернгарда, А.В. Бикадорова, В.І. Бодюла, А.Ф. Бородіна, В.О. Борознова, О.В. Брайко, Т.В. Бутько, В.А. Буянова, І.І. Васильєва, В.А. Волкова, А.С. Гершвальда, П.С. Грунтова, М.І. Данько, Н.М. Іванкова, Н.Д. Іловайського, П.А. Козлова, Б.А. Кривошия, Є.А. Лавриненко, І.Ю. Левицького, Д.Ю. Левіна, В.Д. Лермана, Д.В. Ломотько, М.І. Луханіна, Є.В. Нагорного, В.Я. Негрея, В.Л. Павлова, Н.В. Пархоменко, А.П. Петрова, Ф.П. Пищика, А.І. Платонова, Б. дел Ріо, В.С. Селецького, В.В. Скоробогатько, Є.А. Сотнікова, І.Г. Тихомирова, А.Г. Тіліченко, Л.П. Тулупова, О.В. Харітонова, І.В. Харлановича, Н.Б. Чернецької-Білецької, С.С. Шавзиса, П.О. Яновського.

Одним із шляхів впливу на процес поїздоутворення являється керування черговою розпуску составів. В даній дисертаційній роботі вирішується завдання щодо створення удосконаленого методу планування поїздоутворення, який враховує багатоетапну процедуру переробки вагонопотоків на транспортній мережі, тобто має використовувати системні властивості процесів. Зрозуміло, що такий механізм удосконалення потребує урахувати більше інформації про властивості вагоно- та поїздопотоків, що забезпечується на основі широкого залучення даних АСК ВП УЗ.

Розвиток теорії та практики планування поїздоутворення на сортувальних станціях

Першим дослідженням, присвяченим процесам накопичення вагонів, являється робота професора А. Н. Фролова [7]. В цьому дослідженні було поставлено наступну задачу – „наскільки великим повинно бути скупчення вагонів у сортувальному парку, щоб він міг правильно та безперервно функціонувати, тобто в певні проміжки часу випускати поїзні состави в парк відправлення”. Результатом проведеної роботи стала формула середньої тривалості накопичення вагонів в сортувальному парку:

де – кількість вагонів у складі поїзда;

– кількість поїздів, що надходять у сортувальний парк за добу.

Велику роботу по дослідженню залежності тривалості знаходження вагонів під накопиченням на сортувальних станціях від різних факторів було проведено професором І. І. Васильєвим [8]. Ним було запропоновано спосіб розрахунку вигідності виділення спеціалізованого призначення виходячи із терміну доставки вантажів. Пізніше професор І. І. Васильєв доповнив вимоги дотримання термінів доставки при спеціалізації поїздів принципом економії вагоно-годин із підрахунком їх по всьому району спеціалізації та запропонував метод знаходження оптимального варіанту спеціалізації поїздів за допомогою послідовних зіставлень паралельних струменів вагонопотоків.

В основі розробленого методу лежить визначення простою під накопиченням та зіставлення його з економією, що досягається від проходження наскрізними поїздами наступних станцій без переробки. Простій під накопиченням І. І. Васильєв спочатку визначав за формулою:

де – добові вагоно-години накопичення одного призначення;

12 – коефіцієнт накопичення.

Спроба професора А. Н. Фролова математичним шляхом вирішити загальну задачу про простій вагонів фактично була зведена до вирішення лише окремого випадку, так в якості вихідних передумов було прийнято: рівність складів по прибуттю та відправленню, однакова кількість вагонів, що надходять на кожний напрямок в прибуваючих поїздах, та однакова кількість поїздів по відправленню на різні напрямки.

Подальший розвиток питання накопичення вагонів мали в роботах професора К. А. Бернгарда [9]. Автор розглянув три групи питань: заходи по скороченню простою вагонів під накопиченням одноступінних технічних маршрутів, простою вагонів під накопиченням при переломі вагової норми поїздів та заходи по скороченню простою вагонів в очікуванні операцій.

Однією із перших офіційних публікацій в СРСР з приводу технологій формування поїздів на сортувальних станціях являється робота К. А. Бернгарда «Збірка прикладів з маневрової роботи» [10]. Видання було розраховано на складачів, чергових по станції, маневрових диспетчерів та розглядало на основі новітніх, на той час, методів формування поїздів приклади виконання маневрової роботи. Основним критерієм якості виконання розформування-формування складів згідно даної роботи був час. Крім цього пропонувалось також враховувати собівартість виконання вказаних заходів.

В 1949 році кандидат технічних наук П. С. Соколов у своїй дисертації на тему „Організоване підведення груп вагонів до сортувальних станцій” [11] зробив цікаву спробу визначити тривалість знаходження вагонів під накопиченням з урахуванням так званої „замикаючої групи”. Для визначення часу знаходження вагонів під накопиченням одного составу в умовах нерівномірного підходу та нерівних груп ним була запропонована формула наступного вигляду:

- де τ – період часу накопичення состава в годинах;
- коефіцієнт, що характеризує порядок підведення груп по часу на протязі періоду накопичення составу;
 - коефіцієнт, що характеризує порядок підведення груп по кількості вагонів у кожній групі;
 - коефіцієнт, що характеризує вплив замикаючої групи, яка завершує процес накопичення.

Цінні дослідження для визначення тривалості накопичення вагонів при формуванні поїздів на технічних станціях виконані професором А. П. Петровим [12, 13]. Ним розглянуто залежності тривалості накопичення вагонів від періоду підведення вагонів, від нерівномірності підведення груп вагонів, місцевого навантаження, кількості призначень, величини состава поїзда, кількості прибуваючих груп вагонів, залишку вагонів після прибирання накопиченого составу, перелому вагової норми поїздів, групових поїздів та причіпних груп.

Дослідженнями [13] було встановлено, що при формуванні великовагових поїздів за рахунок повного включення замикаючої групи в состави, що формуються, можна значно скоротити простій вагонів під накопиченням в порівнянні з організацією поїздів фіксованої маси. В подальшому різними науковцями було виконано багато досліджень [14-16] з метою уточнення закономірностей процесу накопичення составів при відхиленні маси вантажних поїздів від встановленої норми.

Робота кандидата технічних наук А. І. Платонова [17] стала основоположною в теорії планування поїздоутворення. В новому методі А. І. Платонова встановлено „вважати під накопиченням всі вагони певного призначення гідними до постановки в состав незалежно від їх місцезнаходження на станційних коліях”.

Раніше А. І. Платонов вперше запропонував вважати початковим моментом початку накопичення момент надходження початкової групи вагонів на станцію, незалежно від того, на яких саме коліях з’явилися ці вагони [18].

В більш пізній роботі [19] А. І. Платонов виділяє два різних періоди накопичення: по вагонопотоку і по сортувальному парку. Під періодом

накопичення состава по вагонопотоку автор розуміє час від моменту появи на станції першої групи вагонів до моменту надходження на станцію замикаючої групи, що необхідна для формування того ж составу:

де $t_{\text{з}}$ – час прибуття на станцію відповідно замикаючої та початкової групи вагонів.

Періодом накопичення составу по сортувальному парку А. І. Платонов називає час від моменту появи першої групи вагонів в сортувальному парку до моменту надходження замикаючої групи на колії сортувального парку:

де $t_{\text{н}}$ – час надходження в сортувальний парк відповідно замикаючої та початкової групи вагонів.

Професор К. А. Бернгард доповнив розроблену теорію А. І. Платонова поняттям періоду накопичення по станції [20]:

В якості основних методів впливу на процес накопичення составів А. І. Платонов у роботі [19] пропонує вести неперервний облік наявності на станції вагонів усіх призначень, планувати накопичення составів, пріоритет не обслуговування составів із замикаючими групами, планування підготовки составів до відправлення по розкладу.

А. І. Платонов виділив основні особливості замикаючої групи:

– замикаюча група, закінчуючи процес накопичення состава, сама не приймає участі в утворенні вагоно-годин у сортувальному парку;

– якщо замикаюча група n більше середньої групи прибуття m , то скорочується необхідна кількість поїздів для накопичення вагонів даного состава, тобто

скорочується період накопичення состава. При цьому, якщо $t_{\text{з}}$ і інтервал

прибуття груп n зберігається незмінним, то кількість поїздів, необхідна для накопичення состава, скорочується пропорційно величині замикаючої групи, тобто на

;

– при швидкісній обробці поїзда із замикаючою групою n практично досягається майже повна рівність періодів накопичення по вагонопотоку та по сортувальному парку.

Теорія взаємодії станційних процесів була розвинута професором І. Г. Тихомировим [21, 22]. Ним сформовані поняття про рівномірність та

ритмічність станційних процесів, основні умови взаємодії в усіх елементах станції та з прилягаючими ділянками, дано способи обґрунтування рішень по скороченню міжопераційних простоїв, в тому числі по першочерговій обробці та розформуванню составів із замикаючими групами. Застосування цих методів дозволило прискорити відправлення поїздів зі станції та покращити планування поїздутворення.

У 1954 році було видано керівництво до збільшення швидкості переробки составів [23], де наголошується, що засвоєння кращих методів розформування-формування поїздів усіма робітниками станцій і у першу чергу складачами, машиністами маневрових локомотивів, станційними диспетчерами, черговими по гіркам та паркам допоможе значно прискорити процес розформування та формування поїздів та ввести тим самим у дію нові резерви прискорення оберту вагону.

У роботі професора П. С. Грунтова [24] з метою зменшення тривалості вагонів під накопиченням пропонується використовувати організоване підведення місцевих вагонів.

При оперативному плануванні роботи станцій першочергове значення має наявність повної та достовірної інформації. В 1960-х роках значна увага приділялась підвищенню рівня інформаційного забезпечення планування. Станція Перм-Сортувальна була однією із перших, на якій відкрився обчислювальний станційний центр [25]. Це дало змогу працівникам станції створити систему оперативного управління без використання ЕОМ. Серед особливостей цієї системи можна виділити [26]:

- впровадження твердого графіку руху місцевих вагонопотоків;
- накопичення всієї інформації в одному центрі обробки;
- планування поїздутворення по 4-х та 6-ти годинних періодах.

Важливим питанням являється вибір критерію оптимальності оперативного планування. У роботі [25] в якості критерію пропонується використовувати сумарні експлуатаційні витрати, що пов'язані із простоем вагонів і локомотивів та віднесені на один відправлений поїзд, які доцільно розраховувати по формулі:

де t_{ij} – моменти прибуття на станцію груп вагонів у складах поїздів на протязі інтервалу I . Індекс i (j) відповідає групі вагонів, відправлених (невідправлених) зі станції на протязі інтервалу I ;

t_{i0} – моменти готовності локомотива до відправлення. Індекс l (σ) відповідає відправленим (невідправленим) зі станції на протязі інтервалу I локомотивам;

- момент закінчення кроку інтервалу планування відправлення;
- , – моменти відправлення відповідно локомотива та поїзда, в состав якого входить розглядувана група вагонів;
- , – групи вагонів, що залишаються на станції j та відправляються з поїздом i в інтервал планування I ;
- , – витрати, пов'язані з простоєм одного вагона та локомотива;
- π – кількість поїздів, що відправляються зі станції на протязі розрахункового кроку.

Працівники пермського відділення залізниці разом з обчислювальним центром Пермського університету, використовуючи досвід Уральського відділення ЦНИИ МПС [25, 27-31], розробили досить прогресивну методику оперативного планування роботи, яка узагальнюючи зводиться до наступного алгоритму [32]. Починається розрахунок із визначення плану відправлення готових в початковий момент составів та прикріплення до них локомотивів. Після цього планується введення на станцію поїздів кожної категорії з урахуванням жорсткого або варіантного графіка руху, кількості замикаючих груп вагонів, часу завершення роботи локомотивних бригад, моментів звільнення колій в парку прийому та ін. Далі розраховується план обробки поїздів в парку прийому з урахуванням технології, кількості бригад оглядачів, та характеристик розподілу тривалості обробки составів. Результатом розрахунку являються моменти готовності составів до розформування, на основі яких обирається черговість розформування составів. Після цього, на основі моментів завершення накопичення составів визначається черговість формування составів та черговість їх відправлення зі станції.

Вибір черговості розпуску составів (ВЧРС) пропонується здійснювати за допомогою методу динамічного програмування. Задача ВЧРС дійсно володіє основними ознаками задачі динамічного програмування [33]. Має місце бага токроковий процес зміни стану системи, що фіксується у дискретні моменти часу, – по закінченню чергової операції розформування составу. Але задача не вписується в стандартну схему аналізу варіантів в динамічному програмуванні – від кінця до початку процесу – в силу особливостей процесу накопичення (тільки в прямому напрямку з рішенням, що являється результатом процесу на значній кількості попередніх кроків, а також в силу неоднозначності кінцевої ситуації на відрізьку функціонування станції, що аналізується). Тому перебір варіантів можливий лише в прямому напрямку від початку до кінця процесу. Крім того, функціональні рівняння процесу не дозволяють оцінити автономно рішення на окремо обраних кроках, так як по основному показнику – завершенню накопичення составів – рішення накопичується за відносно велику кількість кроків при великій кількості параметрів, які контролюються (призначень). Тому стосовно до методу динамічного програмування для розглянутих задач корисні прийоми організації пошуку наближених оптимальних рішень із зберіганням значення критерію функцій в околицях максимуму, прийоми збільшення кроку сітки для більших розмірностей задачі, оскільки очевидний експоненціальний ріст кількості можливостей із збільшенням розмірності задачі. Розроблений програмний продукт, запроваджений в експериментальну експлуатацію на станції Перм-Сортувальна [34, 35], виявив підвищену чутливість до точності

прогнозу прибуття поїздів.

Використовуючи досвід пермських залізничників, дослідники В. М. Горянський та Ш. Н. Норматов продовжили удосконалення оперативного планування поїздоутворення на станції Горький-Сортувальна [36].

В 1960-х роках отримали розповсюдження методи сітьового планування та управління, розвитком яких займалися П. С. Грунтов [37], Н. Д. Іловайський та інші дослідники. У роботах доктора технічних наук Н. Д. Іловайського [38-40] сітьове планування було використано для вирішення задачі ВЧРС. Черговість розпуску составів розглядається як один із можливих засобів впливу на процес поїздоутворення, разом із визначенням черговості формування та перестановки сформованих составів у парк відправлення. Перебір варіантів черговості розпуску пропонується скоротити за допомогою методів динамічного програмування.

На станції Челябінськ-Головний було розроблено сітьові графіки обробки поїздів із замикаючими групами [41]. Для полегшення користування графіками було розроблено спеціальний планшет, за допомогою якого можна було визначити моменти завершення виконання окремих операцій технологічного процесу і таким чином скласти план роботи станції.

У роботі дослідників П. І. Москальова та П. Р. Потапова [42] описано методику оптимізації технології роботи підсистеми розформування на основі аналізу сітьових графіків виконання операцій. Основним принципом оптимізації являється економічне обґрунтоване вирівнювання темпів роботи всіх елементів станції, забезпечення їх взаємодії між собою та з прилеглими ділянками.

А. Г. Тіліченко у роботі [43] пропонує планування поїздоутворення виконувати сумісно з оперативною організацією вагонопотоків. Розрахунок здійснюється у наступному порядку: на основі плану формування, діючого до початку періоду планування, при розробці вихідного оперативного плану експлуатаційної роботи визначають моменти початку та закінчення всіх технологічних операцій на кожній станції з транзитними та місцевими вагонами.

У результаті розрахунків визначають моменти готовності поїздів до відправлення з усіх станцій. Одночасно підраховують витрати вагоно-годин та локомотиво-годин на всі технологічні операції та перерви, пов'язані із очікуванням їх виконання. Необхідну частину цих витрат включають в розрахункові параметри нового варіанту плану формування. В свою чергу удосконалений варіант плану формування слугує основою для розрахунку нового варіанту поїздоутворення. В основу розрахунку плану формування покладено принцип вартісних порівнянь [44].

У роботі А. Г. Тіліченко [45] задача ВЧРС була інтерпретована як задача впорядкування завантаження обладнання обробкою заявок, які надходять, (составів), та проаналізована з позицій теорії розкладів [46, 47]. У відповідності з рекомендаціями [46] процес роботи гірки можна звести до однієї домінантної операції – розформуванню, включивши в нього всі супутні технологічні операції. Стосовно до цілей зниження простоїв вагонів у парку прийому, звільнення колій у парку прийому, найкращою являється стратегія SPT (shortest – processing – time sequencing) – впорядкування по мінімуму тривалостей робіт, що забезпечує мінімізацію середнього часу перебування робіт у системі. В розроблених аналітичних задачах теорії розкладів всі роботи надходять у систему одночасно, що не узгоджується з постановкою задачі ВЧРС. У роботі [45] задача ВЧРС розглядається як одноопераційна (задача про сортування [48]) та як двох-або трьохопераційна [49]. Одноопераційна – вибір черговості розформування составів, в якості критерію оцінки використовуються сумарні витрати вагоно-годин на

поїздоутворення. Двохопераційна – сумісне розглядання двох операцій – обробки составів в парку прибуття та їх розформування. Трьохопераційна – обробка составів в сортувальному парку, їх формування та обробка по відправленню. В якості критерію оптимальності пропонуються або загальна тривалість обробки всіх составів, або сумарні витрати вагоно-годин.

У роботі В. В. Скоробогатько [50] показано та проаналізовано взаємозв'язки між основними заходами станційного диспетчерського регулювання. Весь комплекс заходів пов'язаних із розформуванням-формуванням поїздів пропонується розглядати у взаємозв'язку.

Для задач планування поїздоутворення, виконання оптимізаційних розрахунків по вибору черговості обробки прибуваючих составів вирішуюче значення має забезпечення повноти та достовірності вихідних даних – насамперед точності прогнозу часу очікуваного прибуття поїздів. У зв'язку з цим в роботі професора В. А. Буянова [51] зазначено, що практичні роботи по АСУ на станції повинні враховувати відому недостовірність прогнозу очікуваного прибуття поїздів. У роботі зазначено, що з урахуванням накопиченого досвіду слід обмежити деталізовані комбінаторні розрахунки по вибору черговості маневрових операцій з поїздами періодом до 2 годин, для якого реально отримання достовірних даних. У роботі Н. Д. Крюкова [52] зазначається, що вибір раціонального періоду поточного планування являється одним із важливих питань. Вибір потрібної періодичності поточного планування повинен бути обґрунтований техніко-економічними розрахунками, виходячи із повноти забезпечення інформацією, величини внутрішньо добової нерівномірності та добових розмірів відправлення поїздів.

У роботі кандидата технічних наук І. В. Харлановича [53] відмічається, що під час розрахунку оптимального плану необхідно враховувати максимально допустимі відхилення прибуття поїздів із видачею цих відхилень на друк.

Одним із ефективних шляхів підвищення точності та достовірності поточного планування поїзної роботи технічних станцій є використання ситуаційно-евристичного методу прогнозування (СЕМП), розробленого професором Л. П. Тулуповим та розкритого ним в роботах [54-60]. Суть методу полягає у використанні для моделювання не середніх або технологічних норм, а оперативних розрахованих на кожний технологічний процес та конкретний об'єкт управління в залежності від широкого спектру факторів, що враховуються, включаючи погодні умови. Зазначена методика досліджувалась і іншими вченими у роботах [61-64].

У фундаментальній роботі В. А. Буянова [51] виконано критичний аналіз доцільності застосування різних математичних методів при визначенні оптимальних варіантів черговості розформування та формування поїздів. У роботі зазначено, що підхід до прийнятного для розглядуваного класу задач методу формування та спрямованого перебору варіантів викладено в [65], де для випадку біфурканта (прадерева з гілками однакової довжини та двома розгалуженнями в кожній вершині) застосовано двійкове кодування конфліктних ситуацій, причому для вершини кожного рівня відводиться один двійковий розряд. Кодування 0 означає лівий (верхній), а 1 – правий (нижній) перехід. Процес у вершині кожного рівня змінюється із зміною відповідного двійкового розряду, а повний перебір – послідовним додаванням одиниць молодшого розряду до коду першого (

верхнього) варіанту 000....0.

Стосовно до задач управління на залізничному транспорті в СРСР цю схему вперше використав Б. дел Ріо [66, 67]. По [67] кількість можливих гілок процесу на кроці обмежується сімома при постійній (по тривалості) довжині кроку. Код варіанту станційної роботи утворюють дві шкали – Ш та ρ і масив чарунок δ . В шкалі ρ в кожних трьох двійкових розрядах записується число Шк, при використанні якого можна в масиві δ знайти варіант рішення при конфліктній ситуації. Початковий запис по тріадам шкали Ш формується по залежності Шкк. В масиві δ для кожної к-ї конфліктної ситуації відводиться рк чарунок (рядків), в кожній із яких записується характеристика рішення. Адрес чарунки δ ч визначається залежністю

де δ_0 – початковий адрес масиву δ .

Для переходу від варіанту до варіанту при повному переборі додається одиниця до останньої тріади шкали Ш. Вихід одиниці переносу за шкалу Ш вказує на закінчення побудови можливих варіантів. По [67], щоб виключити із розгляду множину варіантів, в яких має місце порушення якоїсь обов'язкової умови, слід додавати одиницю до останнього розряду тріади конфліктної ситуації, в якій виявлено порушення.

У ВНИИЖТі була продовжена робота по уточненню та удосконаленню цього методу, його адаптації до використання в конкретних системах, більш повному врахуванню деталей технології роботи станції, доведенню рішень до практичної реалізації в АСУ [51]. В цілому розвиток методу виражено переходом від шкали по тріадам до шкал з будь-якою кількістю альтернатив (двохрозрядні шкали, тріади, тетради); уточненням правил переходу при порушенні обов'язкових умов формування варіанта; адаптацією до умов методу врахування процедур осаджування вагонів у сортувальному парку, закінчення формування составів локомотивами гірки; більш раціональною побудовою масивів для аналізу варіантів; включенням у методіку рішення задачі правил переваги (стратегія SPT, перевага при інших рівних умовах дисципліни FI-FO); сполучення задачі з попереднім розрахунком цільової функції (плану відправлення поїздів); адаптацією методу до умов реалізації режиму паралельного розпуску составів.

В цілому для одноканальної системи при величині кроку t фчнена постановка задачі ВЧРС зводиться до наступного.

Вихідні дані:

—основна функція цілі – план відправлення поїздів на більш тривалий період, забезпечений локомотивами, бригадами, накопиченням составів поїздів по загальному вагонопотоку

;

—наявність вагонів по призначенням на коліях сортувального парку на момент

–відомості про поїзди, що можуть бути розформовані станцією на протязі періоду часу, охопленого рішенням (ті, що знаходяться в парках станції та на підході до станції)

де RS – розкладення складу поїзда по призначенням ПФП і – , , ;

B – номер колії для поїздів, що знаходяться на станції в початковий момент t_0 ;

- норми часу залучення гірки до завершення формування накопичених складів;
- ємність в умовних вагонах кожної сортувальної колії;
- кількість і спеціалізація колій в парку прибуття;
- розрахункові нормативи часу на закінчення формування складів на витяжній колії та звільнення сортувальних колій від накопичених складів;
- розрахункові нормативи перерв розформування, пов'язаних із осаджуванням вагонів на сортувальних коліях.

Треба обрати варіант черговості розформування складів, що забезпечує найбільш повну реалізацію основної функції мети (своєчасне накопичення та формування всіх або можливого максимуму запланованих поїздів при мінімальній узагальненій втраті якості по інших станційним процесам, що залежать від роботи гірки – перерви процесу розпуску через переповнення сортувальних колій, мінімізація роботи по закінченню формування). Узагальнену втрату якості при реальному проектуванні слід виражати кількісними показниками з коефіцієнтами приведення, що формуються стосовно до конкретних об'єктів. У роботі [51] зазначається, що тут необхідно врахувати обмеження можливості формалізації окремих складових процесу, пов'язаних із випадковими та психологічними факторами, можливість коректування рекомендацій системи диспетчером, іншими словами, орієнтуватись на поєднання кібернетичного підходу з традиційними прийомами управління.

У роботі [51] відмічається, що схема рішення задачі повинна враховувати необхідність адекватності вихідної інформації точності розрахунків насамперед по прогнозу часу очікуваного прибуття поїздів. Тому для задачі в детермінованій постановці точність прогнозу не повинна виходити за межі кроку розрахунків – гіркового технологічного інтервалу.

При наявності вільних обчислювальних ресурсів, враховуючи, що число варіантів рішення кінцеве, доцільний аналіз усіх можливих рішень. Число варіантів розрахунків K наближено виражається величиною

де – середня кількість можливих рішень на одному кроці;
– глибина рішення задачі по часу (кількість кроків).

У роботі відмічається, що при великій кількості варіантів, розрахунок варіанту роботи гірки може зайняти до 20 хвилин, що являється неприпустимим. Тому пропонується скорочувати перебір варіантів, виконуючи відсічення неперспективних гілок дерева варіантів.

В Інституті кібернетики АН УРСР Н. В. Пархоменко запропонував замінити повний перебір варіантів випадковим вибором та аналізом деякої кількості варіантів черговості розформування. Кращий із цих варіантів приймається за шуканий [68].

В 1960-х та 1970-х рр. значна увага продовжувала приділятися встановленню закономірностей процесів поїздоутворення. В одних роботах [69, 70] при визначенні закономірностей періоду накопичення составів окремого призначення допускається, що інтервали між надходженням груп вагонів на сортувальні колії розподіляються за показниковим законом. Інші автори [15] приводять емпіричні формули для розрахунку параметра розподілу тривалості накопичення составів. У роботах А. В. Бикадорова [71, 72] та В. І. Бодюла [73] питання поїздоутворення проаналізовані з позицій теорії відновлення [74, 75]. В період з 1967 по 1973 роки були опубліковані [76, 77, 78, 79] результати досліджень тривалості зайняття сортувальної колії накопиченим составом, впливу завантаження маневрових локомотивів та потужності призначень на об'єм повторного сортування вагонів, на роботу гірки та потрібну кількість сортувальних колій.

У роботі О. В. Брайко [80] запропоновано методику визначення моментів завершення накопичення составів із врахуванням розпуску составів із змінною швидкістю та довжини відчепів.

Велике дроблення переробки негативно впливає на переробну спроможність сортувальних гірок, ускладнює застосування режимів паралельного розпуску составів, збільшує простої вагонів під накопиченням, сповільнює про-сування вагонопотоків. У зв'язку з цим необхідно вести пошук таких форм організації наскрізних поїздів, котрі забезпечили б зберігання та укрупнення груп вагонів одного призначення в процесі переробки, створюючи умови для послідовного відбору та виділення найбільш дальніх струменів вагонопотоків, розширили сферу застосування паралельного розпуску составів. У роботі М.А. Аветікяна [81] з цією метою пропонується виділення в сортувальному парку для найпотужніших призначень двох колій накопичення. Такий захід дає можливість також періодично відбирати та укрупнювати групи вагонів, що вимагають першочергового просування. У роботах [82-84] пропонується ряд позастанційних заходів, які повинні забезпечити рівномірне підведення поїздів до станцій та скорочення кутових та перехресних вагонопотоків:

–організація формування составів окремо для лівої та правої частини сортувального парку [83];

–формування груп вагонів з призначенням на ліву та праву секції сортувального парку на тилкових станціях та їх передача зі станції на станцію в „шаховому” порядку [83];

—формування на тилових сортувальних станціях двохгрупних поїздів з призначенням груп вагонів на ліву та праву секції сортувального парку [84].

Дослідники В. А. Волков, В. Д. Лерман та Д. Ю. Левін [85, 86] розробили методику вибору станційних регулювальних заходів на основі імовірнісних оцінок переходу станів підсистеми розформування та підсистеми формування. Облік взаємодії процесів при оперативному управлінні роботою сортувальної станції та закономірностей перехідного режиму переробки вагонопотоку дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та зменшити кількість составів, обробка яких затримується в порівнянні з тими заходами, які може проводити маневровий диспетчер, приймаючи до уваги лише темп надходження поїздів або закінчення та формування составів і технологічні нормативи.

Подальше удосконалення методів оперативного планування поїздоутворення було спрямоване на поглиблення деталізації розрахунків та на формалізацію рішень по забезпеченню виконання плану на етапі поточного диспетчерського регулювання. Професор А. С. Гершвальд [87] детально проаналізував функції оперативно-диспетчерського персоналу, пов'язаного з управлінням роботи сортувальних станцій, та запропонував постановки задач та алгоритми управління роботою станції в цілому, управління сортувальною роботою, управління поїзною та маневровою роботою в окремому станційному парку. Перевізний процес, як об'єкт управління, розглядається у вигляді дворівневої структури. Нижній рівень – станційний, верхній рівень – між станційний. На верхньому рівні процес визначається структурою плану формування. На станційному рівні розглядається три підрівня: рівень станції, рівень сортувальної системи або району управління та рівень парку. Для вибору черговості обслуговування составів та груп вагонів запропоновано рейтингові оцінки [88]. Пропонується три можливі критерії – мінімум простою поїздів у вхідних сигналів, максимальне ущільнення часу розпуску всіх составів з метою виділення „вікон”, та найкраще виконання плану просування поїздів з урахуванням вагових коефіцієнтів мережевих маршрутів. У роботі [89] в якості критерію пропонується використовувати мінімум відхилень від заданого плану відправлення поїздів по кількості навантажених вагонів заданої номенклатури вантажів і кількості порожніх вагонів заданого типу. Для рішення задачі ВЧРС застосовують метод дискретного програмування, який передбачає вибір значень із таблиць параметрів, що регулюються, імітаційне моделювання поточного варіанту плану роботи, оцінку його по критерію та вибір оптимального варіанту. Перебір варіантів здійснюється за допомогою схеми комбінаторного аналізу [90]. При цьому варіанти переглядаються методом направленої перебору. Крім того, постановка задачі відрізняється можливістю використання при паралельному розпускові составів [91].

В 90-х роках Л. П. Тулупов та Ян Юйліан [55, 59, 92] представили методику поточного планування поїзної роботи технічних станцій, де відмічалось, що планування роботи станцій повинно бути взаємопов'язане з плануванням руху поїздів на прилеглих ділянках.

У роботах Д. Ю. Левіна [93-96] для максимального використання переробної спроможності сортувальної гірки при мінімальному часові знаходження вагонів на станції пропонується створювати та підтримувати оптимальні умови роботи сортувальної станції. Це досягається шляхом регулювання підведення до станції поїздів. У випадку невідповідності прогнозованого поїздопоток переробній спроможності сортувальної станції необхідно виконувати перерозподіл сортувальної роботи між станціями. Досягти цього можна за рахунок планування поїздоутворення із урахуванням вимог створення рівномірного потоку поїздів та у необхідних випадках – оперативної зміни плану формування поїздів. Процес планування поїздоутворення та оперативної організації

вагонопотоків повинен враховувати забезпеченість составів свого формування локомотивами [97]. У випадку неможливості своєчасно забезпечити процес відправлення поїздів локомотивами, з'являється доцільність оперативної зміни плану формування.

Д. Ю. Левін та В. Л. Павлов у роботі [98] запропонували в якості критерію оптимальності плану поїздоутворення використовується „мінімум простою составів в очікуванні локомотиву, бригади та нитки графіку руху”. Планування поїздоутворення ведеться в двох ітераціях, в першій ітерації складається план поїздоутворення для окремої сортувальної станції, в другій – плани поїздоутворення окремих станцій ув'язуються в один спільний план для полігону.

Схожий підхід пропонується в роботах професора А. Ф. Бородіна та кандидата технічних наук О. В. Харітонова [99, 100]. Планування поїздоутворення поділяється на два види – деталізоване (в межах однієї станції чи вузла на період до 3-4 годин), та укрупнене (в межах полігону залізниць на період до 6-12 годин). У роботі [101] пропонується вартісні показники при аналізі варіантів черговості обробки поїздів на технічних станціях визначати із урахуванням динамічних оцінок вагонопотоків. Виділяються динамічні оцінки вартості вагоно-години в підсистемі розформування та підсистемі формування.

Динамічна оцінка составу у підсистемі формування визначається як сума динамічних оцінок кожного вагону, та залежить від потенційних штрафів за несвоєчасну доставку вантажів, форми власності та власника вагонів, а також від дефіцитності роду вагонів.

У роботах [102-104] задача ВЧРС розглядається як NP-повна, зводиться до задачі комівояжера, в якій міста замінено поїздами, а відстані між ними є умовними витратами (простій вагонів) [105]. Пропонується вирішувати задачу ВЧРС евристичними алгоритмами [106]: bv-методом та пошуковими алгоритмами: генетичним алгоритмом та ACS-Q. При цьому черговість розпуску поїздів визначається для періоду планування рівного одній зміні (12 годин). Використання точного методу повного перебору в таких умовах не являється можливим через велику кількість варіантів роботи. Відповідно до результатів досліджень [106] найбільш ефективним являється генетичний алгоритм, при чому чим більші розміри руху поїздів, тим більшу ефективність можна отримати. Розроблена модель задачі ВЧРС враховує можливість відправлення поїздів по жорстким ниткам графіку руху [107].

Недоліком запропонованого підходу являється те, що план роботи гірки, складений на період в 12 годин має низьку достовірність через низьку достовірність прогнозу прибуття поїздів на станцію на такий великий період. Відповідно до рекомендацій [108], для сортувальних станцій з послідовним розпуском составів достатньо мати план роботи на 3-4 состави, а при паралельному розпуску – до 7 составів.

У роботах А. Е. Александрова та С. С. Шавзиса [109-112] розроблено дворівневу модель ВЧРС. На нижньому рівні попереднього розрахунку – модель строгої оптимізації, на верхньому рівні кінцевого розрахунку – імітаційна модель. В якості моделі строгої оптимізації використано динамічну транспортну задачу з затримками в багатопродуктовій постановці (М-ДТЗЗ), розроблену професором П. А. Козловим [113-115]. В задачі „пунктами виробництва” виступають колії парку прийому на яких з'являються состави, що містять різні види „продукції” – групи вагонів різних призначень. „Пунктом споживання” певного виду продукції являється колія сортувального парку, спеціалізована для накопичення вагонів на дане призначення.

Задача полягає в мінімізації сумарних витрат, пов'язаних із знаходженням вагонів на коліях парку прийому, переміщенні вагонів із колій парку прийому на сортувальні колії та зі знаходженням їх на коліях сортувального парку.

Розроблену модель ВЧРС на основі М-ДТЗЗ можна використовувати лише для пошуку наближених рішень, які потім перевіряються на імітаційній моделі. В якості імітаційної підсистеми розрахунку поїздоутворення використовується система „ІСТРА”, в якій реалізовано принцип покровокового моделювання [116-117].

В останні роки значно зросла увага дослідників до питань використання методів нечіткої логіки при прийнятті рішень у підрозділах залізниці [118, 119]. У роботі професора Д. В. Ломотько [118] зазначається, що однією із найбільш важливих особливостей формування бази знань у галузі транспортних технологій є нечіткий характер критеріїв відбору альтернатив, їхніх параметрів та обмежень. Внаслідок цього, у багатьох випадках виявляється неможливим побудова адекватної математичної моделі, що призводить до необхідності використання методів експертних оцінок.

Важливим кроком, який може вивести планування поїздоутворення на новий рівень являється запровадження систем автоматичної ідентифікації рухомого складу [120, 121]. Це дасть змогу перейти до організації перевізного процесу на основі жорсткого графіку. Проте, на теперішній час в Україні подібні системи не запроваджуються. Питання ефективності впровадження жорсткого графіку руху поїздів висвітлені у роботі кандидата технічних наук П.О. Яновського [122].

У роботах кандидата технічних наук В. С. Селецького [123-127] для удосконалення технології планування составоутворення використано математичний апарат мереж Петрі. Розроблено імітаційні моделі підсистем розформування та формування, які працюють як системи обслуговування з пріоритетами, що відповідає фактичній технології составоутворення.

У роботі Б. А. Кривошия та Є. А. Лавриненко [128] пропонується технологічна модель составоутворення місцевих поїздів на основі параболічного розподілу процесу накопичення. Розроблена модель дає можливість прогнозувати моменти готовності составів до відправлення з урахуванням інформації про підхід поїздів та скоротити простої місцевих вагонів.

Розвиток теорії та практики оперативного керування залізничними перевезеннями за кордоном

В процесі розвитку залізничного транспорту за кордоном виявились дві різні тенденції в організації управління перевізним процесом. Перша із них, характерна для німецьких залізниць, полягає в тому, що спостерігається уст ремління завчасно регламентувати та визначити хід перевізного процесу таким чином, щоб по можливості повністю ліквідувати необхідність оперативного управління. Друга тенденція, характерна для американських доріг, спрямована на розширення сфери оперативного управління [129, 130].

Деякий відхід від цих тенденцій являють роботи професора Потгофа [131], який розглядає більшість процесів в експлуатації залізниць з точки зору можливості застосування математичного апарату теорії ймовірностей.

Розвиток американської системи оперативного управління роботою залізниць в середині ХХ ст. достатньо широко описані в технічній літературі [132-135].

Ці системи управління передбачають детальні статистичні спостереження за виконаною роботою та її аналіз. На залізницях США використовують принцип концентрації звітності та централізованої її обробки [132], здійснюється він за рахунок використання сучасних автоматизованих пристроїв дистанційної передачі інформації та обчислювальних центрів. На Чикаго-Північно-Західній залізниці з 1959 року для цієї мети використовували систему „Карфакс”, яка базується на комплексному застосуванні стартостопних телеграфних апаратів та обчислювальних машин фірми ІВМ [136-138]. В цій системі збір відомостей про вагонні парки по станціям та дільницям досяга

ється тим, що при прибутті або відправленні вагона зі станції в обліковий центр передаються всі необхідні відомості. Таким чином, в обліковому центрі постійно є відомості про останнє місце знаходження кожного вагону.

На початку 60-х років на Державній залізниці Німеччини (DBAG) першими були автоматизовані сортувальні станції Зельце та Машен [139]. В дійсний час автоматичними пристроями, які допускають високу швидкість насуву на гірку і в той же час виключають співударяння, що можуть стати причиною пошкодження вантажів, обладнані лише деякі сортувальні станції DBAG, такі як Машен, Мюнхен та Нюрнберг.

Тривалість проектування та виготовлення обладнання, а також високі витрати роблять неможливою повну автоматизацію сортувальних станцій DBAG в осяжному майбутньому. В зв'язку з цим для підвищення ефективності залізничних перевезень Німеччини може бути використано інший шлях, що вимагає відносно невеликих витрат, – застосування технологій, які базуються на обчислювальній техніці. Розроблена відповідна технологія управління експлуатаційним процесом, а також апаратне і програмне забезпечення.

Програмний модуль, що управляє розподілом вагонів забезпечує мінімізацію часу проходження вагонів через сортувальну станцію і, крім того, дозволяє формувати під час розпуску багатовагонні відчепи замість великої кількості малих.

Перед прийомом поїзда модуль розміщення розподіляє вагони по сортувальним коліям таким чином, щоб якомога більша кількість вантажних вагонів спускалась з гірки на колії сортувального парку по відносно коротким маршрутам. Подальший розподіл виконується наступним чином:

–найбільша кількість вагонів та відчепів направляється на свою колію вже в першій або другій стрілочних зонах, решта в третій і лише дуже небагато в останній зоні, так як допустима швидкість насуву в цьому випадку максимальна;

–з використанням вільних в даний момент колій сортувального парку формуються найбільш довгі відчепи для окремих станцій призначення, так що маневрова робота на наступній станції мінімізується.

Підвищення ефективності може бути досягнуто зміною черговості насуву поїздів, яка визначалась до цих пір порядком їх прибуття на сортувальну станцію. При цьому слід виходити із мінімальних витрат часу на формування поїзда. Якщо, наприклад, виникає ситуація коли в двох поїздах, які насувались звичайно п'ятим та шостим, виявляється так багато вагонів для певної станції призначення, що після їх розпуску може бути сформовано повносоставний поїзд, то ці два поїзда слід розпускати першими, якщо цьому не перешкоджають інші причини.

Сформований поїзд можна відразу відправляти по іншому маршруту, що призводить до мінімізації часу знаходження вагонів на сортувальній станції та забезпечує прискорене звільнення сортувальної колії. При роботі по такій технології потрібна менша кількість колій в парках прийому та сортувальному, а отже, з'являються резерви переробної спроможності існуючих

сортувальних станцій.

В подальшому за допомогою модуля розміщення ті вагони, які насувались один за одним у випадковій послідовності, по можливості направляють на сусідні колії парку прийому, щоб скоротити інтервали під час насуву. В дійсний час із кожної години роботи на перерви приходиться 15 хвилин (тобто 25% загального часу насуву). Таким чином переробна спроможність гірки може бути значно підвищена без збільшення швидкості насуву та застосування додаткових технічних засобів.

Запропонована технологія дозволяє завчасно визначити, коли та які поїзди будуть сформовані та підготовані до відправлення. В зв'язку з цим можна попередньо підготувати необхідні супровідні документи (вагонні листи, довідку про гальма і т. д.) і тим самим прискорити повне оформлення поїзда в тому випадку, якщо не передбачено перевірка при передачі поїзда в парк відправлення і відповідне автоматичне коректування всіх необхідних поїзних документів.

Якщо на сортувальну станцію постійно надходить інформація про те, які поїзди, коли і з якими станціями призначення прибудуть, можна визначити, як довго будуть накопичуватись вагони для формування поїзда потрібної вагової норми. Якщо тривалість очікування велика, то орієнтуються на наступні показники:

- масу поїзда для певної станції призначення до певного моменту часу;
- відстань до станції призначення, яку проходить поїзд потрібної вагової норми.

Кінцевим пунктом при цьому може бути сортувальна або вузлова станція. За допомогою модуля розміщення формують маршрутні поїзди до максимально віддалених станцій призначення, так що всі маневрові роботи на проміжних станціях виключаються. Завдяки цьому можливе значне скорочення часу доставки вантажу на віддалені станції в порівнянні з тим, що було при міжвузлових перевезеннях. Максимальна швидкість маршрутних поїздів по цій причині не має особливого значення.

З метою зменшення тривалості накопичення вагонів на станції формування використовується технологія формування неповносоставних поїздів із доповненням їх групами вагонів на попутних технічних станціях, або формування повносоставних поїздів із обміном групами вагонів на технічних станціях.

На залізницях Польщі запроваджена нова система організації вантажного руху [140, 141]. Її основні складові: організація вагонопотоків по системі вузлових пунктів, прийнятій також в Німеччині та інших європейських країнах; повна заміна збірних поїздів роз'їзними маневровими локомотивами; перехід від формування повновагових та повносоставних вантажних поїздів до відправлення їх по розкладу, жорстко спеціалізованим по призначенням незалежно від кількості вагонів, та впровадження логістичних принципів в управлінні вагонопотоками в міжнародних та комбінованих перевезеннях.

На Канадській Національній залізниці оперативне управління перевезеннями забезпечується автоматизованими центрами [142]. При цьому

управління основане на жорсткому графіку, в якому нитки вантажних поїздів спеціалізовані по призначенням, а, отже, визначають перехід вагонів на сортувальних станціях із одних поїздів в інші [143]. Рішення про оперативну зміну графіка руху з використанням комп'ютерних засобів може бути прийняте не раніше, ніж за три доби до його реалізації [144]. Такою організацією створюється міцна технологічна база для своєчасної доставки вантажів. Основним критерієм для диспетчерського управління поїзною роботою є мінімум відхилень від графіка руху.

Ефективна робота сортувальних станцій Національної спілки залізниць Бельгії (SNCB) може бути досягнута шляхом повністю автоматизованих систем управління процесом сортування вагонів, які включають [145, 146]:

- гіркову автоматичну централізацію, яка контролює розпуск вагонів за допомогою колісних датчиків та переводить стрілки в гранично короткі проміжки часу, завдяки чому відчепи потрапляють на призначену для них колію сортувального парку;
- систему управління гірковим локомотивом, яка за допомогою радіозв'язку передає на локомотив задану швидкість розпуску для кожного відчепу. Втручання машиніста не потрібне;
- систему автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів, що включає в себе дві або три гальмівні позиції, обладнанні вагоноуповільнювачами, які забезпечують прицільне гальмування.

SNCB має в своєму розпорядженні централізовану систему управління вантажними перевезеннями CBGY. Центральна ЕОМ цієї інформаційно-керуючої системи знаходиться в Брюсселі. Через спеціальну мережу до неї підключена система телеуправління розпуском станції Антверпен-Північний. Система управління розпуском вагонів отримує із CBGY дані, що необхідні для розформування составу на сортувальній станції.

Оператор автоматизованої системи може ініціювати виведення на екран більш детальних пояснень та рекомендацій для роботи. За допомогою терміналів управління розпуском він може впливати на всі функції локомотива. Зокрема, оператор може включати систему дистанційного управління по радіо пересуваннями локомотива. На екранах ще двох терміналів індукується фактична зайнятість колій сортувального парку. Новою функцією являється інформування оператора про процедуру насуву, тобто про послідовність розпуску вагонів для оптимізації роботи сортувальної гірки. Інформація про зайнятість колій сортувального парку також необхідна для прицільного гальмування.

Завдяки широкій автоматизації можна досягнути високої ефективності сортувальних операцій, особливо на тих станціях, де здійснюється сортування та формування составів, що прямують по головним лініям. При цьому зменшується часу розформування та формування составів, скорочується кількість потрібного персоналу, підвищується якість маневрових робіт, тобто практично запобігаються пошкодження.

Підвищення ефективності роботи сортувальних станцій Північної Америки виконується в основному шляхом модернізації сортувальних

пристроїв та введення нових систем управління процесом розформування составів [147]. Компанія Belt Railway в 1999 р. встановила інформаційно-керуючу систему PROYARD виробництва General Transportation Systems (GETS) з метою оптимізації сортувального процесу та мінімізації пошкоджень вагонів.

Після прибуття вагонів на сортувальну станцію пристрої системи автоматичної ідентифікації зчитують з вагонних маркерів дані, які система PROYARD порівнює, підтверджуючи або коректуючи, з отриманими від служби перевезень. Потім вагони проходять через ваги та ряд датчиків, що виявляють ходові якості вагонів. В систему PROYARD вводяться ці дані, а також інформація про погодні умови, ухил сортувальної гірки та відстані, які повинен пройти кожен вагон до зчеплення зі стоячим. Система визначає величину тиску для уповільнювачів трьох гальмівних позицій, яка необхідна для забезпечення підходу вагонів до зупинених із оптимальною швидкістю та виключення можливості пошкодження вантажів.

Перспективні напрямки розвитку методів планування поїздоутворення на основі даних АСК ВП УЗ

В сучасних умовах планування поїздоутворення на сортувальних станціях фактично виконується вручну. Якість та обґрунтованість обраних варіантів організації станційної роботи залежить від розумових здібностей та досвіду оперативних працівників. Проте людські можливості обмежені по об'єму інформації, що може одночасно сприйматися, а високий динамізм перевізного процесу не залишає можливості для тривалих роздумів та часу на осмислення ситуації, що склалася на станції. В зв'язку з цим здійснення раціонального та обґрунтованого керування процесом поїздоутворення неможливе без розробки автоматизованих рекомендаційних та експертних систем із використанням широкого спектру вихідної інформації.

В теорії управління роботою станцій розроблено багато методів планування поїздоутворення, які ґрунтуються на накопиченні составів в залежності від обраної черговості розформування поїздів. Проте всім відомим методам ВЧРС властиві спільні недоліки:

- надмірна чутливість до точності прогнозу прибуття поїздів;
- не враховується вплив черговості розпуску на структуру составів, що накопичуються у сортувальному парку.

Стосовно чутливості моделей ВЧРС до точності прогнозу прибуття поїздів, то тут можна зазначити, що в сучасних умовах на залізницях України прогнозування руху поїздів виконується за нормативними тривалостями руху, які не дотримуються на практиці. Важливим питанням є очікувана точність прогнозу. З цього приводу в роботі [148] зазначено, що за результатами аналізу великої кількості графіків виконаного руху, середньоквадратичне відхилення прогнозованого часу прибуття вантажних поїздів від фактичного часу складає не менше 25 хв. Зрозуміло, що в таких умовах доцільність використання оперативними працівниками отриманої інформації підлягає сумніву. В зв'язку з цим, для адекватного сприйняття прогнозу прибуття

поїздів необхідно розробити відповідні математичні моделі, що дозволять враховувати стохастичні характеристики вихідних даних, в тому числі і прогнозованих моментів прибуття поїздів.

Важливим питанням являється вибір раціональних та обґрунтованих критеріїв оптимальності черговості розпуску составів. Особливо актуальною ця проблема постає в умовах реформування залізничного транспорту. Черговість розпуску составів, як засіб впливу на процес поїздоутворення повинна мінімізувати загальні експлуатаційні витрати, пов'язані із процесом перевезень.

При виборі раціонального плану поїздоутворення оперативний персонал орієнтується звичайно на покращення показників роботи власної сортувальної станції. При цьому не враховується вплив процесу поїздоутворення на транспорту мережу в цілому. В сучасних умовах на сортувальних станціях задача ВЧРС фактично не вирішується, тому процес надходження вагонів на колії сортувального парку являється практично некерованим. За рахунок вибору черговості розпуску составів, процесом накопичення можна керувати і створювати таким чином структури составів, що будуть сприятливими для переробки на наступних технічних станціях. Такий механізм управління розглядає окрему сортувальну станцію як частину транспортної мережі із багатьох станцій.

Висновки по 1 розділу

На залізницях України планування поїздоутворення фактично виконується вручну, ґрунтуючись на досвіді оперативного персоналу. В таких умовах ефективне вирішення задачі ВЧРС не представляється можливим.

Виконаний аналіз літератури по проблемі вибору черговості розпуску составів показав, що всім існуючим методам вирішення задачі властивий спільний недолік – чутливість до точності прогнозу прибуття поїздів. Для розв'язання вказаної задачі необхідна побудова математичних моделей, що дозволяють враховувати стохастичні характеристики вихідних даних.

Удосконалення потребує також і система критеріїв ефективності черговості розпуску составів. Аналіз літератури показав, що в більшості наукових робіт мінімізуються загальні експлуатаційні витрати окремої сортувальної станції. В деяких роботах виконано спробу перейти до загальномережевого критерію шляхом динамічної оцінки вагонопотоку. Жоден із відомих методів вибору черговості розпуску составів не враховує можливості створення більш сприятливих умов переробки вагонопотоків на наступних технічних станціях. Сортувальну станцію потрібно розглядати як частину транспортної мережі, що складається із багатьох станцій. В зв'язку з цим необхідно розробити систему критеріїв, яка мінімізуватиме загальні експлуатаційні витрати в цілому на шляху прямування вагонопотоків.

РОЗДІЛ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ

Завдання аналізу процесів поїздоутворення на сортувальних станціях

Аналіз наукових робіт показав, що найбільш суттєвим недоліком існуючих методів вибору черговості розпуску составів являється їх чутливість до точності та достовірності вихідних даних. Професор Буянов В. А. у роботі [51] зазначає, що практичні роботи по АСУ на станції повинні враховувати відому недостовірність прогнозу очікуваного прибуття поїздів. До теперішнього часу, жодна із відомих методик ВЧРС не пристосована для використання в умовах невизначеності. Одним із завдань даної дисертаційної роботи являється розробка ефективного алгоритму ВЧРС, який враховує стохастичні характеристики прогнозу прибуття поїздів.

Планування поїздоутворення на сортувальній станції виконується на основі даних про поїзди у розформування, що очікуються прибуттям. На даний момент АСК ВП УЗ забезпечує надходження інформації у обсязі телеграм-натурних листів. Прогнозування руху поїздів виконується на основі нормативних тривалостей руху, які на практиці не дотримуються. В таких умовах дієздатна автоматизація планування поїздоутворення неможлива. В зв'язку з цим, в даному розділі вирішені наступні завдання:

- виконано аналіз залежності випадкової величини тривалості руху поїздів по залізничним ділянкам від різних факторів (маса поїзду, період доби та ін.);
- обрано раціональну технологію прогнозування прибуття поїздів на станцію;
- отримано стохастичні характеристики прогнозу прибуття поїздів.

Іншим завданням, що вирішено в даному розділі, являється виявлення і аналіз зв'язків черговості розпуску составів та процесів поїздоутворення. За результатами досліджень удосконалено існуючу систему критеріїв ефективності черговості розпуску та виконано постановку задачі ВЧРС для транспортної мережі.

Сукупність сортувальних станцій та шляхів сполучення між ними утворюють полігон залізниць. Всі сортувальні станції пов'язані між собою, функціонування однієї станції впливає на умови функціонування інших станцій. Метою управління на будь-якому рівні (рівень станції, дирекції чи залізниці) має бути досягнення найкращих показників роботи залізничного полігону в цілому. Планування поїздоутворення окремої сортувальної станції повинно відбуватись із урахуванням інтересів сусідніх сортувальних станцій.

Позитивний ефект від вирішення задачі ВЧРС можливо досягти за рахунок:

- зменшення експлуатаційних витрат сортувальної станції, на якій виконується розформування составів;
- зменшення експлуатаційних витрат наступних технічних станцій полігону залізниць за рахунок створення сприятливих умов їх роботи;

Покращення показників роботи сортувальної станції, на якій виконується розформування составів, можливе за рахунок зменшення тривалості простою вагонів та локомотивів на станції, зменшення тривалості простою поїздів по неприйому на станцію. Крім цього, необхідно враховувати обсяги додаткової маневрової роботи, яка виникає у випадках переповнення сортувальних колій та направлення вагонів не на спеціалізовані сортувальні колії.

Створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій полігону за допомогою ВЧРС можливе за рахунок формування поїздів із меншою кількістю відчепів, що позитивно впливає на показники роботи підсистем розформування цих станцій [149]. В зв'язку з цим, у роботі виконано дослідження впливу черговості розпуску составів на процес утворення нових відчепів у складах свого формування.

На рисунку 2.1. наведено приклад, що демонструє, яким чином змінюється середня кількість відчепів у складі свого формування при різних послідовностях розпуску. Перед початком розпуску у парку прийому знаходиться два состави. У випадку розформування составів у порядку їх надходження, у сортувальному парку накопичується два состави, кожен із яких складається із п'яти відчепів. У випадку розформування составів у зворотному порядку, в сортувальному парку накопичується два состави, кожен із яких складається із чотирьох відчепів.

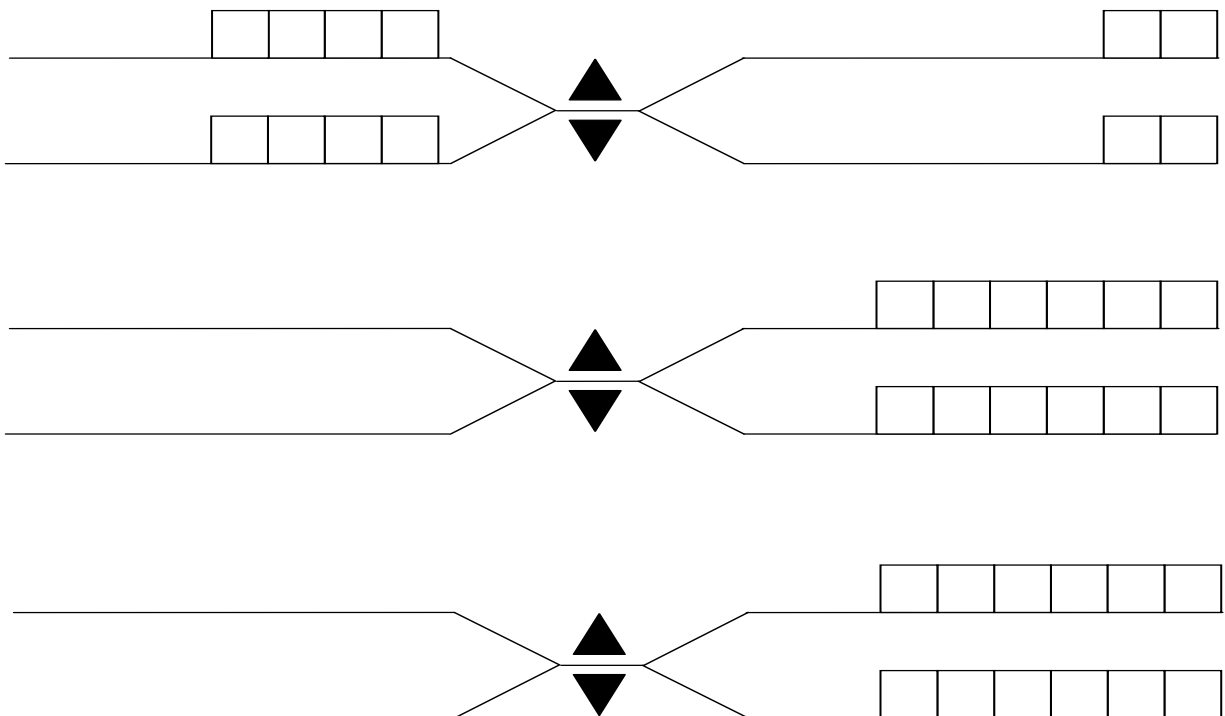


Рисунок 2.1 – Приклад впливу черговості розпуску составів на кількість відчепів у складах свого формування

Загальна характеристика об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи являється процес поїздоутворення на сортувальних станціях. У роботі сортувальні станції розглядаються як взаємопов'язані елементи транспортної системи. Підвищення ефективності процесів поїздоутворення пропонується досягати за рахунок планування на основі вибору раціональної черговості розпуску составів.

Вихідними даними для складання плану поїздоутворення та відправлення поїздів являються [150]:

- телеграми-натурні листи на всі поїзди, що прибувають у повну або часткову переробку (крім збірних, вивізних та передаточних);
- план підведення поїздів до станції;
- дані про наявність на коліях станції поїздів та вагонів по призначенням плану формування на початок періоду планування;
- дані про наявність та очікуване надходження локомотивів та локомотивних бригад для забезпечення вивезення поїздів;
- дані про кількість, призначення та передбачуваний час прибирання вагонів на станційні колії після завершення вантажних операцій;
- технологічні норми часу на виконання операцій з поїздами та вагонами.

Розрахунок оперативних планів поїздоутворення по 4 – 6-годинних періодам здійснює оператор-планер при ДСЦ.

Дані про кількість, призначення та намічений час перестановки місцевих вагонів на станційні колії оператор отримує від маневрового диспетчера.

Розрахунок поїздоутворення, тобто визначення моментів готовності составів до відправлення, визначається на основі встановлених технологічним процесом технологічних норм часу знаходження составів у парку прийому та відправлення, часу на формування та розформування составів та перестановку їх у парк відправлення.

Після закінчення розробки плану поїздоутворення (на основі прийнятої черговості розформування) оператор повідомляє станційному (маневровому) диспетчеру час очікуваного закінчення формування составів по призначенням плану формування поїздів.

Після цього маневровий диспетчер визначає порядок підготовки сформованих составів до відправлення. При плануванні відправлення поїздів здійснюється пономерне призначення поїздів свого формування та транзитних по ниткам графіка руху поїздів. При цьому указується номер поїзда, час відправлення, станція призначення, номер локомотива. В окремих випадках, коли кількість ниток графіка за період планування менше кількості запланованих до відправлення поїздів, передбачається відправлення додаткових поїздів за диспетчерським розкладом. На практиці доля поїздів, що відправляються за диспетчерським розкладом, досягає 50%.

Планування поїздоутворення до теперішнього часу фактично виконується „вручну”. Зважаючи на великі обсяги інформації, яку треба обробити у короткі строки, можливість оперативного персоналу приймати економічно

обґрунтовані рішення представляється надскладною задачею. Полегшити процедури прийняття рішень можуть автоматизовані системи.

Вибір методу прогнозування руху поїздів та дослідження стохастичних характеристик прогнозу прибуття

Важливою складовою інформаційного забезпечення планування поїздоутворення і задачі вибору черговості розпуску составів є прогноз прибуття поїздів. В сучасних умовах на залізницях України прогнозування руху поїздів виконується за нормативними тривалостями руху, які не дотримуються на практиці. Прийнятну (для існуючих умов) методику складання прогнозу прибуття поїздів описано в [54]. Ситуаційно-евристичний метод прогнозування тривалості виконання технологічних операцій заснований на визначенні норм із урахуванням широкого спектру факторів впливу.

У роботі в якості факторів впливу на тривалість руху поїздів по ділянкам обрано два параметри – маса составу та період доби. Такий параметр, як період доби обрано для врахування добових коливань завантаження ділянок та графіку руху пасажирських і приміських поїздів. Крім того передбачається використовувати ще наступні фактори:

- безпосереднє завантаження поїздами наступних перегонів між станціями;
- наявність пасажирських поїздів, що запізнюються;
- період року для врахування сезонних коливань;
- наявність попереджень в русі поїздів;
- погодні умови та ін.

Дослідження зв'язків тривалості руху поїздів по ділянкам та умов руху

З метою обґрунтування доцільності використання методики СЕМП при складанні прогнозу, було виконано дослідження зв'язків основних факторів впливу та тривалості руху вантажних поїздів.

На основі інформації із АСК ВП УЗ було зібрано статистичні дані про прямування поїздів, що прибувають в непарну систему станції Нижньодніпровськ-Вузол. На основі цих даних було виділено станції, які вводять інформацію про роботу з поїздами. Таким чином, підходи до станції Нижньодніпровськ-Вузол були розбиті на окремі ділянки. В роботі розглядається дві ділянки: Синельникове II – НД-Вузол та Новомосковськ – НД-Вузол. Гістограми розподілу тривалості руху вантажних поїздів по ділянкам Новомосковськ – НД-Вузол та Синельникове II – НД-Вузол наведено відповідно на рисунку 2.2 та рисунку 2.3.

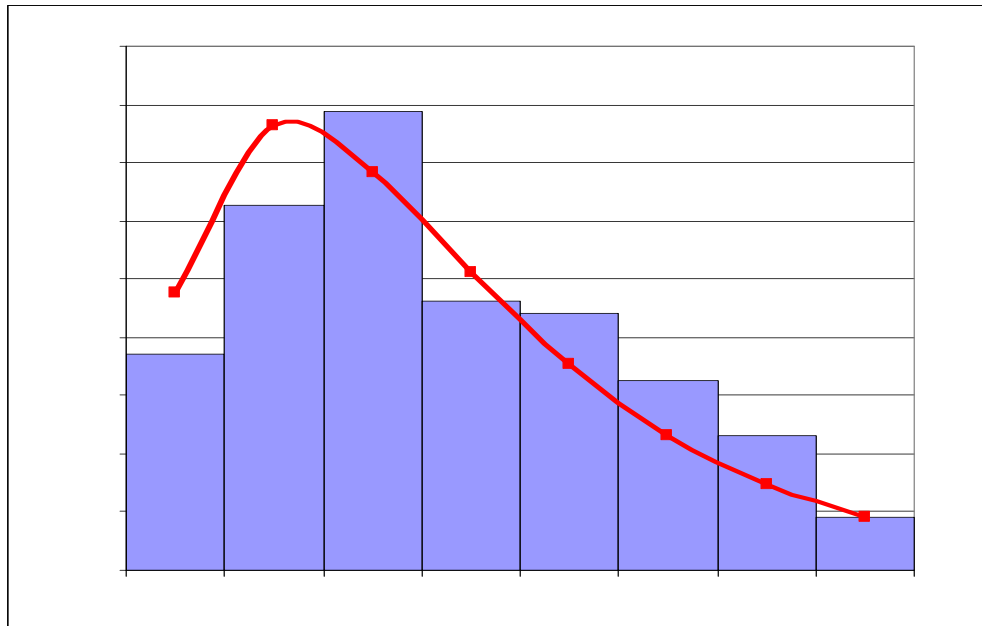


Рисунок 2.2 – Гістограма розподілу тривалості руху вантажних поїздів по ділянці Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол

Тривалість руху вантажних поїздів по ділянці Новомосковськ – НД-Вузол описується законом Ерланга із параметрами $M[T]=52,2$ хв, $K=2$ та $T_{\min}=33$ хв . Перевірка даної гіпотези за критерієм узгодженості Пірсона показала її справедливість ($\chi^2=10,24$; $\chi_{\text{табл}2}=11,07$ при кількості ступенів свободи $\nu=5$ та рівні значимості $p=0,05$, отже $\chi^2 < \chi_{\text{табл}2}$, гіпотезу підтверджено).

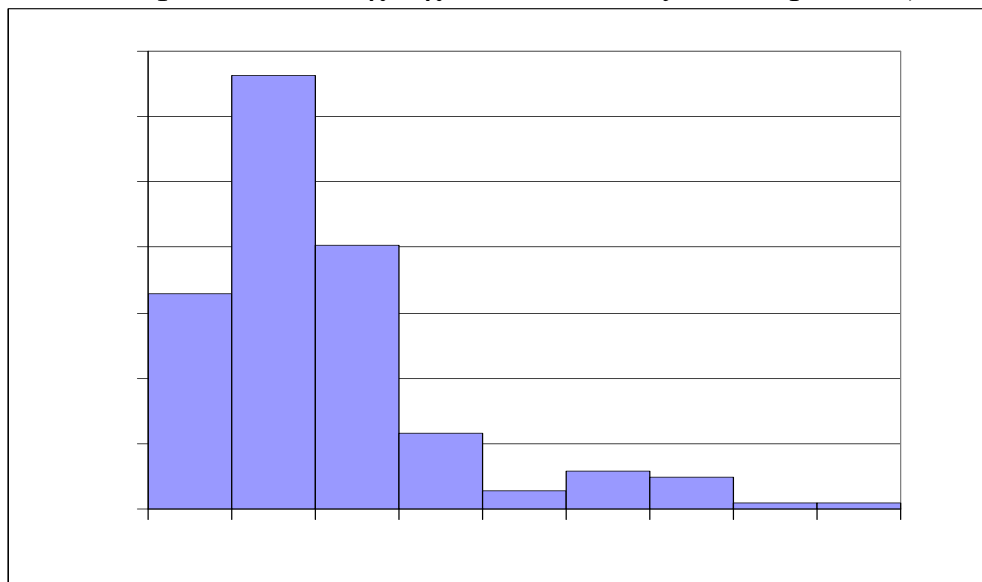


Рисунок 2.3 – Гістограма розподілу тривалості руху вантажних поїздів по ділянці Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол

Перевірка різних гіпотез показала, що тривалість руху вантажних поїздів по ділянці Синельникове II – НД-Вузол не може бути описана ні законом Ерланга, ні нормальним законом, тому весь діапазон тривалості руху слід розбити на дві частини. Перша частина (до 85 хв) характеризує рух вантажних поїздів в нормальних умовах, друга частина (більше 85 хв)

характеризує рух вантажних поїздів у випадку виникнення надзвичайних або нестандартних ситуацій. Гістограми розподілу тривалості руху вантажних поїздів в різних умовах по ділянці Синельникове II – НД-Вузол наведено на рисунку 2.4 та рисунку 2.5.

Тривалість руху вантажних поїздів у нормальних умовах по ділянці Синельникове II – НД-Вузол описується нормальним законом розподілу із параметрами $M[T]=59,4$ хв, $\sigma T=8,9$ хв. Було умовно прийнято, що нормальними являються умови, коли забезпечується тривалість руху поїзда менше 85 хв (забезпечується приблизно в 90 % випадків). Перевірка даної гіпотези за критерієм узгодженості Пірсона показала її справедливість ($\chi^2=6,8894$; $\chi_{табл}^2=12,5916$ при кількості ступенів свободи $\nu=6$ та рівні значимості $p=0,05$, отже $\chi^2 < \chi_{табл}^2$, гіпотезу підтверджено).

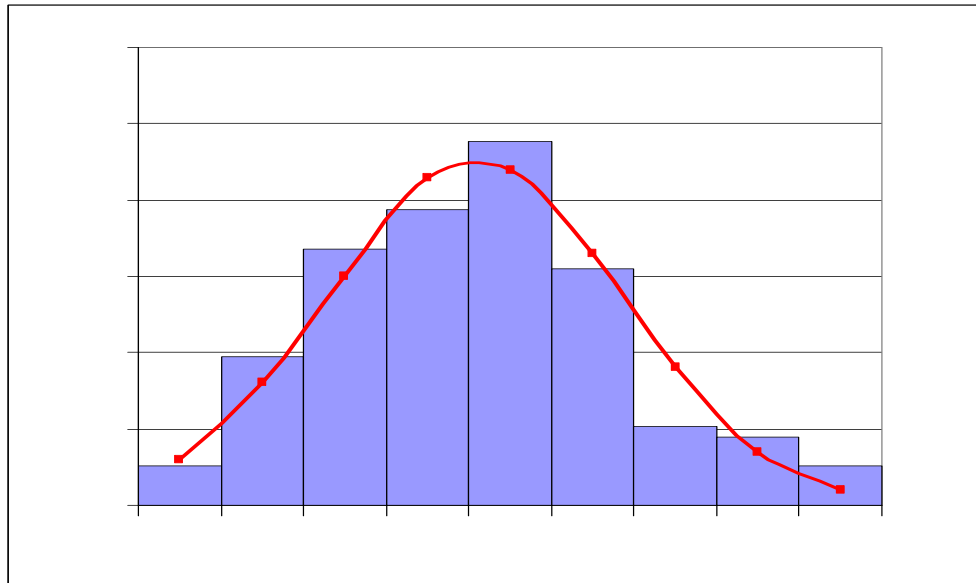


Рисунок 2.4 – Гістограма розподілу тривалості руху поїздів в нормальних умовах по ділянці Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол

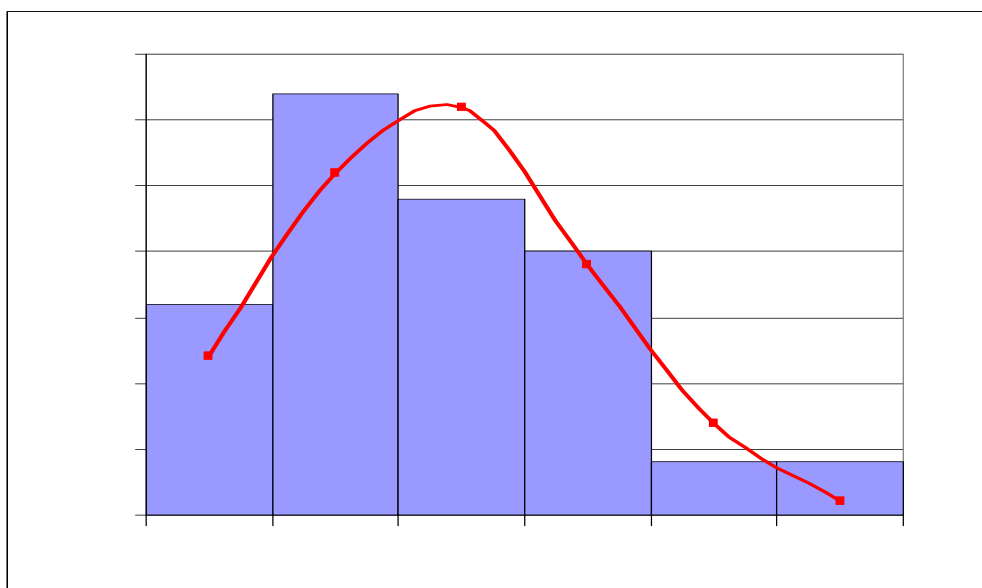


Рисунок 2.5 – Гістограма розподілу тривалості руху поїздів в несприятливих умовах по ділянці Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол

Приблизно в 10 % випадків виникають різні непередбачені ситуації, коли поїзд затримується в дорозі на значний час. Тривалість руху вантажних поїздів в несприятливих умовах по ділянці Синельникове II – НД-Вузол описується нормальним законом розподілу із параметрами $M[T]=107,6$ хв, $\sigma T=12,73$ хв. Перевірка даної гіпотези за критерієм узгодженості Пірсона показала її справедливість ($\chi^2=1,9448$; $\chi_{табл2}=7,8147$ при кількості ступенів свободи $\nu=3$ та рівні значимості $p=0,05$, отже $\chi^2 < \chi_{табл2}$, гіпотезу підтверджено).

У роботі виконано дослідження залежностей тривалості руху поїзда по ділянкам від маси составу. Розрахунок коефіцієнтів кореляції показав, що лінійної залежності досліджуваних параметрів практично не існує (для ділянки Новомосковськ – НД-Вузол $r_{QT}=0,37$, для ділянки Синельникове II – НД-Вузол $r_{QT}=0,19$). Проте коефіцієнт кореляції характеризує лише лінійні залежності. Аналіз графіку на рисунку 2.6. показує, досліджувана залежність нелінійна. Як видно з рис. 2.6., на ділянці Синельникове II – НД-Вузол, маса составів до 4800 т не впливає на тривалість їх руху по ділянці, а при масі составів більше 4800 т, збільшення маси составу поїзда призводить до збільшення тривалості його руху. Поле точок залежності показано на рисунку 2.7. У роботі розраховано кореляційне відношення η , яке характеризує ступінь нелінійного зв'язку. Для ділянки Синельникове II – НД-Вузол коефіцієнт $\eta=0,3$, що відносить даний зв'язок до категорії слабо виражених. На ділянці Новомосковськ – НД-Вузол коефіцієнт $\eta=0,47$, що характеризує середній рівень зв'язку (дивись рисунок 2.8).

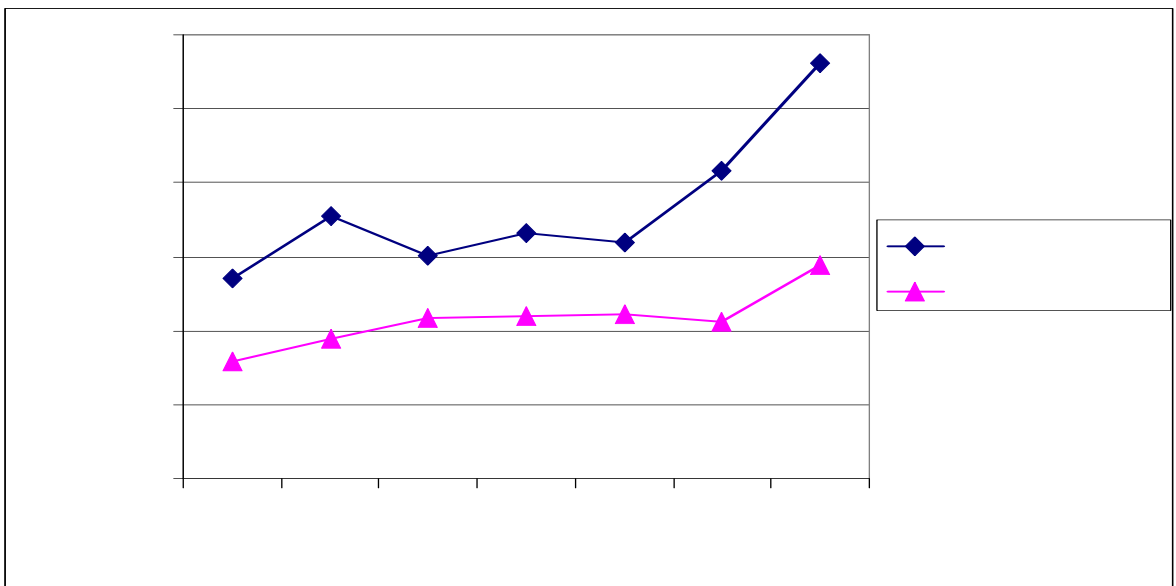


Рисунок 2.6 – Залежність середньої тривалості руху вантажних поїздів по ділянці Синельникове II – НД-Вузол від маси составів поїздів

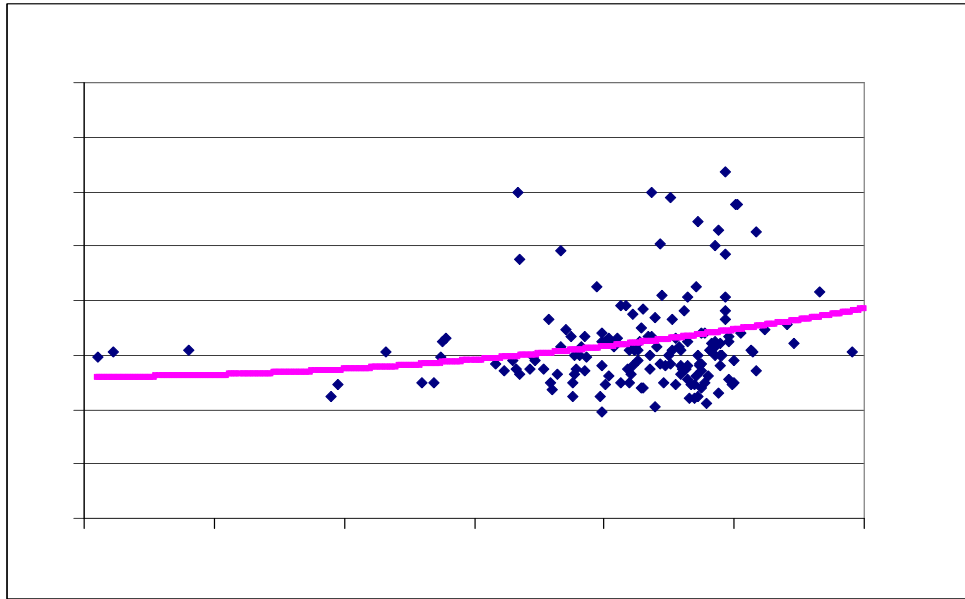


Рисунок 2.7 – Поле точок залежності тривалості руху вантажних поїздів по ділянці Синельникове II – НД-Вузол від маси составів

З використанням методу найменших квадратів було виконано пошук за залежностей між масою составу та тривалістю руху поїздів по ділянкам. Всього було перевірено 58 видів регресійних моделей (див. Додаток А). Остаточний вибір функції виконувався за найменшою залишковою дисперсією. Виявлено, що для обох ділянок найменшу залишкову дисперсію мають функції виду

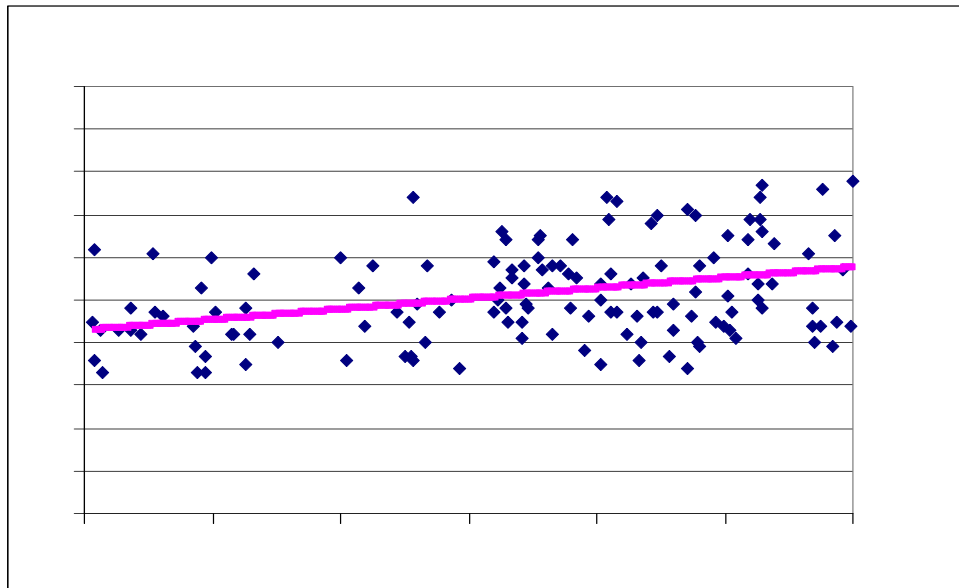


Рисунок 2.8 – Поле точок залежності тривалості руху вантажних поїздів по ділянці Новомосковськ – НД-Вузол від маси составів

Залежність між тривалістю руху вантажного поїзду по ділянці Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол та масою составу поїзда визначається виразом

(2.1)

Залежність між тривалістю руху вантажного поїзду по ділянці Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол та масою составу поїзда визначається виразом

(2.2)

Перевірка адекватності отриманих моделей регресії виконано за методикою, що наведена в [151].

Позначимо значення тривалості руху поїзда, що визначаються рівнянням регресії, як \hat{y} . Тоді фактичне значення можна представити як

де ϵ – випадкова (залишкова) компонента.

Аналіз залишкової компоненти (залишкового ряду) дозволяє оцінити якість рівняння регресії. Якість характеризується виконанням певних статистичних властивостей та точністю, тобто ступенем близькості до фактичних даних. Модель вважається адекватною досліджуваному процесу якщо:

- математичне очікування значень залишкового ряду близьке або рівне нулю;
- значення залишкового ряду випадкові;
- значення залишкового ряду незалежні;
- значення залишкового ряду описуються нормальним законом розподілу.

Рівність нулю математичного очікування залишків означає виконання наступного співвідношення:

Оскільки під час пошуку коефіцієнтів рівняння регресії було використано метод найменших квадратів, то перевірка залишкового ряду на виконання даної умови є зайвою.

Перевірка випадковості послідовності виконується за допомогою критерію піків (поворотних точок). Кожне значення ряду (y_t) порівнюють із двома сусідніми. Точка вважається поворотною, якщо вона або більша за попереднє та наступне значення, або менше за попереднє та наступне значення. У випадковому ряду повинна виконуватись нерівність

- де d – кількість поворотних точок;
- n – кількість дослідів;
- ϵ – знак округлення у меншу сторону до цілих.

При перевірці незалежності значень d визначається відсутність в залишковому ряду автокореляції, під якою розуміється кореляція між окремими елементами одного і того ж числового ряду.

Наявність автокореляції може бути виявлено за допомогою d-критерію Дарбіна-Уотсона, це критерій, який використовується для знаходження автокореляції залишків першого порядку регресійної моделі. Значення критерію обчислюється за формулою:

Ця величина порівнюється із двома табличним рівнями: нижнім – d_L та верхнім – d_U [152]. Якщо отримане значення d більше двох, то його треба перетворити за допомогою виразу

Якщо d (або d_L) знаходяться в інтервалі від нуля до d_L , то значення залишкового ряду сильно автокорельовані. Якщо значення d-критерію потрапляє в інтервал від d_L до d_U , то автокореляція відсутня. Якщо $d > d_U$, то однозначний висновок про відсутність або наявність автокореляції зробити неможливо і треба використовувати інші критерії.

Перевірка залишкового ряду на відповідність нормальному закону розподілу виконується за допомогою критерію згоди Пірсона.

Для характеристики точності моделі найчастіше розраховують середню відносну похибку:

Розрахунки по перевірці адекватності та відносної точності виразів (2.1) та (2.2) наведені в Додатку А.

Перевірка адекватності отриманих рівнянь регресії досліджуваному процесу, показала, що вираз (2.1) не являється адекватним, оскільки залишковий ряд не описується нормальним законом розподілу. Розрахунки показали, що точність виразу (2.1) характеризується відносною похибкою на рівні 18,5 %. Вираз (2.2) являється цілком адекватним, оскільки усі умови адекватності для нього виконуються. Відносна точність виразу регресії (2.2) знаходиться на рівні 17,2 %.

Аналіз добових коливань тривалості руху поїздів по ділянкам показав неоднорідність ділянок (дивись рисунки 2.9-10). Так, на ділянці Новомосковськ – НД-Вузол, добові коливання майже відсутні, що може бути пояснено незначним використанням пропускнуої спроможності та малою кількістю пасажирських і приміських поїздів. На ділянці Синельникове II – НД-Вузол, навпаки помітні значні добові коливання. Так в ранковий період інтенсивного приміського руху спостерігається найбільша кількість затримок вантажних поїздів, що призводить до збільшення середньої тривалості руху, натомість в нічний період тривалість руху являється найменшою.

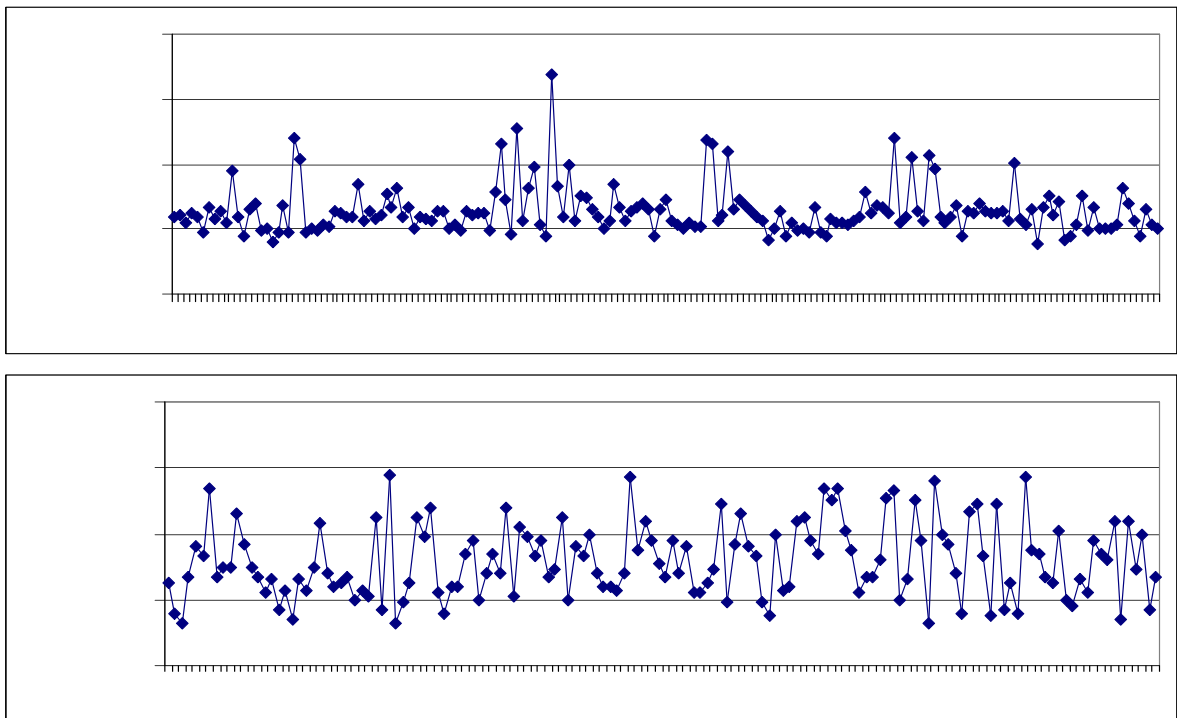


Рисунок 2.9 – Часові ряди тривалості руху вантажних поїздів по залізничним ділянкам

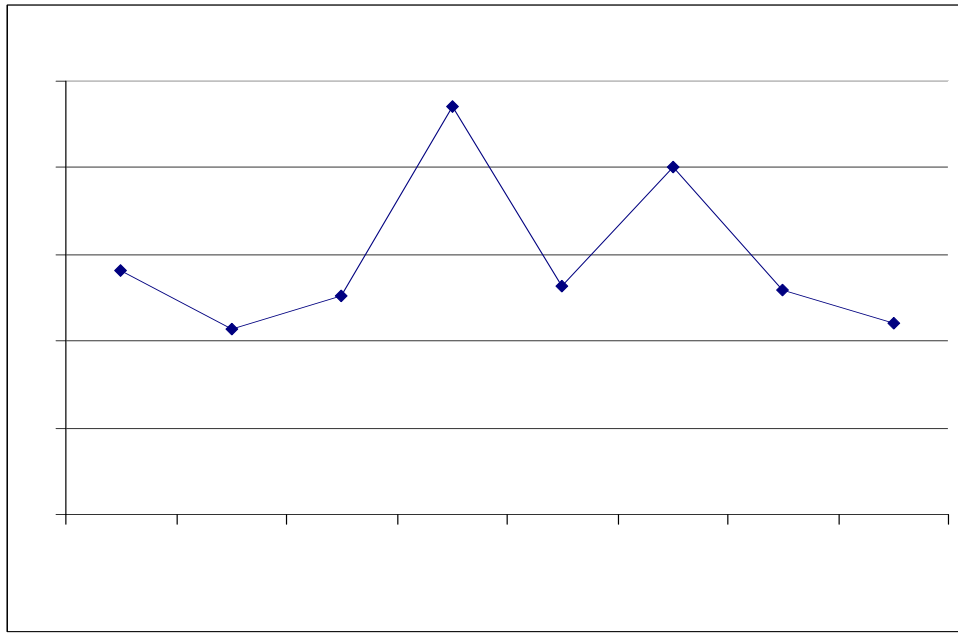


Рисунок 2.10 – Залежність середньої тривалості руху поїздів на ділянці Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол від періоду доби

Аналіз рис. 2.9 дає підставу зробити висновок, що часові ряди тривалості руху поїздів по залізничним ділянкам мають фрактальну структуру, і тому з метою їх дослідження можна використовувати апарат фрактального аналізу, зокрема R/S аналіз [153], який базується на обчисленні статистики Херста, що є мірою випадковості часового ряду.

Вивчаючи динаміку систем, їх часто описують системою диференціальних рівнянь. Зображення розв'язків цих рівнянь як руху деякої точки у просторі з розмірністю, яка дорівнює кількості змінних, називають фазовими траєкторіями системи. Аналіз поведінки фазової траєкторії (у сенсі її стійкості) показує, що існують випадки, коли всі розв'язки системи зосереджуються зрештою на деякій замкненій підмножині. Наприклад, у випадку закритті однієї із головних колій на перегоні, тривалість руху вантажних поїздів значно збільшується. Така підмножина називається атрактором (від англ. «to attract» – притягувати).

Атрактор має певну «область притягання» (множину початкових точок). Із часом усі фазові траєкторії, що зародилися у множині початкових точок, тяжіють (намагаються збігтися) саме до цього атрактора. Рух точки в таких випадках має періодичний характер.

Основні типи атракторів такі:

- стійкі граничні точки;
- стійкі цикли (траєкторія тяжіє до деякої замкненої кривої);
- тори (до поверхні яких наближається траєкторія).

Для сталих коливань, що відповідають динамічному хаосу, запропоновано назву дивний аттрактор. Рух точки на таких атракторах є нестійким, хитким, будь-які дві траєкторії на них завжди розбігаються, мала зміна початкових умов приводить до різних шляхів розвитку. Іншими словами, динаміка систем із дивними атракторами є хаотичною.

Динамічні системи, як правило, повільно змінюють характер свого поведіння внаслідок незначної зміни внутрішніх або зовнішніх параметрів. Однак можуть існувати такі критичні значення параметрів, при яких система зазнає якісної перебудови і, відповідно, різко змінюється динаміка системи, наприклад втрачається її стійкість (у ранковий період інтенсивного приміського руху може збільшуватись дисперсія та математичне очікування випадкової величини тривалості руху вантажних поїздів по залізничним ділянкам). Такі критичні значення параметрів називаються точками біфуркації.

Втрата стійкості відбувається, як правило, переходом від точки стійкості до стійкого циклу (м'яка втрата стійкості), виходом траєкторії зі стійкого стану (жорстка втрата стійкості), народженням циклів із подвоєним періодом тощо. З подальшою зміною параметрів можливе виникнення у фазовому просторі таких топологічних структур, як тор, а далі – дивних атракторів, тобто хаотичних процесів.

Поводження всіх систем, що самоорганізуються, у точках біфуркації характеризується загальними закономірностями. Найважливіші з них:

- точки біфуркації часто провокуються зміною управляючих параметрів або підсистеми управління, що веде систему до нового стану;
- потенційних траєкторій розвитку системи багато, і тому точно спрогнозувати, до якого стану перейде система після проходження точки біфуркації, неможливо; це пояснюється тим, що вплив середовища має випадковий характер;
- вибір траєкторії розвитку може бути також пов'язаний з життєздатністю і стійким типом поведінки системи; відповідно до принципу стійкості серед можливих форм розвитку реалізуються лише стійкі, а хисткі якщо й виникають, то швидко руйнуються;
- підвищення розмірності та складності системи спричинюється до збільшення кількості станів, за яких може відбуватися стрибок, і кількості можливих шляхів розвитку, тобто чим різноманітніші елементи системи і складніші її зв'язки, тим вона хиткіша;
- чим більше система нерівноважна, тим більшу кількість можливих шляхів розвитку вона може вибирати в точці біфуркації;
- два близькі стани можуть породити зовсім різні траєкторії розвитку;
- однакові траєкторії розвитку можуть реалізовуватися неодноразово;
- часова межа катастрофи визначається «принципом максимального зволікання»: система робить стрибок тільки тоді, коли в неї немає іншого вибору;
- у результаті розгалуження (біфуркації) виникають граничні цикли — періодичні траєкторії у фазовому просторі, кількість яких тим більша, чим більш структурно хисткою є система;
- катастрофа змінює організованість системи, причому не завжди в бік збільшення.

Отже, у процесі руху від однієї точки біфуркації до іншої відбувається розвиток системи. У кожній точці біфуркації система вибирає шлях розвитку, траєкторію свого руху.

У точці біфуркації відбувається катастрофа – перехід системи від області притягання одного атрактора до іншого. Як атрактор може виступати і стан рівноваги, і граничний цикл, і дивний атрактор (хаос). Систему притягає один із атракторів і вона в точці біфуркації може стати хаотичною і зруйнуватися, перейти до стану рівноваги або вибрати шлях формування нової впорядкованості.

З метою виявлення властивостей часових рядів тривалості руху поїздів по ділянкам було використано методи RS-аналізу та розраховано коефіцієнт Херста. Ідея цього методу полягає у вимірюванні зміни з часом рівня нагромадження відхилень від середнього значення часового ряду. Алгоритм розрахунку наступний: нехай є послідовність $\{t_i\}$ тривалостей руху поїздів по ділянці. Із даного ряду утворюється послідовність $\{t_i^k\}$, де

– логарифмічний приріст в момент часу t .

Для кожного натурального n визначаємо величини \bar{x}_n та σ_n обчислимо наступні числові характеристики отриманої послідовності. Нехай

– середнє арифметичне елементів послідовності x_1, x_2, \dots, x_n , тоді:

–розмах накопичених сум $S_n = x_1 + x_2 + \dots + x_n$;

–середньоквадратичне відхилення σ_n ;

–нормований розмах накопичених сум $\bar{S}_n = \frac{S_n}{n}$.

Обчислюючи у відповідності із вищенаведеним алгоритмом значення \bar{x}_n , σ_n , \bar{S}_n , утворюємо із них та відповідних значень кількості елементів n послідовність точок на площині (n, \bar{x}_n) . Застосовуючи метод найменших квадратів, знаходимо кутовий коефіцієнт прямої, яка проходить максимально близько до отриманих точок. Вважаючи, що $\bar{x}_n = a + b \cdot n$, $\sigma_n = c + d \cdot n$, $\bar{S}_n = e + f \cdot n$, визначаємо коефіцієнт Херста за формулою

Якщо показник H приблизно дорівнює 0,5, то це свідчить про те, що ряд описує випадкове блукання. Коли H відрізняється від 0,5, то це означає, що спостереження не незалежне. Тобто кожне спостереження містить «пам'ять» про минулі спостереження, минуле поведіння ряду, причому не короткотермінову, а саме довготермінову пам'ять. Значення $H > 0,5 - 1$ відповідає часовому ряду, що має пам'ять, тобто являється персистентним. Якщо $0 \leq H \leq 0,5$ – то ряд буде від'ємно корельованим (антиперсистентним), тобто якщо спостерігалася тенденція зростання ряду в минулому, то варто очікувати надалі на його спадання.

Перевірка часових рядів за допомогою методів RS-аналізу показала, що часові ряди тривалості руху поїздів по ділянкам являються антиперсистентними. Значення коефіцієнту Херста для цих рядів коливається в межах 0,26-0,4.

Методика складання прогнозу прибуття поїздів

Результати виконаних досліджень показують, що зв'язки між тривалістю руху поїздів по ділянкам і такими параметрами, як маса состава та період доби, доволі слабкі. В таких умовах прогнозування руху поїздів шляхом побудови різноманітних трендів являється нераціональною. Натомість, складання прогнозу на основі пошуку схожих ситуацій представляється доцільним, отже використання з цією метою ситуаційно-евристичного методу прогнозування [54] являється виправданим.

В загальному вигляді задача прогнозування моментів прибуття поїздів формулюється наступним чином. Нехай треба визначити прогнозовані значення моментів прибуття поїздів t_{ij} . Скорочено позначимо всю їх сукупність через T .

Будемо вважати, що значення прогнозованих моментів прибуття залежать від основних та додаткових факторів. На прогнозований період значення факторів відомі. Позначимо їх сукупності відповідно через F та G .

В якості факторів впливу використовуються ті дані, які можуть бути визначені на плановий період та містяться в АСК ВП УЗ. До них можна віднести [154]:

- масу та довжину поїзда;
- період доби;
- період року;
- завантаженість ділянок поїздами;
- наявність пасажирських поїздів із запізненнями;
- наявність попереджень у русі поїздів;
- технічний стан локомотива;
- кваліфікація локомотивної бригади;
- композиція состава.

В передпланову ситуацію S повинна ввійти вся відома до початку оперативного розрахунку інформація, яка допомагає більш достовірно виконувати прогнозування. В якості додаткових факторів прийнято календарні особливості планового періоду δ та погодні умови ω , далі домовимося, що $S = (S, \delta, \omega)$. В якості вихідної передпланової ситуації приймемо S_0 .

Кількісні характеристики ситуації та відповідні їм звітні значення прогнозованих тривалостей руху по ділянцям називатимемо рядком досвіду. Рядки досвіду за Z передпланових періодів утворюють масив досвіду. Вигляд матриці, що характеризує масив досвіду, представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Масив досвіду за Z передпланових періодів.

Рядок досвіду	Фактори			Виконані показники
	Основні	Додаткові		
1	$\Phi_1^1, \dots, \Phi_i^1, \dots, \Phi_I^1$	δ^1	ω^1	$Y_1^1, \dots, Y_i^1, \dots, Y_I^1$
...
j	$\Phi_1^j, \dots, \Phi_i^j, \dots, \Phi_I^j$	δ^j	ω^j	$Y_1^j, \dots, Y_i^j, \dots, Y_I^j$
...
z	$\Phi_1^z, \dots, \Phi_i^z, \dots, \Phi_I^z$	δ^z	ω^z	$Y_1^z, \dots, Y_i^z, \dots, Y_I^z$
$z+l$	$\Phi_1^*, \dots, \Phi_i^*, \dots, \Phi_I^*$	δ^*	ω^*	? ? ?

На фактичне виконання графіка руху поїздів можуть чинити значний вплив і такі величини, значення яких не може бути визначено на розрахунковий період. На теперішній час в АСК ВП УЗ не міститься жодних відомостей про погодні умови, стихійні лиха, надзвичайні події. Очевидно, що дослідні дані, які відносяться до умов, значно відмінних від звичайних, не слід використовувати при прогнозуванні, тобто в масив досвіду не повинні потрапляти рядки досвіду, що відносяться до періодів, коли мали місце стихійні лиха та надзвичайні події. Якщо наприклад різниця між прогнозом та фактичним виконанням перевищила заданий рівень, то в рядку досвіду автоматично привласнюється ознака заборони. Для розрахунку використовується відкоректований масив досвіду, що не містить різких нехарактерних відхилень.

Принциповою особливістю СЕМП являється побудова функції зв'язку прогнозованих тривалостей руху по дільницям не з усіма елементами масиву досвіду, а лише з елементами близьких рядків (по відношенню до ситуації на початку планового періоду). Таким чином, для прогнозу роботи в плановий період враховується не весь наявний досвід діяльності залізничного полігону, а лише найбільш близький до поточної оперативної обстановки. Тут можна провести деяку паралель із діяльністю людини, яка, приймаючи оперативне рішення, перебирає в пам'яті рішення, прийняті раніше в схожих ситуаціях.

В масиві досвіду може опинитись і ситуація, яка по значенню факторів повністю співпадає із поточною ситуацією на передплановий період. Але із цього не слідує, що в якості прогнозу можна обирати відповідне звітне значення. Це пояснюється недостатньою кількістю факторів впливу, які враховуються, та невизначеністю ситуації на передплановий період. Тому результати прогнозування будуть більш надійними, якщо використовувати не єдиний дослід, а декілька дослідів, близьких по ситуаціям. Близькі ситуації використовуються для визначення сукупності невідомих коефіцієнтів – нормативів моделі, які оптимальні саме при вирішенні задачі у обраній зоні. Набір тривалостей руху по дільницям, розрахований по усім ситуаціям досвіду називається довгостроковими нормативами.

Цільова функція для розрахунку довгострокових нормативів

, jz,

причому на кожний норматив можуть бути накладені обмеження

Довгострокові нормативи використовуються для вибору із масиву досвіду найбільш близьких до передпланової ситуації. Критерій близькості j-го рядка масиву досвіду задається у вигляді функції

Функція визначає спосіб відбору близьких ситуацій. Не можна стверджувати, що в масиві досвіду завжди є хоча б один рядок j, у якого ситуація точно співпадає з передплановою, яка склалася на початок розрахунку. Але серед рядків знайдеться декілька вихідних ситуацій, які в певному сенсі більш близькі до передпланової ситуації у порівнянні із іншими. Чим точніше обрано критерій відбору близьких ситуацій, тим більш об'єктивним буде прогноз.

Будемо розглядати лише лінійні зв'язки між факторами впливу та прогнозованими моментами прибуття, тобто . Тоді

Сукупність коефіцієнтів () при обмеженнях визначається із умови

Аналізуються усі рядки масиву досвіду. Ситуація визначається вектором із координатами . Для оцінки близькості ситуації j та z+1 можливо використовувати декілька способів. У роботі використано спосіб покоординатної оцінки. При такій оцінці ситуацію вважають близькою до ситуації z+1, якщо виконується наступна нерівність:

$$, \quad (2.3)$$

де δ_i – допустиме відхилення (iI).

Фактори впливу можуть бути нерівнозначними, що визначає нерівнозначність величин δ_i . Якщо потрібно, щоб деякі фактори в близьких ситуаціях співпадали, то в цьому випадку слід прийняти відповідне δ_i рівним нулю.

Якщо в області, що задовольняє умові (2.3), не виявиться достатньої кількості ситуацій ($n < n_{\text{min}}$), то допустиму різницю критеріїв збільшують із заданим кроком; якщо $n \geq n_{\text{min}}$ в цьому випадку кількість обраних близьких ситуацій n , близькість ситуацій оцінюється іншими критеріями.

Таким чином, критерії близькості визначають спосіб відбору близьких ситуацій, і таким чином скорочують кількість рядків масиву досвіду, що використовуються у розрахунку.

В масиві близьких рядків досвіду (дивись таблицю 2.2) відібрані рядки впорядковані у відповідності із збільшенням критерію

K , при чому додаткові фактори δ, ω враховано:

Зв'язок між відібраними рядками та вихідною передплановою ситуацією S , приведеною в рядку $M+1$ (табл. 2.2), можна визначити декількома способами.

Таблиця 2.2 – Масив досвіду зі „схожими” рядками.

Рядок досвіду	Критерій близькості	Основні фактори	Виконані показники
1	K_{min}^1	$\Phi_1^1, \dots, \Phi_i^1, \dots, \Phi_I^1$	$\dot{Y}_1^1, \dots, \dot{Y}_i^1, \dots, \dot{Y}_I^1$
...	
m	K^m	$\Phi_1^m, \dots, \Phi_i^m, \dots, \Phi_I^m$	$\dot{Y}_1^m, \dots, \dot{Y}_i^m, \dots, \dot{Y}_I^m$
...	
M	K^M	$\Phi_1^M, \dots, \Phi_i^M, \dots, \Phi_I^M$	$\dot{Y}_1^M, \dots, \dot{Y}_i^M, \dots, \dot{Y}_I^M$
$M+1$		$\Phi_1^*, \dots, \Phi_i^*, \dots, \Phi_I^*$? ? ? при відомих δ, ω

У роботі використано алгоритм багатомірної лінійної екстраполяції. В основу вихідного алгоритму багатомірної лінійної екстраполяції покладено припущення про те, що утворюючий підпростір проектних ситуацій (рядків досвіду) S (М – кількість „схожих” рядків досвіду, I – кількість основних факторів впливу) фіксований та нерухомий. В цьому

випадку алгоритм (для випадку відбору двох „схожих” рядків досвіду) можна трактувати так: маються нерухомі та фіксовані вектори \mathbf{v}_1 та \mathbf{v}_2 , що характеризують простір ситуацій (вектор значень факторів впливу відповідно для першого та другого „схожого” рядка досвіду); необхідно знайти оптимальний множник λ , що мінімізує відстань в евклідовій метриці між новою проектною ситуацією \mathbf{v} та відомим підпростором Π .

Для підвищення точності лінійної екстраполяції, застосовуючи аксіоми лінійного простору, використаємо ідею рухомих векторних оболонки та спробуємо зсунути підпростір ситуацій таким чином, щоб зблизити підпростір Π з новим вектором \mathbf{v} (дивись рисунок 2.11).

Зсуваючи підпростір ситуацій, введемо параметр p та утворимо вектори $\mathbf{v}_1 + p\mathbf{v}_2$ та $\mathbf{v}_2 + p\mathbf{v}_1$. Тоді підпростір ситуацій можна записати у вигляді

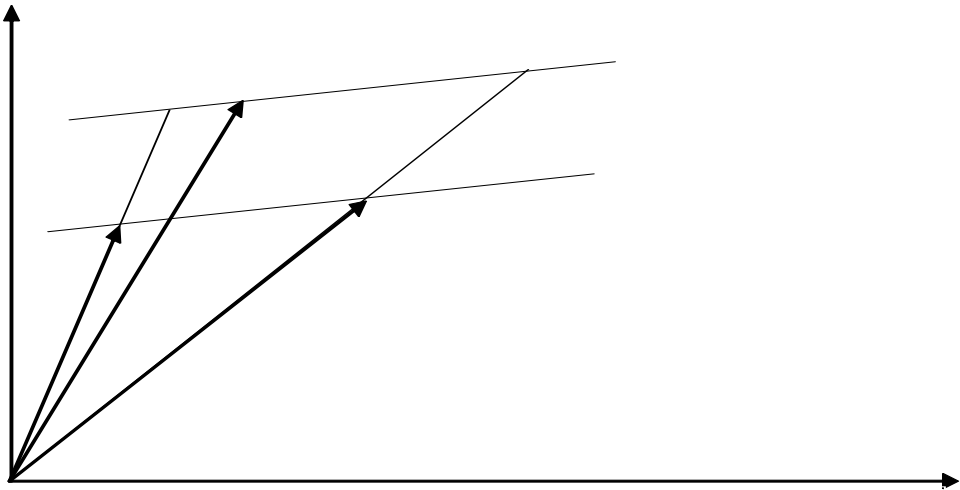


Рисунок 2.11 – Метод зсуву підпростору ситуацій

Далі будемо функцію близькості $d(\mathbf{v}, \Pi)$, яка буде залежати від параметрів p та λ :

Для мінімізації цієї строго випуклої функції достатньо знайти похідні по параметрам p та λ та прирівняти їх нулю, тобто:

$$(2.4)$$

(2.5)

Із рис. 2.11 слідує, що в двомірному евклідовому просторі (при двох факторах впливу) при λ та p , знайдених у результаті рішення рівнянь 2.4. та 2.5., значення близькості стане не лише мінімальним, але буде рівним нулю, тобто завдання екстраполяції буде вирішено без похибки. При масиві досвіду із двох векторів в трьохмірному евклідовому просторі (три фактори впливу) та в просторі більшої розмірності це вже не буде справедливим, тобто в загальному випадку матиме місце деяка кінцева похибка вирішення задачі екстраполяції.

Отримані формули легко узагальнюються на багатомірний випадок, тобто на випадок, коли відомо декілька проектних ситуацій (рядків досвіду) ,

:

(2.6)

Аналогічно двомірному випадку вирішуємо і задачу мінімізації функції (2.6) та знаходимо значення p та λ .

Екстрапольоване рішення без урахування календарних особливостей та погодних умов отримуємо по формулі

а з урахуванням додаткових факторів

В окремі періоди значення звітних показників тривалості руху поїздів по залізничним ділянкам істотно різняться від прогнозованих через вплив умов, котрі не враховуються моделлю, а також неточністю самого оперативного обліку [57].

Ситуаційно-евристичний метод прогнозування включає в себе врахування перехідних періодів при різкій зміні умов роботи полігону (початку сезонних перевезень, відкритті або закритті навігації та ін.). В цьому випадку в масиві досвіду ще немає рядків досвіду роботи в змінених умовах. Модель може навчитися лише по декільком рядкам досвіду останніх періодів

($p=1,2,\dots,p,\dots,P$). Цю її інерційність можна в певній мірі виправити коефіцієнтом тенденції . Алгоритм розрахунку узагальненого коефіцієнта тенденції наступний:

Розрахункове значення коефіцієнта тенденції визначається за допомогою виразу

,

де , – відповідно фактичне та прогнозоване значення тривалості руху за період P ;

– задана допустима похибка прогнозу;

– константа, що визначає вагу періоду P в списку останніх α днів.

Значення P визначається експертно аналізом результатів прогнозування в період підготовки інформації масиву досвіду та розрахунку довгострокових нормативів. У більшості проведених дослідів [54] найкраща достовірність прогнозу досягалась при $P=4$. Допустиму похибку, середню за цей період, , можна знайти на основі даних масиву досвіду:

,

де – середнє значення показника за P періодів;

t – кількість дозволених рядків масиву досвіду.

Неточності в оперативному облікові та диспетчерської інформації також впливають на достовірність прогнозування. Тому в СЕМП передбачено можливість коректування прогнозованих значень тривалості руху після отримання звітних даних. У загальному вигляді в матриці, крім звітного виконання, повинен формуватись стовпчик відкоректованого досвіду:

,

де – звітне значення тривалості руху поїзда;

– коефіцієнт коректування, коливається в межах .

Оптимальне значення коефіцієнта розраховується періодично. Спочатку визначається середнє відхилення звітних тривалостей руху від прогнозованих за Р останніх періодів:

Якщо більше допустимого , то довгострокові нормативи перераховують.

Коректують нормативи на основі останніх з рядків досвіду. Значення знаходиться покроковим перебором .
Мінімізується цільова функція

де – значення прогнозу тривалості руху при заданому .

Визначення очікуваної точності прогнозу прибуття поїздів на станцію

На основі описаної технології складання прогнозу було виконано прогнозування прибуття поїздів із підходів Синельникове II та Новомосковськ. В якості факторів впливу було обрано два параметри – маса составу поїзда та період доби. Прогноз на кожен поїзд складався в момент надходження в АСК ВП УЗ повідомлення про проходження станції або про відправлення поїзду зі станції. Було зібрано статистичні дані щодо точності такого прогнозу. Результати представлено на рисунках 2.12-13 у вигляді гістограм розподілу.

На ділянці Синельникове II – НД-Вузол математичне очікування відхилення фактичних моментів прибуття поїздів від прогнозованих становить , середньоквадратичне відхилення . Відносна похибка прогнозування становить 19 %, при цьому величина абсолютної середньої похибки (без урахування знаку) становить біля 13 хв. На ділянці Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол математичне очікування відхилення фактичних моментів прибуття поїздів від прогнозованих становить , середньоквадратичне відхилення . Відносна похибка прогнозування становить 14,4 %, при цьому величина абсолютної середньої похибки (без урахування знаку) становить біля 6,6 хв.

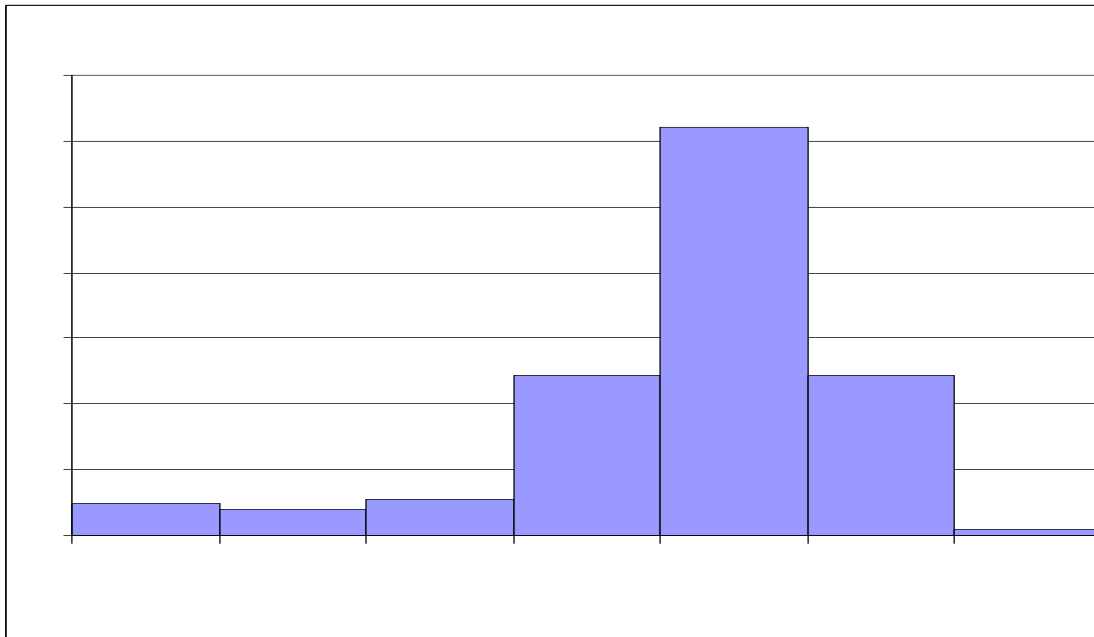


Рисунок 2.12 – Гістограма розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із підходу Синельникове II

Аналіз гістограм на рис. 2.12 та 2.13 показує, що поїзди, які прибувають із різних підходів мають різний ступінь визначеності інформації. Для збільшення точності прогнозу можна до процесу прогнозування залучати поїзних диспетчерів та використовувати їх експертні оцінки ситуації на ділянці.

У даній дисертаційній роботі розроблено програмне забезпечення, що дозволяє складати прогноз прибуття поїздів на основі представленої методики СЕМП. Вікна програми наведено на рисунку 2.14. Представлена програма, на основі даних про проходження поїздами роздільних пунктів, визначає очікувані моменти їх прибуття на наступні станції. „Схожість” поїздів визначається за масою та моментом відправлення на ділянку. Додатковими функціями є обробка статистичних даних по тривалості знаходження поїздів на окремих дільницях та точності прогнозу прибуття поїздів.

Рисунок 2.13 – Гістограма розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із підходу Новомосковськ

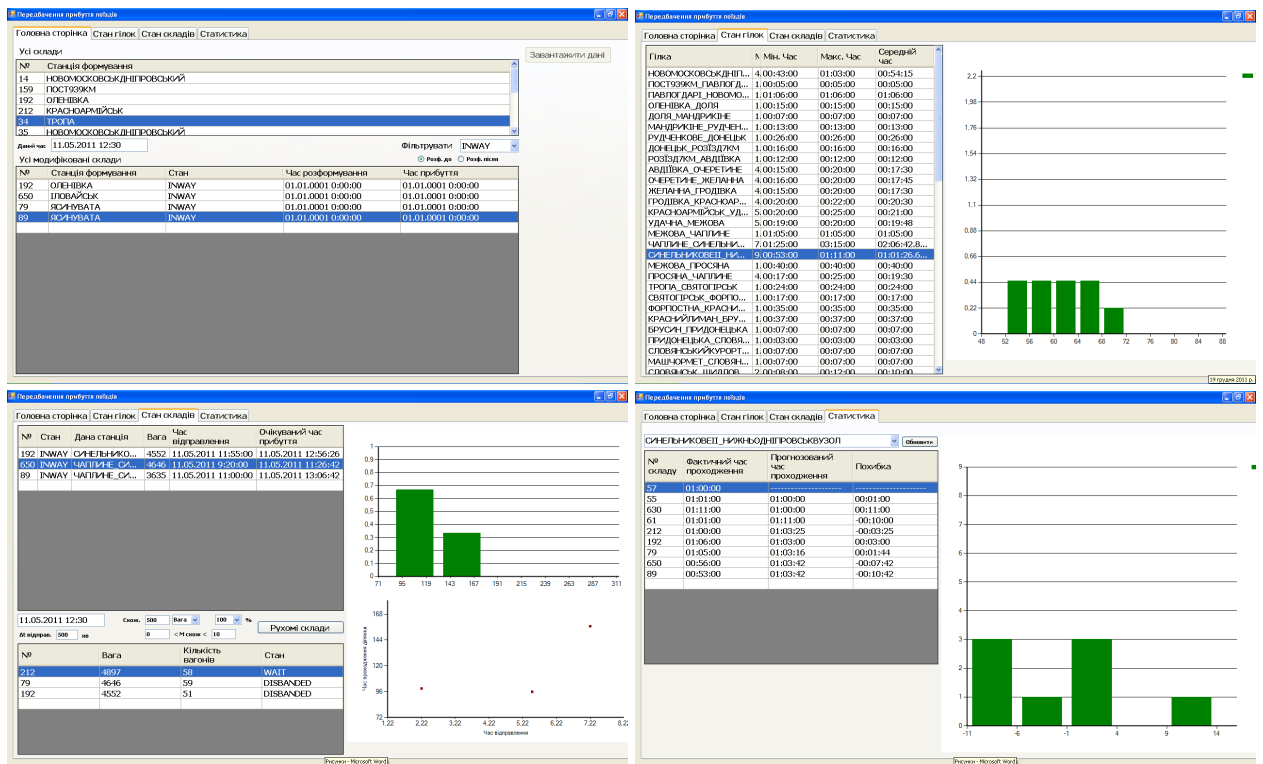


Рисунок 2.14 – Вікна програми складання прогнозу прибуття поїздів

Дослідження процесів поїздоутворення на сортувальній станції за допомогою імітаційного моделювання

Питання доцільності застосування імітаційного моделювання розглядалось протягом багатьох років безліччю дослідників – від Ф. Мартина [155] до В. Келтона [156] та ін. У роботі [157] зазначається, що проаналізувавши ряд праць, можна зробити такі висновки:

- імітаційне моделювання дає змогу досліджувати внутрішні взаємодії у складних системах або підсистемах у межах складної системи, а також експериментувати з ними;
- моделюючи інформаційні, організаційні впливи і впливи зовнішнього середовища можна оцінити ефекти цих впливів на поведінку (функціонування) системи;
- змінюючи вхідні дані під час моделювання і спостерігаючи за вихідними даними, можна виявити, які змінні найбільш важливі та як вони взаємодіють;
- імітаційне моделювання можна використовувати як метод для поліпшення рішень, отриманих під час аналітичного аналізу, а також для перевірки аналітичних рішень;
- імітаційне моделювання можна використовувати для проведення експериментів з новими проектами або стратегіями їх упровадження, щоб заздалегідь спрогнозувати результати;
- імітаційне моделювання можна застосовувати для визначення вимог, яким має відповідати пристрій або система;
- для імітаційного моделювання можна використовувати засоби анімації, які дають змогу спостерігати за операціями, що моделюються;
- сучасне виробництво (в тому числі і на залізничному транспорті) настільки складне, що взаємозв'язки в ньому можна інтерпретувати тільки шляхом проведення імітаційного моделювання.

З метою дослідження закономірностей процесів поїздоутворення в дисертаційній роботі вирішене завдання побудови універсальної імітаційної моделі сортувальної станції. При побудові моделі було використано засіб розроблення програмного забезпечення Visual Basic. В дослідницьких цілях модель була адаптована під технологію роботи [158] (дивись Додаток В) та схему колійного розвитку непарної системи сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол.

Імітаційна модель сортувальної станції складається із моделі фізичних процесів (МФП), інформаційної моделі (ІМ), моделі процесів передачі інформації (МППІ) та моделі системи керування черговістю розпуску составів (МСКЧР). Взаємозв'язки між структурними елементами імітаційної моделі представлені у вигляді рисунку 2.15.

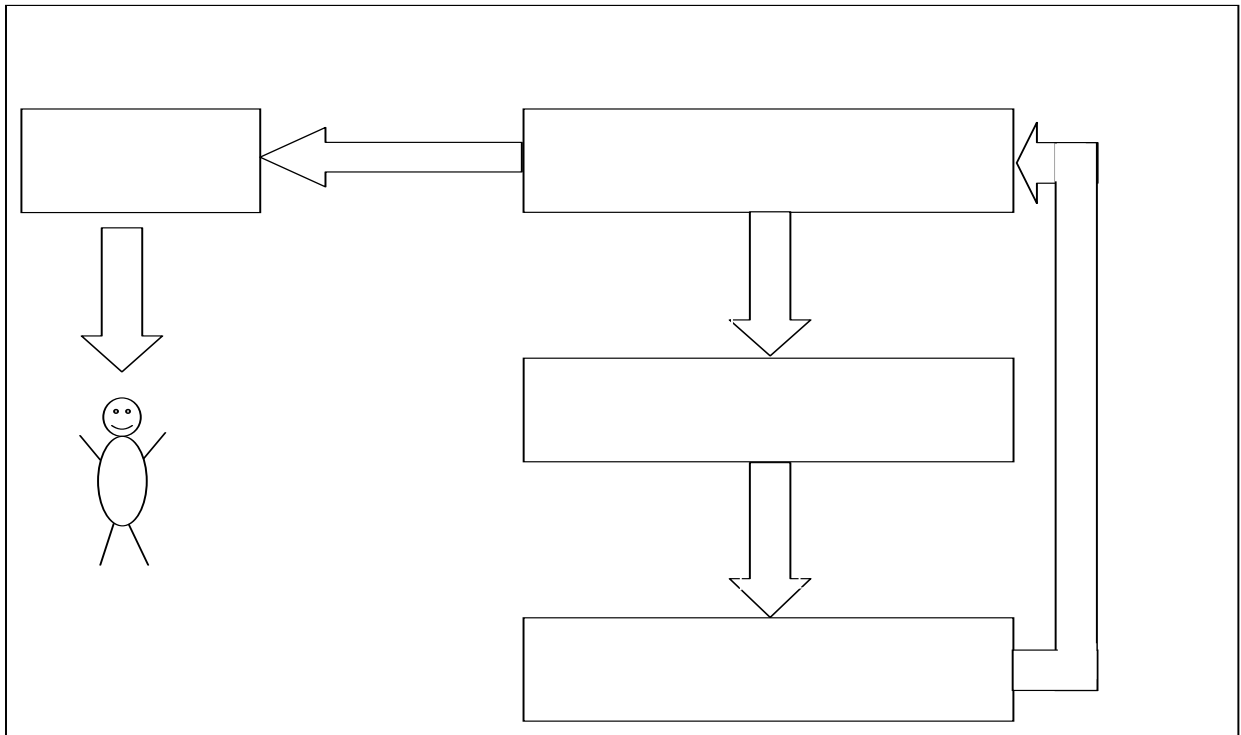


Рисунок 2.15 – Структура імітаційної моделі сортувальної станції

Модель фізичних процесів

Модель відображення фізичних процесів призначена для імітаційного моделювання процесу виконання перевезень на станції. МФП розглядається як багатофазна багатоканальна СМО з пріоритетами. Фазами обслуговування являються операції, які виконуються із поїздами та вагонами згідно з технологічним процесом роботи станції. В якості пристроїв обслуговування виступають виконавці. Виконавцями можуть бути як робітники станції (сигналісти, бригада ПТО), так і технічні пристрої (стрілочні зони).

Об'єктами імітаційної моделі являються вантажні та пасажирські поїзди, поїзні локомотиви, вагони на коліях сортувального парку. Кожен i -й об'єкт моделі задається структурою

- де
- тип об'єкту (в розформування, свого формування, пасажирський);
 - порядковий номер об'єкту даного типу, в сукупності із типом об'єкту утворює його ідентифікатор;
 - поточний стан об'єкту;
 - момент виходу об'єкту із стану ;
 - множина додаткових параметрів об'єкту (ступінь пріоритетності, напрямок прибуття, відправлення і т.д.).

Виконавці МФП задаються структурою

де – тип виконавця;

– порядковий номер виконавця даного типу, разом із типом виконавця утворює його ідентифікатор;

– поточний стан виконавця, розрізняються три можливі стани – вільний, в процесі виконання операції із подальшим звільненням після її завершення та в процесі виконання операції без звільнення після її завершення (наприклад після виконання заїзду гіркового локомотиву під состав, локомотив залишається зайнятим до моменту завершення розпуску составу з гірки);

– момент завершення роботи виконавцем.

Із кожним об'єктом МФП виконується певна послідовність операцій, яка передбачається технологічним процесом роботи сортувальної станції. Тривалість виконання кожної операції моделюється як випадкова величина, закони розподілу та параметри якої залежать від характеристик об'єктів та виконавців робіт.

Технологічні процеси обробки об'єктів формалізовано на основі відповідних скінченних автоматів [159].

Скінченний автомат – абстрактний автомат без вихідного потоку, кількість можливих станів якого скінчене. Результат роботи автомату визначається по його кінцевому стану. Існують різні варіанти визначення кінцевого автомату. В імітаційній моделі кінцевий автомат було задано за допомогою наступних параметрів:

де – кінцева множина станів автомату (наприклад для поїзда в розформування можливими являються стани „на підході до станції”, „в процесі прийому на станцію”, „прийнято на станцію” „виконується закріплення” і т.д.);

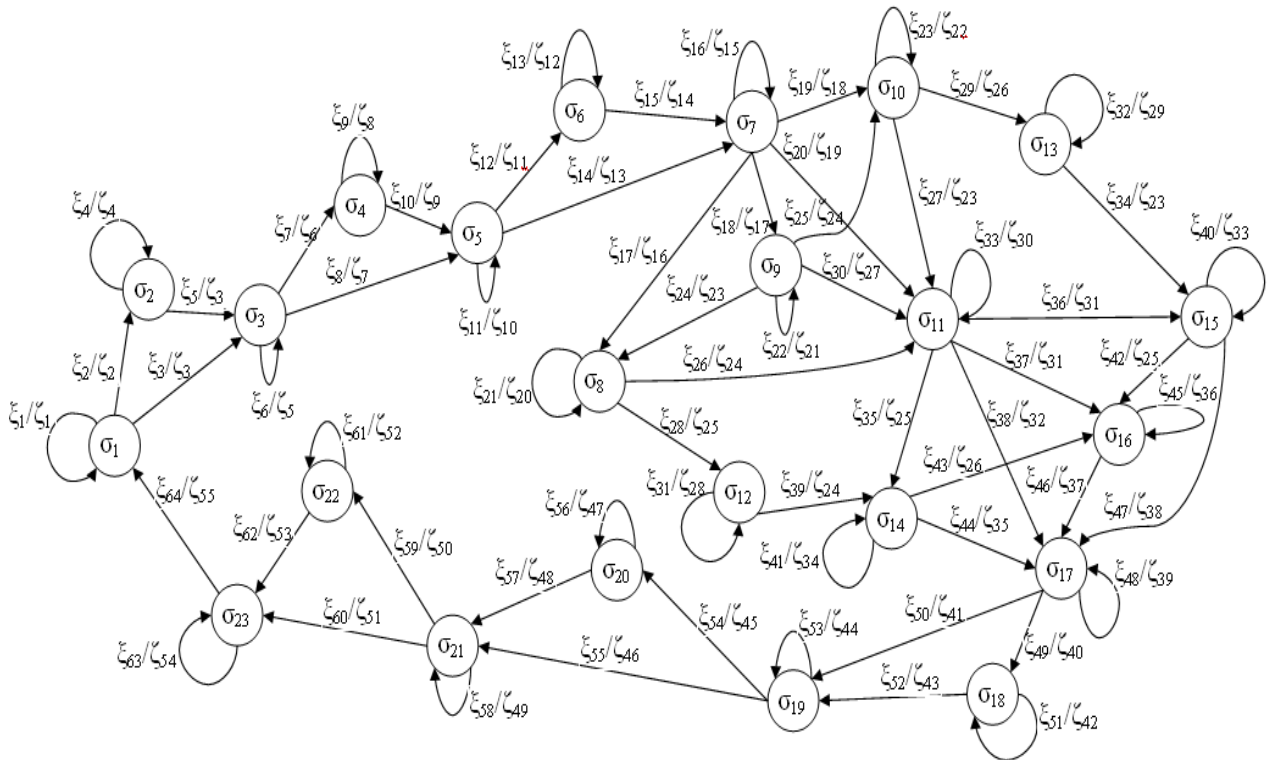
– допустимий вхідний алфавіт (кінцева множина допустимих вхідних символів), із якого формуються рядки, які зчитуються автоматом (наприклад сигнал, що подається при підході поїзда до станції);

– допустимий вихідний алфавіт (наприклад сигнал, що подається при зайнятті стрілочної зони під час прийому поїзда на станцію);

і – характеристичні функції виходів і переходів автомату, умови переходу автомату із одного стану в інший (наприклад, у випадку наявності вільної колії в парку прийому, поїзд із стану „на перегоні в очікуванні прийому” переходить у стан „на перегоні в процесі прийому”):

де σ_v , ξ_v та ζ_v – відповідно, вхідний символ, вихідний символ та стан автомату в момент v ($v=1,2,\dots$).

Характеристичні функції переходів скінченного автомату можуть бути задані у вигляді графів. На рисунку 2.16 та у таблиці 2.3 приведено граф переходів кінцевого автомату „Поїзд у розформування”.



Примітка. Вхідний та вихідний алфавіти наведено у Додатку Г.

Рисунок 2.16 – Граф переходів скінченного автомату „Поїзд у розформування”

На початку моделювання всі об’єкти знаходяться у початковому стані. Із настанням відповідних експлуатаційних подій, відбувається перехід об’єктів від одного стану до іншого. Після виходу із останнього стану, місце обробленого об’єкту займає новий.

Таблиця 2.3. – Можливі стани скінченного автомату „Поїзд у розформування”.

Можливі стани поїзду в розформування			
σ_1	На підході до станції	σ_{13}	ТО виконано, очікування КО
σ_2	Очікування прийому	σ_{14}	КО виконано, виконання ТО
σ_3	Прийом	σ_{15}	ТО виконано, виконання КО
σ_4	Очікування закріплення	σ_{16}	Очікування подачі гір. локомотиву
σ_5	Закріплення	σ_{17}	Подача гіркового локомотиву
σ_6	Очікування прибирання локомотиву	σ_{18}	Очікування прибирання башмаків
σ_7	Прибирання локомотиву	σ_{19}	Прибирання башмаків
σ_8	Очікування ТО, виконання КО	σ_{20}	Очікування насуву на гірку
σ_9	Очікування ТО та КО	σ_{21}	Насув на гірку
σ_{10}	Очікування КО, виконання ТО	σ_{22}	Очікування розпуску
σ_{11}	Виконання ТО та КО	σ_{23}	Розпуск
σ_{12}	КО виконано, очікування ТО		

Вихідними даними для роботи МФП являються графік руху пасажирських поїздів, фактичні моменти підходу вантажних поїздів до станції, отримані із АСК ВП УЗ, а також дані натурних листів поїздів, що прибувають у розформування.

Інформаційна модель роботи станції

Інформаційна модель сортувальної станції призначена для більш зручного спостереження дослідником за процесом моделювання, та являється відображенням моделі фізичних процесів. Інформаційну модель реалізовано у вигляді плану-графіка роботи сортувальної станції. Кожна операція, що виконується із поїздом має певне умовне позначення та відображається графічно. Фрагмент інформаційної моделі представлено на рисунку 2.17.

Модель процесів передачі інформації

Модель процесів передачі інформації являється імітаційною моделлю АСК ВП УЗ. МППІ відображає інформацію про хід перевізного процесу. Потреба в МППІ обґрунтована тим, що під час вирішенні задачі ВЧРС не всі дані про хід перевізного процесу являються доступними. Відомими можуть бути лише ті дані, які містяться в АСК ВП УЗ – повідомлення про проходження вантажними та пасажирськими поїздами станцій залізничної мережі, прогноз прибуття поїздів, відомості про поїзди в обсязі телеграм-натурних листів та дані із динамічної моделі сортувальної станції. Інформація щодо проходження поїздами підходів до станції відома перед початком моделювання та отримана на основі фактичних даних виконаного руху із АСК ВП УЗ. Інформація щодо проходження поїздів станції Нижньодніпровськ-Вузол формується за результатами роботи МФП.



Однією із основних функцій МППІ являється складання прогнозу прибуття поїздів за допомогою СЕМП.

Модель системи керування черговістю розпуску

Модель системи керування черговістю розпуску являє собою математичну модель, за допомогою якої вирішується задача ВЧРС. В роботі розглянуто декілька різновидів МСКЧР, які сформовані на основі різних критеріїв оптимальності та різних принципах порівняння варіантів черговостей розпуску. Детально математичні моделі ВЧРС описано в третьому розділі даного дисертаційного дослідження.

Вихідними даними для роботи МСКЧР являється інформація, яка надходить із МППІ, в тому числі інформація про поточний стан сортувальної станції, прогноз прибуття поїздів на станцію, та нормативна інформація щодо тривалостей виконання елементів технологічного процесу.

Визначення поточного стану сортувальної станції в МППІ здійснюється на основі отримання повідомлень про хід перевізного процесу.

Поточний стан парку прийому визначається на основі повідомлень про момент та колію прибуття поїзда а також про завершення розформування поїзда.

Поточний стан сортувального парку оновлюється за результатами розформування поїздів, а також виставки сформованих составів у парк відправлення. Стан сортувального парку включає в себе перелік вагонів по сортувальним коліям із зазначенням їх маси, умовної довжини, станції призначення.

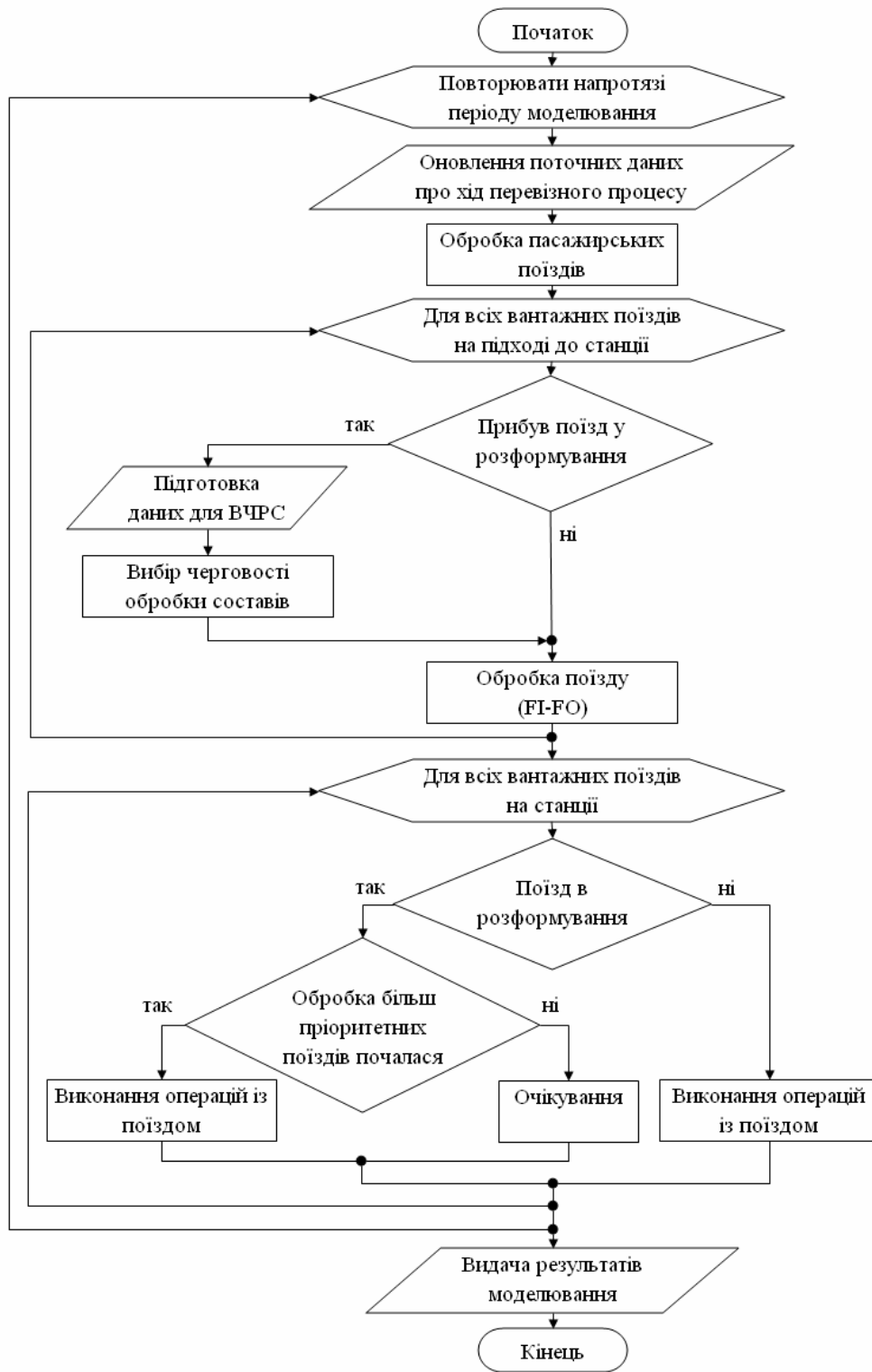
Поточний стан парку відправлення формується на основі повідомлень про моменти перестановки сформованих составів із сортувального парку а також повідомлень про відправлення поїздів зі станції.

Укрупнений алгоритм роботи імітаційної моделі наведено на рисунку 2.18.

Розроблена імітаційна модель сортувальної станції була використана при дослідженнях процесів поїздоутворення а також з метою оцінки ефективності запропонованих методик планування поїздоутворення на основі вибору черговості розпуску составів.

Використання методів зниження дисперсії

Виконання імітаційних експериментів з моделями складних виробничих систем потребує багато часу і ресурсів комп'ютера, тому дослідник повинен використовувати різні засоби і можливості для підвищення ефективності моделювання. Ефективність моделювання передбачає не тільки економне програмування моделі і скорочення часу моделювання, а й зменшення витрат на



статистичний аналіз. Критерієм ефективності статистичного аналізу може слугувати дисперсія оцінок вихідних даних моделі.

Методи зниження дисперсії (МЗД) було розроблено ще на початкових етапах використання комп'ютерних технологій, коли вони застосовувались під час моделювання систем методом Монте-Карло. Виділяють дві групи МЗД – методи, що використовуються після збирання вибіркового даних, і методи, що застосовуються безпосередньо під час моделювання і впливають певним чином на саму вибірку процедуру.

Статистична надійність оцінювання відгуку модельованих систем залежить від обсягу вибірки, який можна визначити на основі оцінки стандартного відхилення. Припустимо, що середнє значення відгуку визначається за результатами моделювання, під час якого отримано незалежних спостережень за середніми значеннями .

Відомо, що вибіркоче стандартне відхилення величини для незалежних спостережень можна визначити як

де – стандартне відхилення одиничних спостережень ,
 Мірою надійності оцінки є довірчий інтервал

де – деяка константа.

Надійність оцінки можна збільшити (тобто зменшити довірчий інтервал і вплив випадкових відхилень), якщо аналізувати більшу за обсягом вибірку. Використання МЗД дає змогу при заданому обсязі вибірки збільшити точність оцінювання відгуку, або при заданій точності скоротити обсяг вибірки. У результаті матиме місце оцінка з тим самим математичним сподіванням, але з меншою дисперсією. Число спостережень , необхідне для досягнення заданої надійності, запишемо як функцію дисперсії

Отже, під час застосування МЗД для фіксованого обсягу вибірки доцільно визначати зменшення стандартного відхилення, яке пропорційне довжині до вірчого інтервалу. Якщо ж припустити, що бажану надійність оцінки задано заздалегідь, то слід використовувати дисперсію, тому що її зменшення пропорційне числу спостережень, необхідних для заданої надійності. Застосовуючи МЗД, можна зменшити дисперсію шуканих оцінок, але немає сенсу домагатися зменшення дисперсії, якщо необхідні для цього зусилля надто великі.

Організація проведення експериментів з імітаційним моделями передбачає застосування МЗД, які вбудовуються у програму моделювання і дають змогу керувати процесом збирання вибіркових значень для відгуків. До таких методів належать методи доповнювальних величин, загальних випадкових чисел та російської рулетки [157]. У дисертаційні роботі з метою зменшення дисперсій оцінок ефективності процесу поїздоутворення було використано метод загальних випадкових чисел.

Метод загальних випадкових чисел

На практиці імітаційне моделювання найчастіше використовується для порівняння характеристик кількох систем або варіантів однієї системи. Зрозуміло, що у процесі моделювання потрібно порівнювати моделі систем, які

функціонують в однакових умовах. Тому моделювання бажано проводити за однакових початкових умов для моделі і однакових вхідних змінних, а також якщо є можливість використовувати одні і ті ж послідовності випадкових чисел. Застосування спільних випадкових чисел зумовлює кореляційний зв'язок між відгуками. Відомо, що дисперсія різниці між оцінками відгуку та відповідно першої та другої систем обчислюється за формулою

Отже дисперсія оцінки зменшиться, якщо між послідовностями випадкових чисел існує позитивний кореляційний зв'язок. Це можливо, якщо реакція обох систем на вхідні змінні є однаковою. Наприклад, дві СМО відрізняються правилами організації черг, часом обслуговування, але у разі збільшення інтенсивності надходження вимог і тривалості часу обслуговування в обох системах збільшується час перебування вимог у черзі.

У дисертаційній роботі описаний вище МЗД було застосовано при оцінці ефективності процесів поїздоутворення для моделювання составів прибуваючих поїздів та тривалостей виконання технологічних операцій із поїздами. Тобто, перед початком імітаційного моделювання виконувалась підготовка файлів із вихідними даними, сформованими з використанням випадкових чисел та відповідних законів розподілу. У цих файлах містились відомості про випадкові состави поїздів та тривалості виконання різних операцій із поїздами. Далі ці дані використовувались декілька разів при різних варіантах організації роботи станції (наприклад, при різній глибині планування черговості розпуску составів).

Перевірка адекватності імітаційної моделі сортувальної станції

Перевірку адекватності розробленої імітаційної моделі було виконано за допомогою W-критерію Уїлкоксона [160]. W-критерій Уїлкоксона – це непараметричний аналог парного критерію Ст'юдента (t-критерій для залежних вибірок). Цей непараметричний критерій засновано на рангах. Принцип критерію наступний. Дві вибірки досліджуваного параметру впорядковуються за абсолютною величиною. Далі обчислюється різниця між відповідними значеннями вибірок. Отриманий залишковий ряд впорядковують по величині зростання (без урахування знаку). Далі кожному значенню залишкового ряду привласнюють ранг, перше значення має ранг один, далі два, три і т.д. Однаковим величинам привласнюють один ранг. Далі окремо знаходять суму рангів для додатних залишків та для від'ємних. Менша із отриманих сум вважається значенням W-критерію Уїлкоксона. Потім для обраного рівня значимості та величини вибірок визначається критичне значення критерію. Гіпотеза про однорідність двох вибірок приймається якщо критичне значення виявляється меншим за розраховане.

Оскільки у дисертаційній роботі досліджуються процеси поїздоутворення на сортувальній станції, то першочергове значення має точність відтворення імітаційною моделлю саме цих процесів. Тому перевірку адекватності

імітаційної моделі було виконано за показником тривалості простою транзитного вагону із переробкою. Розрахунки виконувались окремо для підсистем розформування та формування. На рисунку 2.19 наведено гістограми розподілу тривалості знаходження поїздів у парку прийому згідно зі статистичними даними та за результатами моделювання.

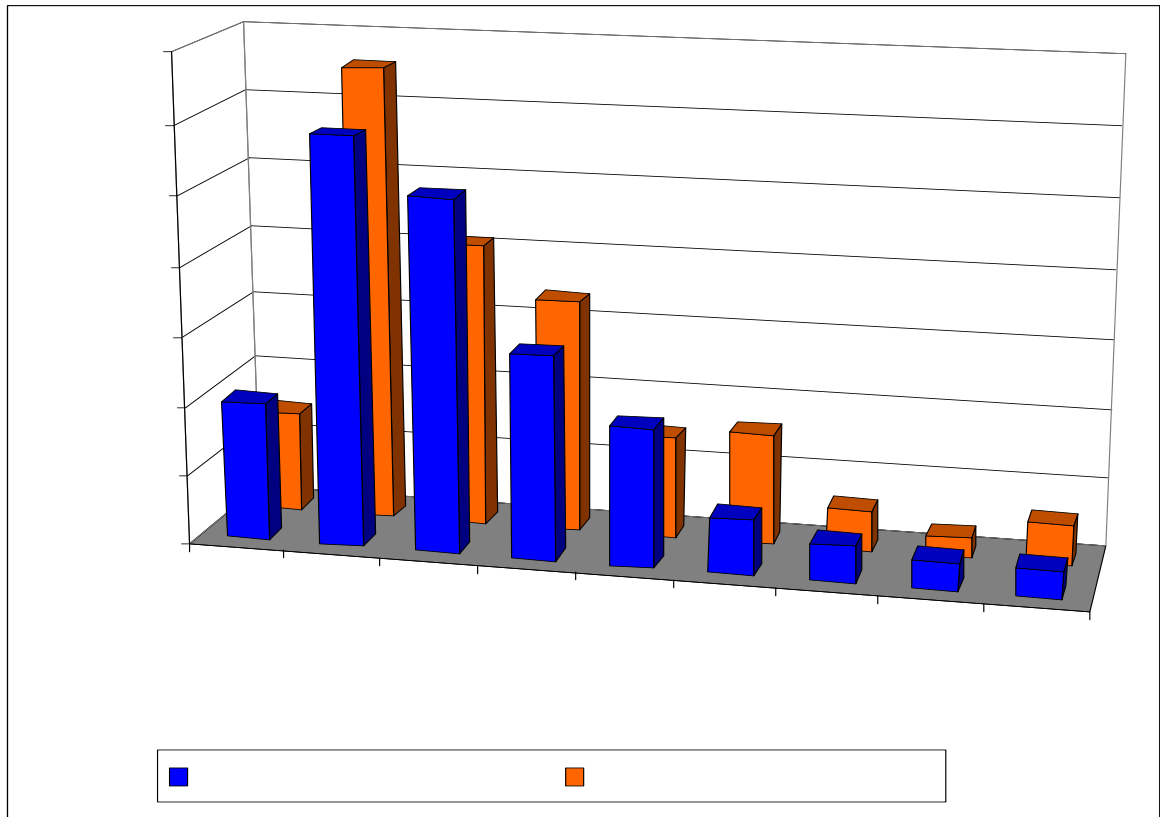


Рисунок 2.19 – Гістограма розподілу тривалості знаходження поїздів у парку прийому станції Нижньодніпровськ-Вузол

Перевірка адекватності (див. Додаток Д) показала, що вибірки за показником тривалості простою вагонопотоків із переробкою відрізняються неістотно, що свідчить про адекватність розробленої імітаційної моделі.

Дослідження простою составів із замикаючими групами в парку прийому

Дослідженнями [161] було встановлено, що тривалість операцій в парку прийому та на гірці з поїздом, який не має замикаючих груп, не впливає на величину простою вагонів та тривалість накопичення, якщо не буде затримано розпуск поїздів із замикаючими групами. У роботі [161] було досліджено вплив затримок поїздів із замикаючими групами в парку прийому на величину простою вагонів на сортувальній станції.

На рисунку 2.20 показано поїзди: n -й – без замикаючої групи на потрібне до відправлення призначення та $(n+k)$ -й – із замикаючою групою на це саме призначення.

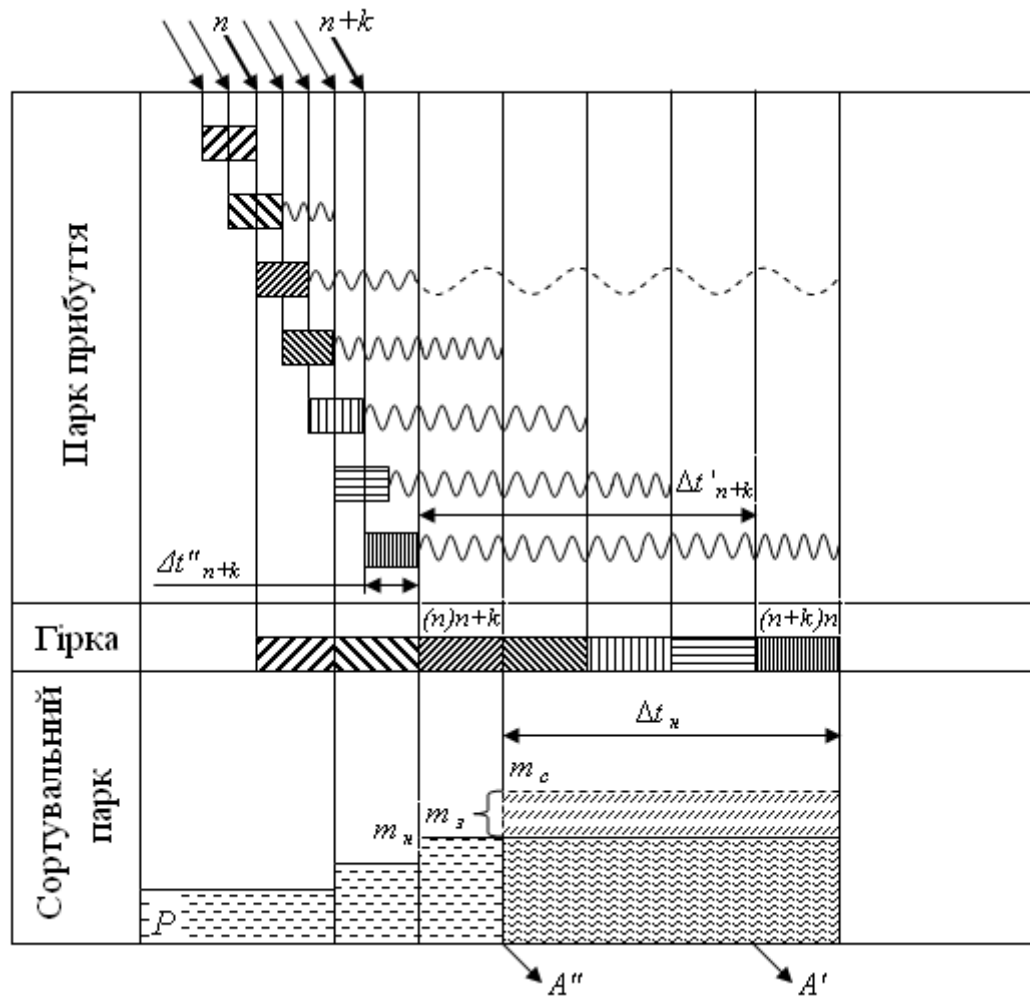


Рисунок 2.20 – Зміна черговості розформування поїзда із замикаючою групою

Якщо $(n+k)$ -й поїзд розформувати в хронологічному порядку прибуття (так звана стратегія обробки FI-FO), то остаточне накопичення складу відбулося б у момент A' (варіант I), а якщо $(n+k)$ -й поїзд розформувати замість n -го поїзда, то накопичення складу призначенням P завершиться у момент A'' (варіант II). Сума вагоно-годин в парку прийому від такої зміни залишиться однаковою (при рівних складах n -го та $(n+k)$ -го поїздів). Але в процесі накопичення складу призначенням P отримуємо економію вагоно-годин від скорочення простою накопиченої на колії сортувального парку групи вагонів () та від скорочення простою в парку прийому замикаючої групи (), тобто:

, ваг-ГОД

де – час, на який скорочено накопичення складу призначенням P , год

Із рис. 2.20. видно, що

;

де – простій (n+k)-го поїзда в парку прийому в очікуванні розформування при організації роботи по варіанту I, год;

– состав поїздів, ваг.

Тоді для поїзда із однією замикаючою групою економія вагоно-годин від скорочення простою накопиченої на сортувальній колії групи вагонів:

, ваг-год,

а з г замикаючими групами:

, ваг-год. (2.7)

При організації роботи по варіанту I втрата вагоно-годин визначається також по формулі (2.7). На практиці виникає необхідність оцінити вартість втрат вагоно-годин простою поїздів із замикаючими групами в очікуванні розформування в парку прийому.

Втрати вагоно-годин для составів, що не мають замикаючих груп, як зазначалося вище, виникати не будуть, так як простій в парку прибуття являється по суті простоем під накопиченням.

Вартість втрат вагоно-годин простою составів із замикаючими групами в очікуванні розформування в парку прибуття визначається за формулою:

, грн (2.8)

де С – вартість вагоно-години, грн.;

– втрати вагоно-годин при розформуванні поїздів відповідно із однією, двома та г замикаючими групами в хронологічному порядку їх прибуття.

Підставивши значення із (2.7) в (2.8) отримаємо:

За допомогою імітаційної моделі сортувальної станції було виконано дослідження залежності втрат вагоно-годин, викликаних непродуктивними простоями поїздів із замикаючими групами, від розмірів руху. Результати досліджень представлено на рисунку 2.21.

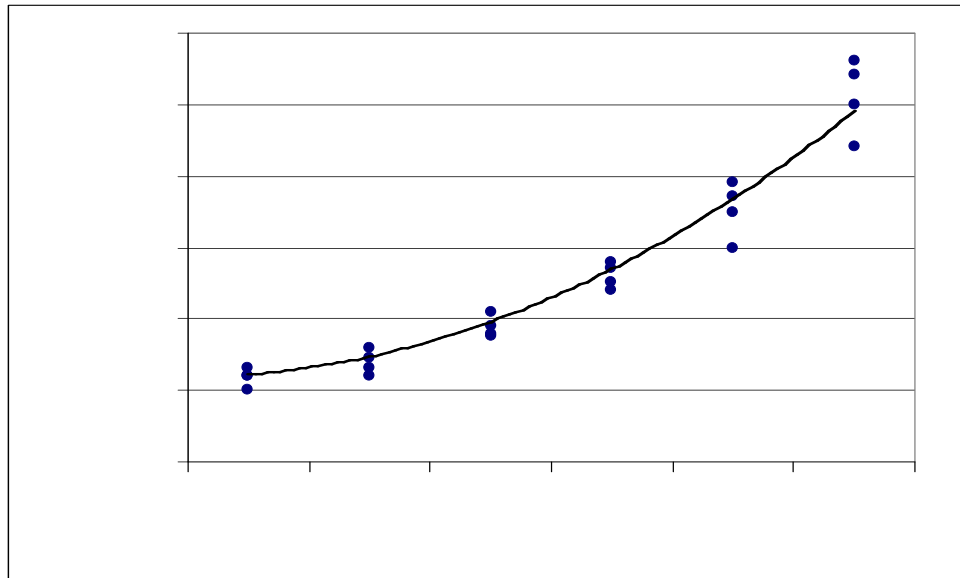


Рисунок 2.21 – Залежність простою вагонів із замикаючими групами в парку прийому від розмірів руху

Вираз (2.7) відображає скорочення простою вагонів у вагоно-годинах без їх диференціації за експлуатаційними ознаками. Насправді кожен вагон має різну вартість простою в залежності від терміну доставки вантажу, роду рухомого складу, вартості вантажу та форми власності вагону.

Дослідження зв'язків параметрів поїздопотоків та черговості розпуску составів

Відомі роботи, присвячені вирішенню задачі ВЧРС, розглядають сортувальну станцію ізольовано від загальної залізничної мережі. Це являється певним недоліком, оскільки станції пов'язані між собою. Вихідний потік поїздів однієї станції являється вхідним потоком для іншої. Покращення показників роботи однієї станції може відбуватись ціною погіршення показників інших станцій та в цілому залізничної мережі. Тому черговість розпуску составів повинна враховувати можливий вплив на умови роботи наступних технічних станцій. При інших рівних умовах кращою слід вважати черговість розпуску, що забезпечує більш сприятливі умови роботи цих станцій. Цього можна досягти шляхом розрахунку оптимального плану відправлення поїздів та покращення структури поїздів свого формування. Розрахунок оптимального, з точки зору роботи залізничного полігону, плану відправлення поїздів являється окремою складною задачею оптимізації та в даній роботі не розглядається. Покращення структури поїздів свого формування передбачає збільшення середньої довжини відцепів (зменшення їх середньої кількості) в цих поїздах.

Наслідками значного подрібнення відцепів стають зменшення швидкості розпуску составів, збільшення тривалості осаджування вагонів у сортувальному парку та збільшення кількості помилок при сортуванні. При сортуванні вагонів допустимою швидкістю зіткнення відцепів, яка не створює небезпеки пошкодження вагонів та вантажів, є швидкість 5 км/год . Згідно з

дослідженнями [149], кореляційне відношення η між кількістю вагонів у відчепі та частотою зіткнень відчепів на коліях сортувального парку із швидкістю більш як 5 км/год становить 0,46. Кореляційне відношення η між кількістю вагонів у відчепі та середньою кількістю операцій осаджування, що приходить на один перероблений вагон, становить 0,45.

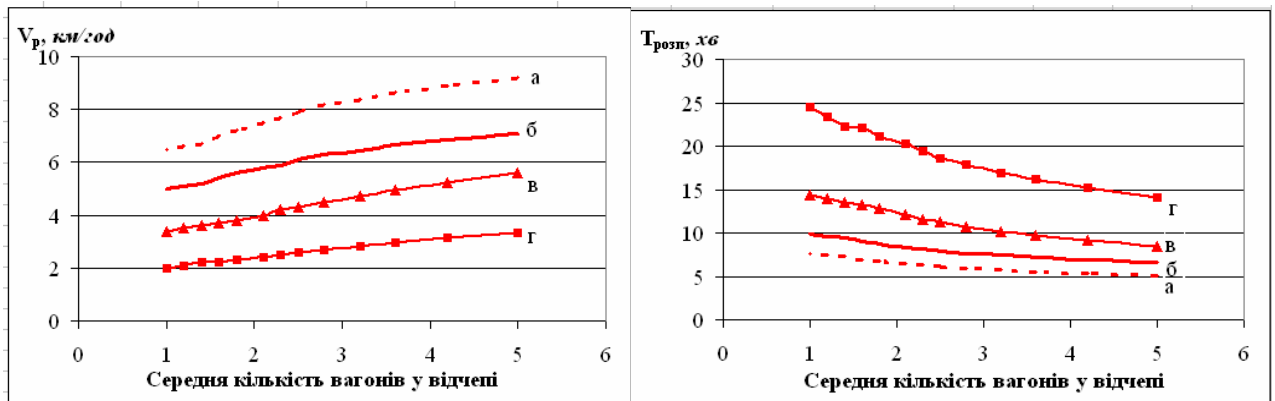
Згідно з [162], швидкість розпуску вагонів на сортувальних гірках залежить від кількості відчепів у составі поїзда. Графік залежності швидкості розпуску від кількості вагонів у відчепі при різних варіантах технічного оснащення сортувальної гірки наведено на рисунку 2.22.

Тривалість розпуску вагонів визначається за формулою [162]:

$$T_{розп} = \frac{L \cdot n}{V_p} \quad (2.9)$$

- де
- довжина вагону, м;
 - кількість вагонів у составі поїзда;
 - швидкість розпуску, км/год;
 - кількість відчепів у составі поїзда.

Як видно із формули (2.9), тривалість розпуску безпосередньо залежить від кількості вагонів у відчепі. Графік даної залежності наведено на рисунку 2.23.



На основі даних розмічених натурних листів поїздів, що розформувувались в непарній системі станції Нижньодніпровськ-Вузол було виконано статистичну обробку випадкової величини кількості вагонів у відчепі. На рисунку 2.24 приведено результати дослідження. Як видно із

діаграми, майже половина відчепів складаються із одного вагона. Це свідчить про доцільність розробки заходів, спрямованих на укрупнення відчепів на станціях формування.

На залізницях Німеччини проблема значного подрібнення відчепів вирішується шляхом накопичення составів окремих призначень на декількох коліях [81]. Таким чином формуються найбільш довгі відчепи, а маневрова робота на наступних станціях мінімізується. Виділення для кожного призначення декількох колій являється нераціональним через великі капітальні витрати, тому на сортувальних станціях України друга сортувальна колія виділяється тільки для найбільших призначень, потужністю більше 200 вагонів за добу. Решта призначень має некерований процес утворення відчепів під час накопичення. Середня величина відчепу у составі залежить не в останню чергу від порядку надходження вагонів до колій сортувального парку. На порядок надходження вагонів певною мірою можливо впливати шляхом перестановки составів в черзі на розформування. Завдяки цьому можна створювати бажану структуру поїздів, що відправляються зі станції без додаткових витрат на сортування під час завершення формування. У роботі поставлено завдання дослідити вплив черговості розпуску составів на процес утворення нових відчепів (відчепів, що будуть сортуватись на наступних технічних станціях).



Рисунок 2.24 – Розподіл кількості вагонів у відчепях на станції Нижньодніпровськ-Вузол

У дисертаційній роботі виконано дослідження впливу черговості розпуску составів на середню кількість вагонів у відчепі составу свого формування [4, 163-165]. Кожен варіант обробки составів будемо

характеризувати обраною послідовністю розформування .

Якщо поставити задачу досягти мінімально можливої кількості відчепів у складах, що формуються на станції, то критерій задачі ВЧРС можна записати у вигляді виразу:

(2.10)

- де – кількість відчепів у i -му сформованому складі;
- кількість сформованих складів за період моделювання;
- послідовність розформування складів.

Оскільки вагони, що відправляються в поїздах свого формування, в подальшому можуть перероблятися не на одній а на декількох технічних станціях, то під одним відчепом будемо розуміти не „фактичний” відчеп на наступній технічній станції, а сукупність вагонів, що розміщені послідовно та мають спільну станцію призначення. Завдяки цьому відбувається покращення умов роботи всіх наступних технічних станцій на шляху прямування вагонів.

З метою дослідження впливу черговості розпуску на середню величину відчепу в складі поїзда свого формування було розроблено спрощену імітаційну модель підсистеми розформування станції Нижньодніпровськ-Вузол (непарної системи). В якості вихідних даних для моделювання було використано телеграми-натурні листи (ТГНЛ) розформованих поїздів.

При дослідженні використовувався метод комбінаторного пошуку раціональної черговості розформування. Варіанти черговості розпуску можна представити у вигляді дерева варіантів, наведеного на рисунку 2.25. Кількість складів, що включається до дерева варіантів називатимемо глибиною планування. Так, при глибині планування в три склади, маємо загальну кількість варіантів розформування рівною $3!=6$. Глибина планування в один склад відповідає черговості розпуску у порядку прибуття поїздів FI-FO.

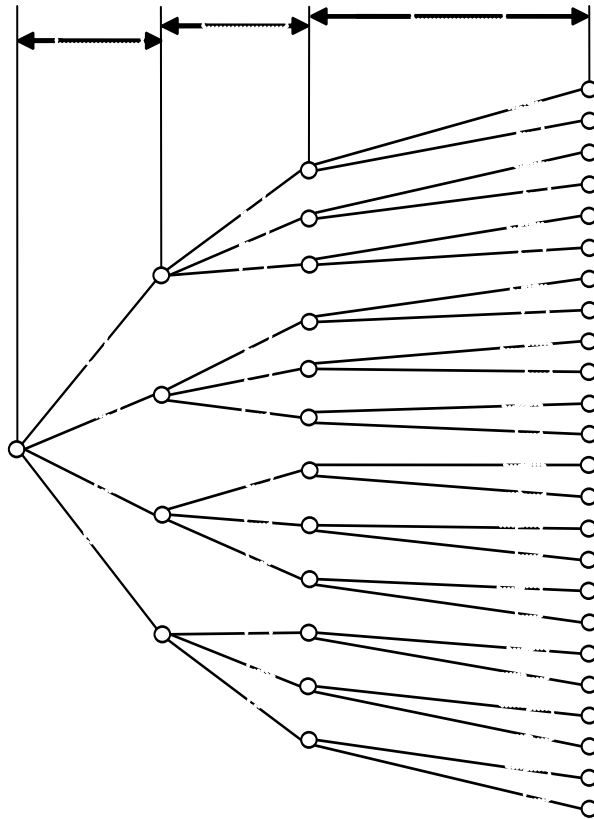
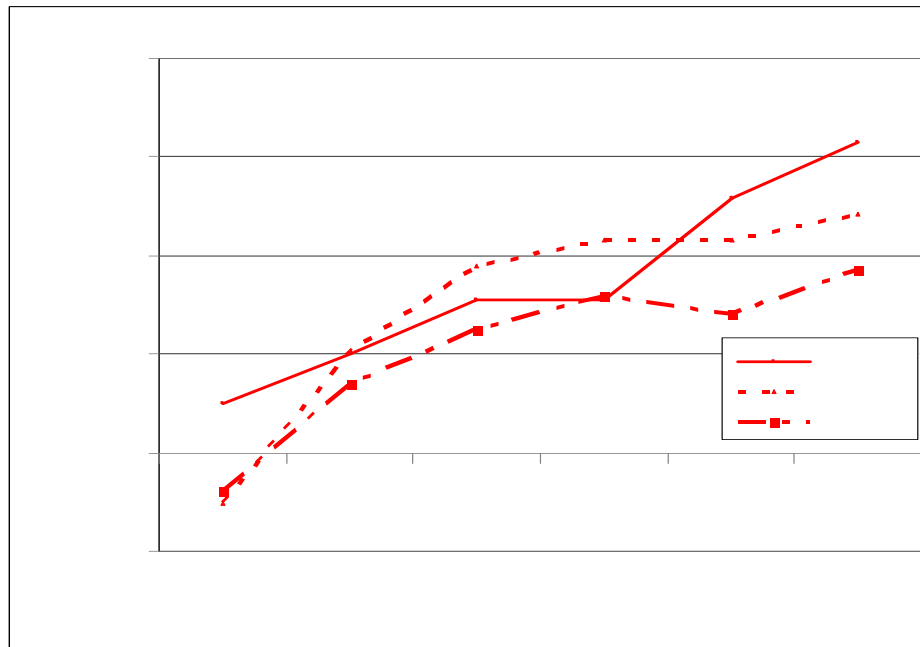


Рисунок 2.25 – Граф можливих варіантів черговості розпуску составів

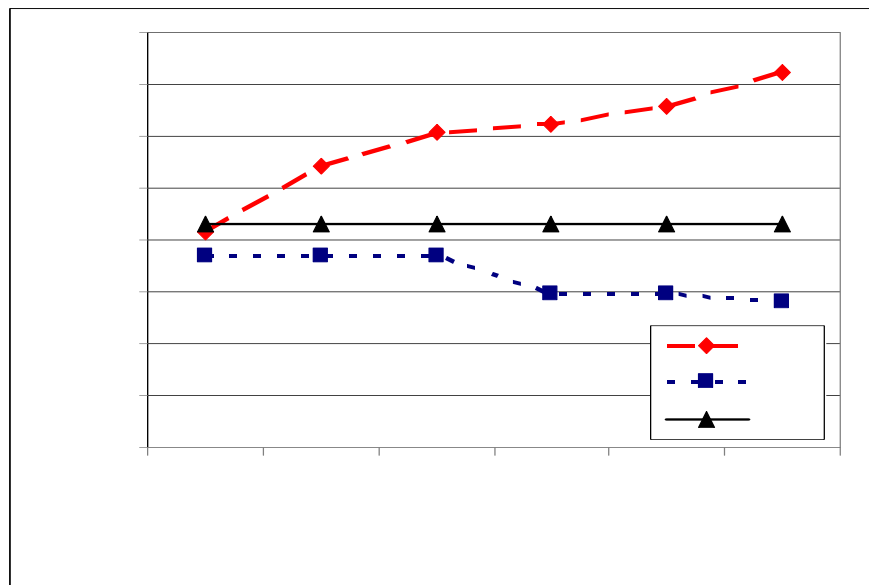
Дослідження виконувалось за період рівний 36 годинам (на протязі трьох змін) для різної глибини планування від 2 до 7 составів. Перерахунок проводився після розформування кожного наступного составу. Результати моделювання наведено на рисунку 26.



2.

Як видно із графіка на рис. 2.26, за рахунок управління черговістю розпуску середню величину відчепу у складах, що накопичуються, можна збільшити на величину до 2-4% при глибині планування 3-4 склади, та до 4-6,5% при глибині планування 5-7 складів. При збільшенні кількості складів, що включаються до дерева варіантів черговості розпуску спостерігається асимптотичний ріст середньої довжини відчепу.

На практиці при вирішенні задачі ВЧРС, звичайно користуються критерієм, що враховує простій вагонів та локомотивів лише на станції, що виконує розпуск даних складів. При цьому черговість розформування визначається без урахування можливих наслідків з точки зору подрібнення складів свого формування на велику кількість відчепів. Черговість розформування, що забезпечує прискорення процесу накопичення вагонів у сортувальному парку, може погіршувати структуру поїздів, що відправляються зі станції. У роботі виконано дослідження, за результатами якого встановлено рівень максимально шкідливого впливу, що може чинити послідовність розпуску на структуру поїздів свого формування. Результати дослідження наведено на рисунку 2.27.



Моделювання виконувалось три рази для одних і тих же умов, але при різних критеріях ВЧРС. На рисунку наведено три криві, що відповідають послідовностям розпуску, які забезпечують відповідно максимальну, мінімальну довжину відчепів, та обробку в порядку прибуття поїздів FI-FO. Як бачимо, при чотирьох складах, що включаються в дерево варіантів, середня величина відчепу в сформованих поїздах при різних черговостях розпуску коливається в межах від 5,35 до 5,6 вагонів, а різниця між показниками становить 0,25 вагона. Зміна порядку розформування складів може призвести як до збільшення, так і до зменшення довжини відчепів.

Отже, при виборі раціональної черговості розпуску складів слід враховувати вплив черговості розпуску на середню кількість вагонів у відчепі, тобто на структуру поїздів свого формування.

В сучасних умовах, окрім врахування впливу на структуру складів свого формування є необхідність враховувати той фактор, що в залежності від форми власності та терміну доставки, всі вагони мають різну вартість простою. Тому при накопиченні складу на певне призначення можуть виникати ситуації, коли доцільно пропустити певну групу „термінових” вагонів попереду решти. Досягти цього можна за рахунок перестановки вагонів при завершенні формування, але це потребує витрат палива та часу. В деяких випадках вирішувати указану задачу можливо і раціонально шляхом зміни черговості розпуску складів.

Постановка задачі вибору черговості розпуску составів для транспортної мережі

Задача ВЧРС для транспортної мережі формулюється наступним чином.

Дано вхідний потік поїздів , . Оперативна вихідна інформація, що використовується при розрахунках:

- телеграми-натурні листи на поїзди, що прибувають у розформування;
- прогноз прибуття поїздів на станцію, який для кожного поїзда задано у вигляді певного стохастичного розподілу , , де – можливий момент прибуття, – ймовірність прибуття поїзда в момент . Множина формується на основі статистичних даних щодо точності прогнозу прибуття поїздів, сформованого за допомогою СЕМП. Для різних поїздів, в залежності від умов їх руху, множини будуть різними. Це означає, що різні поїзди мають різну ступінь визначеності інформації;
- поточний стан парку прийому, який включає в себе моменти прибуття поїздів у парк прийому , , (– кількість колій в парку прийому), та номери зайнятих колій;
- поточний стан сортувального парку, який включає в себе дані про вагони на кожній із колій сортувального парку в об'ємі, що міститься в телеграмі-натурному листі поїзда;
- поточний стан підсистеми формування разом із парком відправлення, який включає в себе відомості про перестановку сформованих составів із сортувального парку в парк відправлення , (– кількість колій в парку відправлення).

Крім переліченої оперативної інформації необхідно володіти також даними, щодо тривалості виконання усіх операцій із поїздами в парках прийому та відправлення, нормативи часу на операції гіркового технологічного процесу та інша інформація, що може бути потрібна для моделювання роботи станції.

Необхідно обрати таку послідовність розпуску, яка буде як мінімізувати загальні експлуатаційні витрати на станції розформування поїздів, так і створювати сприятливі умови роботи наступних технічних станцій залізничної мережі. До загальних експлуатаційних витрат будемо відносити ті витрати, що можуть відрізнитись по варіантам черговості розпуску – витрати, що пов'язані із простоем вагонів та локомотивів на станції, простоем поїздів по неприйому на станцію та додатковою маневровою роботою, яка виникає при переповненні сортувальних колій. Експлуатаційні витрати станції включають багато інших складових, але оцінити вплив черговості розпуску на ці складові представляється складним завданням.

Виконаний аналіз літератури показав, що довжина відчепу являється важливим показником, від якого в значній мірі залежать умови роботи технічних станцій. Відповідно до результатів досліджень виконаних у даному розділі та опублікованих у роботах [4, 163-165], черговість розпуску составів істотно впливає на процес утворення відчепів у складах свого формування. Тому умови роботи наступних технічних станцій передбачається оцінювати за допомогою такого показника як середня довжина відчепу у складі поїзда свого формування.

Висновки по 2 розділу

З метою вибору раціональної технології прогнозування руху поїздів виконано дослідження зв'язків тривалості руху поїздів із масою составів та періодом доби. За допомогою методів RS-аналізу виявлено, що часові ряди тривалості руху поїздів по ділянкам являються по своїй суті антиперсистентними. В таких умовах побудова трендів для виконання прогнозування руху поїздів нераціональна. Доцільним являється складання прогнозу на основі ситуаційно-евристичного методу. Виконано перевірку адекватності представленої технології прогнозування, та визначено очікувану точність прогнозу.

З метою аналізу процесів поїздоутворення розроблено імітаційну модель сортувальної станції. При розробці моделі використано елементи теорії скінченних автоматів.

З метою виявлення резервів підвищення ефективності управління черговістю розпуску составів виконано:

- дослідження залежності втрат вагоно-годин, викликаних непродуктивними простоями поїздів із замикаючими групами, від розмірів руху;
- дослідження впливу черговості розпуску составів на середню кількість вагонів у відчепі складу свого формування.

За результатами виконаних досліджень виявлено, що черговість розпуску составів істотно впливає на процес формування нових відчепів на коліях сортувального парку. Аналіз наукових робіт показав, що середня кількість відчепів у складі поїзда впливає на швидкість розпуску, витрати пов'язані із осаджуванням вагонів та помилками при сортуванні.

Виконано в загальному вигляді постановку задачі вибору черговості розпуску составів як елемента управління транспортною системою. Сформульовано новий критерій ефективності черговості розпуску, який передбачає як мінімізацію експлуатаційних витрат сортувальної станції так і створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій залізничної мережі.

РОЗДІЛ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ВИБОРУ ЧЕРГОВОСТІ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ

Особливості моделі вибору черговості розпуску составів для транспортної мережі

Виконаний огляд літератури та дослідження процесів поїздоутворення і планування поїздоутворення показують, що вибір черговості розпуску составів являється складною оптимізаційною задачею. Від черговості розпуску составів залежать як експлуатаційні витрати сортувальної станції, на якій здійснюється розформування, так і умови роботи наступних технічних станцій, на яких виконується подальша переробка вагонопотоків. Задача ВЧРС вирішується в умовах відсутності точної інформації про підхід поїздів до станції. В цій ситуації ефективність використання детермінованих моделей ВЧРС значно зменшується. Це викликає необхідність розробки ефективних алгоритмів визначення черговості розпуску составів, які дозволяють обирати обґрунтовані рішення на основі врахування стохастичних характеристик наявної на момент розрахунку інформації. Керування черговістю розпуску має виконуватись за принципом покращення показників роботи всіх технічних станцій транспортної мережі. Досягнути цього можна за допомогою використання критерію, що враховує вплив черговості розпуску составів на процес утворення нових відцепів у складах свого формування.

Задача ВЧРС являється дискретною комбінаторною задачею і в загальному випадку вирішується шляхом перебору (повного або обмеженої частини варіантів). У таких задачах необхідно знайти на деякій множині послідовність елементів (в даному випадку – послідовність розпуску составів), що задовольняє сукупності умов. Методи і алгоритми вирішення пошукових задач різноманітні, вони включають також і методи евристичного пошуку систем штучного інтелекту. Ефективним алгоритмом вирішення пошукових задач являється „А* алгоритм”. В ньому пошукові ситуації оцінюються за допомогою суми двох функцій – реальної оцінки стану та евристичної функції, що оцінює деяку евристичну величину, пов’язану із поточним станом. Відмітимо, що у термінах одного етапу „А* алгоритму” можна представити і двоетапну задачу стохастичного програмування, де евристична складова оціночної функції представлена імовірнісними оцінками очікуваних втрат при різних варіантах станів (рішень). Двоетапна модель як фрагмент декомпозиції вихідної багатопараметричної задачі ВЧРС використовується у дисертаційній роботі при побудові алгоритмів вирішення задачі оптимального планування. Використання евристичних методів пошукової оптимізації цілком виправдано, оскільки розглядувана задача являється NP-повною та не має більш простих алгоритмів вирішення.

У дисертаційній роботі використано підхід до побудови наближених рішень на основі послідовної декомпозиції дискретних оптимізаційних задач управління складними системами, котрі являються багатопараметричними NP-повними переборними моделями пошуку у просторі станів [6]. Декомпозиція загальної моделі вихідної задачі ВЧРС виконується на основі упорядкованої послідовності двоетапних. При цьому вводиться додаткове евристичне обмеження умов перебору варіантів у формі деякого ідеального стану (ідеальної послідовності розпуску составів), або умови, які також дозволяють обмежити кількість варіантів, які необхідно оцінити та порівняти. У загальному плані використаний метод являється деякою реалізацією „А* алгоритму”, орієнтованого на вирішення NP-повних комбінаторних задач оптимального планування процесів експлуатації транспортних систем.

Удосконалення методів вибору черговості розпуску з використанням двоетапної задачі стохастичного програмування

Кожен варіант обробки составів будемо характеризувати обраною черговістю розпуску

(3.1)

де k – номер составу, що розформовується, відповідно, першим, другим, k -м;

k – номер черговості розпуску составів, k .

Під кроком задачі будемо розуміти розформування одного составу. На вираз (3.1) накладається обмеження по кількості составів, які можуть бути розглянуті за один крок вирішення задачі:

де n – кількість колій в парку прийому сортувальної станції.

Всю множину черговостей позначимо як S . Серед усіх варіантів слід відібрати такий, який забезпечує мінімальні загальні експлуатаційні витрати сортувальної станції. В цьому випадку цільова функція задачі ВЧРС формулюється наступним чином:

(3.2)

де $C_{k,j}$ – витрати, що пов'язані із простоем вагонів на станції при реалізації черговості розпуску k ;

$C_{k,j}$ – витрати, що пов'язані із простоем поїздів по неприйому на станцію при реалізації черговості розпуску k ;

– витрати, що пов'язані із простоем локомотивів на станції при реалізації черговості розпуску ;

– витрати, що пов'язані із додатковою маневровою роботою на станції при реалізації черговості розпуску (дана складова витрат виникає при переповненні сортувальних колій).

Витрати, що пов'язані із простоем вагонів на сортувальній станції при реалізації черговості розпуску , враховують простой у обох підсистемах станції і у загальному вигляді визначаються за формулою

де , , – загальні витрати вагоно-годин простою, відповідно в парку прийому, сортувальному парку та парку відправлення сортувальної станції у випадку реалізації послідовності розпуску , ваг-год;

– вартість однієї вагоно-години простою, грн/ваг-год.

Оскільки показник враховує простій вагонів від моменту надходження вагонів на станцію до моменту їх відправлення зі станції, то розрахунок зручніше виконувати шляхом порівняння планів відправлення поїздів за допомогою формули

(3.3)

де , – очікуваний момент відправлення і-го поїзда при реалізації відповідно черговості розпуску FI-FO та ;

– состав і-го поїзда, ваг;

– кількість поїздів, запланованих до відправлення внаслідок реалізації черговості розпуску.

Витрати, що пов'язані із простоем поїздів по неприйому на станцію при реалізації черговості розпуску визначаються за формулою

де , – загальні поїздо-години простою по неприйому на станцію, відповідно вантажних та пасажирських поїздів, п-год;

, – вартість однієї поїздо-години простою по неприйому на станцію, відповідно вантажних та пасажирських поїздів, грн/п-год.

Витрати, що пов'язані із простоем поїзних локомотивів на сортувальній станції при реалізації черговості розпуску визначаються за формулою

де τ , $\tau_{\text{лок-год}}$ – витрати локомотиво-годин простою поїзних локомотивів відповідно в парку прийому та парку відправлення, лок-год;

$\tau_{\text{лок-год}}$ – вартість однієї локомотиво-години простою на станції поїзного локомотиву, грн/лок-год.

Додаткові витрати, що пов'язані із маневровою роботою, викликаною черговості розпуску $\tau_{\text{маневр}}$, можуть виникати при неможливості направити вагони на спеціалізовані сортувальні колії. Це може відбуватися по різних причинам:

- при переповненні спеціалізованих сортувальних колій вагони направляються на резервні колії, після звільнення спеціалізованої колії, вагони повинні бути переставлені згідно із діючою спеціалізацією колій;
- при наявності групи вагонів, що прямують по одній накладній та повинні включатись в состав одного поїзду; в цій ситуації черговому по гірці необхідно із наявних вагонів скомпонувати состав поїзда так, щоб не розривати маршрутні групи; при необхідності вагони направляють на резервні сортувальні колії.

Витрати, що пов'язані із маневровою роботою визначаються за формулою:

де $\tau_{\text{маневр}}$ – витрати локомотиво-годин додаткової маневрової роботи, що пов'язана із розформуванням та формуванням составів, лок-год;

$\tau_{\text{маневр}}$ – вартість однієї локомотиво-години маневрової роботи, грн./лок-год.

Одним із основних недоліків існуючих методів ВЧРС являється припущення про детермінованість вихідних даних і, як наслідок, значна чутливість до їх точності. Як було показано в розділі 2, прогноз прибуття поїздів характеризується значною неточністю та не може забезпечити достовірність інформації щодо підходу поїздів. В зв'язку з цим врахування в моделі ВЧРС стохастичних характеристик прогнозу прибуття поїздів являється раціональним кроком.

Нехай Ω – множина можливих станів системи „Станція – Прилеглі перегони”, яка визначається можливими моментами підходу поїздів до станції –

Ω . Множина Ω формується на основі статистичних даних щодо точності прогнозу прибуття поїздів. Ймовірність кожного стану відома. Приклади гістограм розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із різних підходів наведено на рис . 2.12-13.

Розглянемо на прикладі як формується множина можливих станів Ω для випадку вибору черговості розпуску трьох составів. Розрахунок виконується після прибуття першого поїзду у момент t_1 . В цей момент інформація про перший поїзд стає достовірною, а інформація про другий та третій поїзди залишається невизначеною. Необхідно визначити чи потрібно розформувати состав, який шойно прибув, чи варто дочекатись наступних. Нехай другий поїзд прибуває із першого підходу, а третій поїзд прибуває із другого підходу. Гістограми розподілу точності прогнозу прибуття із підходів наведено на рисунку 3.1.

Як бачимо із рис. 3.1, другий поїзд має три можливі варіанти свого прибуття – із випередженням прогнозованого часу на 10 хв, прибуття точно згідно прогнозу та прибуття із запізненням на 10 хв. Третій поїзд має два варіанти свого прибуття – точно згідно прогнозу та із запізненням на 10 хв. Будемо вважати, що події підходу поїздів до станції із різних підходів являються незалежними. В цьому випадку множину можливих станів для трьох составів можна представити у вигляді таблиці 3.1.

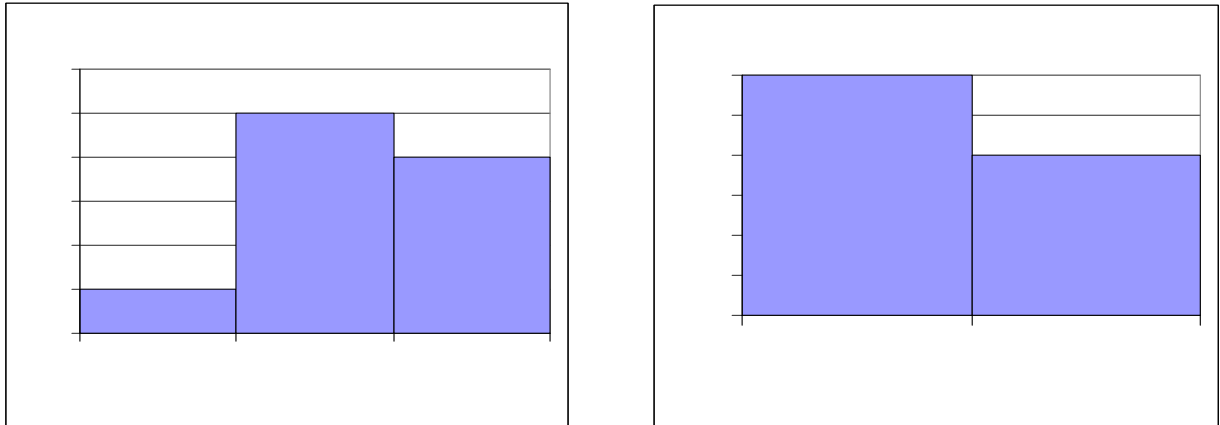


Рисунок 3.1 – Гістограми розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із підходів до станції

Таблиця 3.1 – Множина можливих станів системи „Станція – Прилеглі перегони” у випадку прибуття поїздів із різних підходів.

Стан	$T_1/P(T_1)$	$T_2/P(T_2)$	$T_3/P(T_3)$	$P(\theta_i)$
θ_1	0/1	-10/0,1	0/0,6	0,06
θ_2	0/1	-10/0,1	10/0,4	0,04
θ_3	0/1	0/0,5	0/0,6	0,30
θ_4	0/1	0/0,5	10/0,4	0,20
θ_5	0/1	10/0,4	0/0,6	0,24
θ_6	0/1	10/0,4	10/0,4	0,16
				1,00

Примітка: моменти прибуття поїздів T_i задано як відхилення від прогнозу.

У випадку, якщо поїзди прибувають із одного підходу, умови руху кожного поїзда залежать від руху попередніх поїздів. Якщо затримається попередній поїзд, очевидно, що будуть затримані і наступні. В таких умовах статистику по виконанню прогнозу прибуття поїздів раціонально накопичувати окремо для різних шаблонів руху, тобто для конкретних поїзних ситуацій, що склалися на залізничній ділянці. Такий захід значно підвищить точність прогнозування.

Враховуючи можливість відхилення фактичного прибуття поїздів від прогнозу, отримуємо задачу стохастичного програмування [166]. В цих умовах вирішення задачі вибору черговості розпуску составів передбачає вибір такої послідовності розпуску, щоб математичне очікування загальних експлуатаційних витрат, пов'язаних із процесом поїздоутворення, було мінімальним:

де $\sum_{i=1}^n C_i$ – загальні експлуатаційні витрати на реалізацію послідовності розпуску π в умовах π .

Постановка задачі ВЧРС на основі задачі стохастичного програмування значно збільшує обсяги розрахунків. Оскільки управління черговістю розпуску здійснюється в оперативних умовах, то ситуація затримки обробки поїздів через очікування завершення розрахунків являється недопустимою. В зв'язку з цим необхідно розробити заходи, спрямовані на скорочення розмірності задачі ВЧРС.

Одним із шляхів вирішення поставленого завдання являється декомпозиція задачі та розбивка графу варіантів на окремі менш громіздкі процеси. Загальний принцип декомпозиції описано в [167]. Розділимо граф варіантів черговості розпуску,

представлений на рис. 2.25 на два етапи – граф варіантів першого етапу глибиною

составів, та граф варіантів другого етапу глибиною k составів, які являються продовженням гілок графу варіантів першого етапу. Кількість варіантів графу першого

етапу становить $\sum_{i=1}^n C_i$, тоді кількість графів другого етапу також становить

$\sum_{i=1}^n C_i$, кількість варіантів кожного графу другого етапу визначається як $k^{\sum_{i=1}^n C_i}$. Загальна кількість варіантів об'єднаного дерева становить $\sum_{i=1}^n C_i \cdot k^{\sum_{i=1}^n C_i}$. На рисунку 3.2 показано приклад декомпозиції дерева варіантів глибиною 3 состави при $k=2$, та $\sum_{i=1}^n C_i=3$.

Рисунок 3.2 – Граф можливих варіантів черговостей розпуску у випадку декомпозиції задачі

Множину черговостей розпуску графу варіантів першого етапу позначимо як

. Множина можливих станів системи на етапі розрахунку по графу

варіантів першого етапу , , визначається можливими моментами підходу до станції поїздів, що включено до дерева варіантів першого етапу –

. Ймовірність кожного стану відома. Для кожної черговості відома множина черговостей розпуску графу варіантів другого етапу, позначимо її як

, , . Для кожного графу варіантів другого етапу також відома множина можливих станів системи , , ,

Ймовірність кожного стану відома. Можливий стан конкретизує

ситуацію, що склалася згідно стану , тобто

Після декомпозиції задачі приходимо до двоетапної задачі стохастичного програмування. Особливості розробленої у дисертаційній роботі моделі розглянуто в роботах [168-171]. Двоетапну задачу стохастичного програмування вперше сформулювали Данциг та Маданський [172]. З тих пір теорія вирішення двоетапних задач інтенсивно розвивалась [166, 173], виявились умови оптимальності, але, на жаль, числові методи, які при цьому були запропоновані, можна застосовувати лише в окремих випадках. Особливість двоетапної задачі полягає в тому, що процес прийняття рішення розбивається на два етапи. На першому етапі обирається попередній детермінований план, що дозволяє провести підготовчі роботи. На другому етапі виконується компенсація нев'язок, виявлених після спостереження реалізованих значень випадкових параметрів умов задачі. Природно, що попередній план та план-компенсація повинні бути узгоджені таким чином, щоб забезпечити мінімум середнього значення сумарних витрат, виникаючих на обох етапах вирішення задачі.

Схема вирішення двоетапної задачі потребує одночасного отримання відомостей про реалізацію випадкових параметрів на всьому плановому періоді для розрахунку плану-компенсації.

Модель задачі ВЧРС на основі двоетапної задачі стохастичного програмування має вигляд:

(3.4)

де – експлуатаційні витрати варіанта черговості розпуску графу варіантів першого етапу в умовах ;

– експлуатаційні витрати варіанту черговості розпуску графу варіантів другого етапу, що належить черговості графу варіантів

першого етапу. Витрати визначаються в умовах \dots та \dots .

Таким чином, у роботі запропоновано перетворення n -компонентної задачі ВЧРС в послідовність 2-х етапних, 2-х компонентних задач. Використання в якості цільової функції виразу (3.4) дозволить враховувати стохастичний характер прогнозу прибуття поїздів на станцію, та уникнути надмірного збільшення розмірності задачі ВЧРС.

Дворівнева модель вибору черговості розпуску составів

Відповідно до постановки задачі ВЧРС для транспортної мережі, виконаної в другому розділі даного дисертаційного дослідження, критерій ефективності черговості розпуску повинен враховувати умови роботи наступних технічних станцій, що створюються внаслідок реалізації черговості розпуску. З цією метою в модель задачі ВЧРС слід ввести

додатковий критерій \dots , сформований на основі такого показника як кількість відчепів у составі свого формування, при цьому цільова функція задачі ВЧРС матиме вигляд (2.10). Створення составів із меншою кількістю відчепів безпосередньо не зменшує експлуатаційних витрат, але створює передумови для їх скорочення. В зв'язку із цим, використовувати в розрахунках даний критерій як самостійний являється нераціональним, тому слід об'єднати моделі (2.10) та (3.4) в одну дворівневу модель. Для цього виконаємо узгодження критеріїв:

де \dots – критерій відбору за загальними експлуатаційними витратами на станції розформування составів;

\dots – критерій відбору за структурою составів свого формування.

Отримана двокритеріальна задача вирішується за допомогою методу послідовних поступок [174]. Ідея методу полягає в тому, що спочатку виконується оптимізація за пріоритетним критерієм (\dots), потім призначають величину допустимого відхилення даного критерію, та виконують оптимізацію за другим критерієм (\dots), при умові, що значення першого критерію не повинне відрізнятись від оптимального більше ніж на величину допустимого відхилення. Отриману модель задачі ВЧРС можна представити як дворівневу [175-177]. На нижньому рівні виконується відбір множини рішень \dots , які враховують інтереси роботи окремої сортувальної станції (на якій виконується розпуск составів). На верхньому рівні із множини \dots відбирається множина рішень \dots , яка забезпечує найкращу із можливих структуру составів свого формування.

Нехай \dots , оптимальні значення відповідно критеріїв \dots та \dots :

Черговість розпуску, яка забезпечує значення критеріїв відповідно та :

Введемо допустимі поступки та по критеріям відповідно та . Для призначення допустимих поступок необхідно виконати дослідження важливості кожного із критеріїв ефективності на витрати залізничної мережі. Стосовно до критерію верхнього рівня, тут треба дослідити вплив кількості вагонів у відчепі на експлуатаційні витрати, пов'язані із переробкою вагонопотоків на мережі сортувальних станцій. У даній дисертаційній роботі такі дослідження не виконувались.

Множина рішень, що забезпечує допустиме відхилення за критеріями відповідно та :

$$\begin{aligned} & , \quad , \quad , \\ & , \quad . \end{aligned}$$

Для кожної допустимої послідовності розпуску будемо фіксувати відносну поступку

$$, \quad , \quad .$$

Задача ВЧРС зводиться до мінімізації загальних поступок по двом критеріям:

$$, \quad (3.5)$$

де – вагові коефіцієнти, які характеризують важливість поступки по кожному із критеріїв.

Використання в якості цільової функції задачі ВЧРС вираз (3.5) дозволить приймати більш обґрунтовані рішення, що сприятимуть покращенню показників роботи залізничної мережі в цілому.

Удосконалення технології перебору варіантів черговості розпуску за допомогою визначення ідеальної послідовності розпуску

Зазначимо, що комбінаторність задачі ВЧРС приводить до необхідності повного перебору варіантів послідовності розпуску, що на практиці не може бути реалізовано. Доцільно розробити заходи, спрямовані на скорочення обсягів розрахунків, пов'язаних із порівнянням варіантів.

У роботі пропонується алгоритм ВЧРС доповнити додатковою функцією – визначення ідеальної послідовності розпуску. За рахунок цього може бути зменшена кількість варіантів черговості розпуску і тим самим скорочено перебір у n-компонентній задачі ВЧРС. Ідеальна послідовність розпуску – така, що забезпечує мінімальне теоретично можливе значення загальних експлуатаційних витрат сортувальної станції. Мінімальне значення повинно досягатися по кожній із складових критерію, який, відповідно до виразу (3.2), включає в себе витрати, що пов'язані із простоем вагонів та локомотивів на станції, простоем поїздів по неприйому на станцію, а також додатковою маневровою роботою.

Відповідно до виразу (2.7), скорочення простою вагонів на сортувальній станції при керуванні черговістю розпуску відбувається лише за рахунок зменшення непродуктивних простоїв составів із замикаючим групами в парку прийому. Отже черговість розпуску, що забезпечує обробку в парку прийому составів із замикаючими групами без непродуктивних простоїв являється ідеальною з погляду на тривалість простою вагонів на станції.

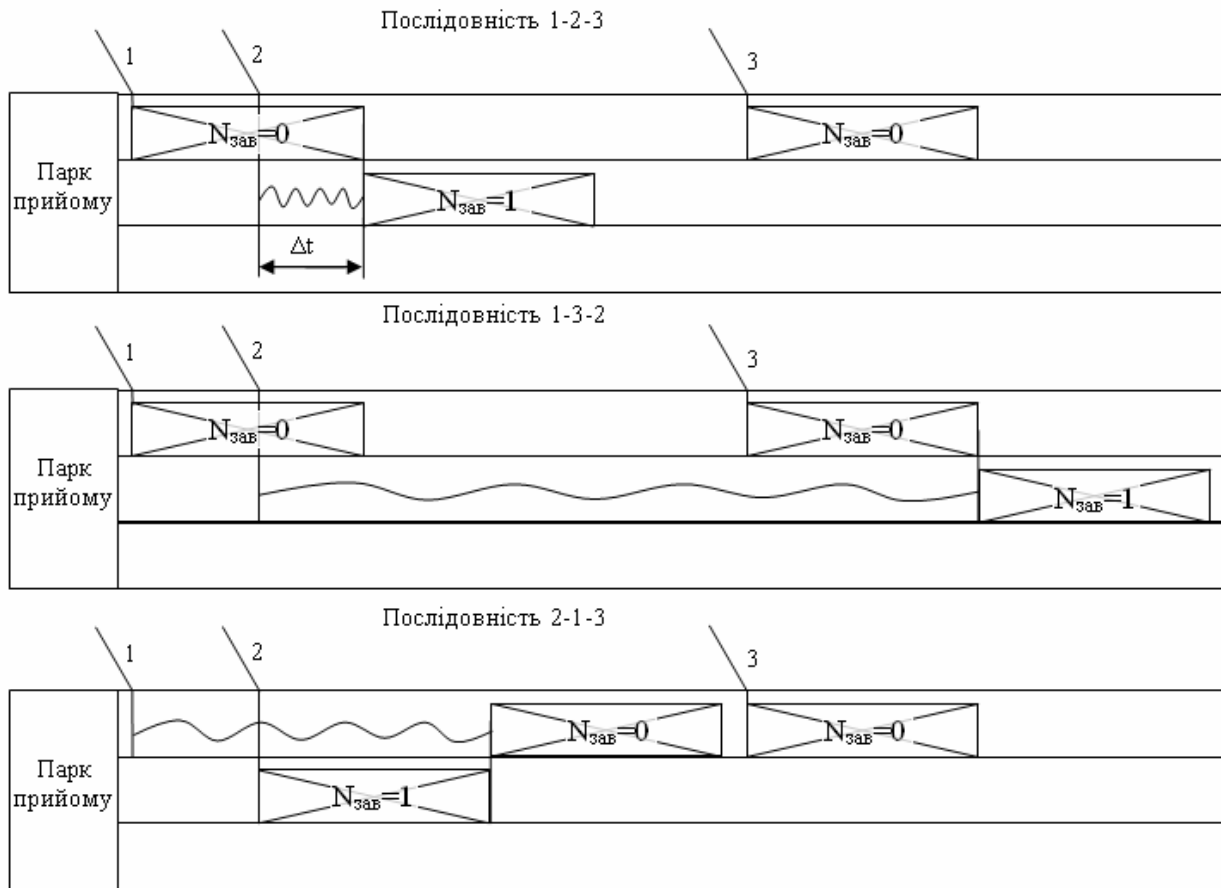
Мінімальне теоретичне можливе значення витрат, що пов'язані із простоем локомотивів на станції та поїздів по неприйому на станцію досягається при відсутності будь-яких простоїв в очікуванні виконання операцій. Мінімальне теоретично можливе значення витрат, що пов'язані із маневровою роботою, досягається при направленні всіх вагонів на спеціалізовані сортувальні колії.

З погляду на загальні експлуатаційні витрати сортувальної станції, ідеальною являється послідовність розпуску, що забезпечує:

- обробку в парку прийому составів із замикаючими групами без непродуктивних простоїв;
- відсутність затримок поїздів по неприйому на станцію;
- відсутність затримок поїзних локомотивів при їх прибиранні від поїздів в розформування;
- направлення усіх вагонів на спеціалізовані сортувальні колії.
- розформування останнього составу у мінімально можливий термін (вимога для врахування ефекту післядії черговості розпуску на роботу станції).

Розглянемо на прикладі як можна скоротити об'єм розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску, при використанні поняття ідеальної послідовності. На рисунку 3.3 наведено приклад обробки 3 составів у парку прийому.

Другий состав має в своєму складі одну замикаючу групу, решта составів замикаючих груп не мають. Виконується аналіз можливих варіантів черговості обробки составів із вибором найкращого. При трьох составах маємо 6 варіантів черговості розпуску. Аналіз починається із послідовності 1



-2-3 (відповідає принципу обробки FI-FO). Далі поступово перебираються всі варіанти рухаючись у напрямку зворотної послідовності розпуску 3-2-1 (відповідає принципу обробки LI-FO). Для першого варіанту єдиний состав із завершальною групою затримується на величину часу Δt , отже така послідовність не є ідеальною, і її можна спробувати покращити. Наступний варіант, що обирається – 1-3-2. При такій послідовності другий состав має ще більші затримки, тому обирається третій варіант 2-1-3. В цьому випадку состав із замикаючою групою обробляється в парку прийому без непродуктивних простоїв, крім того, останній состав послідовності розформовується також без затримок і тому не погіршує умови роботи в парку прийому після реалізації обраної послідовності (обробка составів 4, 5 і т.д.). Отже послідовність 2-1-3 являється ідеальною і не може бути поліпшена, тому оцінку решти варіантів можна не визначати.

Наведений вище критерій ІПР назвемо ідеальною послідовністю розпуску по парку прийому. Він враховує простій вагонів лише до моменту завершення накопичення у сортувальному парку. Послідовність розпуску, що відповідає вимогам критерію ІПР по парку прийому, характеризується максимально можливим темпом накопичення составів. Проте такий темп

накопичення составів не завжди доцільний на практиці. Досягнуте скорочення простою вагонів у сортувальному парку може бути втрачене у наступних випадках:

- неможливості завершення формування составів через зайнятість маневрових локомотивів;
- неможливості виставки составів у парк відправлення через зайнятість приймально-відправних колій;
- відсутності поїзного локомотиву, який необхідно подати під сформований состав;
- неможливості відправлення готового поїзда через відсутність нитки графіка руху, пропуску інших більш пріоритетних категорій поїздів.

У таких випадках тривалість знаходження вагонів на станції додатково обмежується переліченими факторами, тому і темп накопичення вагонів слід узгоджувати із оперативною ситуацією, що складається в підсистемі формування. Звідси впливає критерій ІПР по парку відправлення – це така послідовність розпуску, що забезпечує:

- відсутність простоїв поїзних локомотивів в очікуванні сформованих составів;
- відсутність простою поїздів по неприйому на станцію;
- відсутність непродуктивних простоїв поїзних локомотивів при прибиранні їх від поїздів в розформування;
- направлення всіх вагонів на спеціалізовані сортувальні колії;
- розформування останнього составу у мінімально можливий термін (вимога для врахування ефекту післядії черговості розпуску на роботу станції).

Для оцінки черговості розпуску на відповідність ІПР по парку відправлення необхідно, щоб в АСК ВП УЗ була інформація про очікуванні моменти готовності поїзних локомотивів до подачі під состави свого формування.

ІПР по парку відправлення характеризує мінімально допустимий темп накопичення составів, що забезпечує відправлення поїздів без затримок, залежних від черговості розпуску.

Рішення про застосування першого чи другого критерію ІПР залежить від оперативної ситуації на момент планування. Якщо на момент початку розрахунку в наявності є достатня кількість поїзних локомотивів, то слід використати ІПР по парку прийому, максимально прискорюючи процес накопичення вагонів. Якщо ж на поточний момент часу немає готових поїзних локомотивів, то слід використати другий критерій, враховуючи ситуацію в парку відправлення. При використанні критерію ІПР по парку відправлення збільшується множина допустимих рішень черговостей розпуску. За рахунок цього з'являються додаткові резерви для покращення структури поїздів свого формування за критерієм ефективності верхнього рівня.

На рисунку 3.4 наведено алгоритм використання критеріїв ІПР з метою скорочення обсягів розрахунків.

Відповідно до рис. 3.4, під час аналізу чергового варіанту послідовності розпуску можливі три ситуації:

- черговість розпуску відповідає критерію ІПР по парку відправлення – це означає, що план поїздоутворення неможливо покращити за рахунок зміни черговості розпуску, отже слід припинити подальший перебір варіантів;
- черговість розпуску не відповідає критерію ІПР по парку відправлення, але відповідає поняттю ІПР по парку прийому – це означає, що бажано було б змінити план поїздоутворення, щоб зменшити непродуктивні простої в парку відправлення, але здійснити це за рахунок зміни черговості розпуску неможливо; в такій ситуації також слід припинити перебір варіантів;
- черговість розпуску не відповідає критеріям ІПР по парку відправлення та парку прийому – це означає, що бажано змінити план поїздоутворення, можливо це вдасться здійснити за рахунок зміни черговості розпуску; в такій ситуації перебір варіантів слід продовжувати.

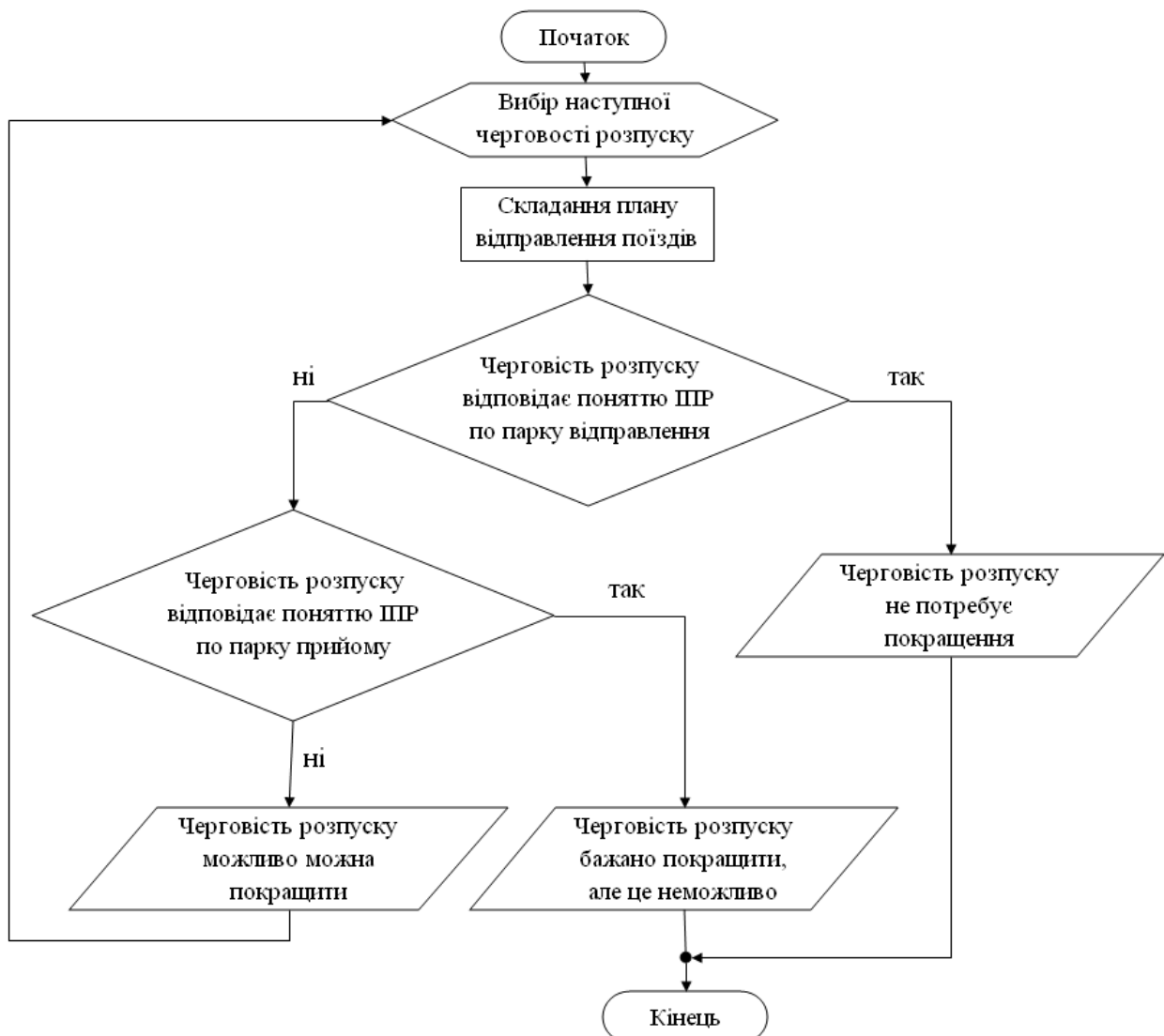


Рисунок 3.4 – Алгоритм використання критеріїв ідеальної послідовності розпуску

Використання критеріїв I П Р в двоетапній моделі вибору черговості розпуску составів

Зазначимо, що використання критеріїв ІПР в двоетапній моделі ВЧРС можливе лише при оцінці величини експлуатаційних витрат варіантів другого етапу. Нехай π – ідеальна послідовність розпуску, π_i – черговості розпуску дерева варіантів другого етапу пронумеровано по порядку від 1 до n . Виконуємо послідовний перебір варіантів черговості розпуску та порівняння кожної черговості із ідеальною черговістю π за величинами непродуктивних простоїв. Перебір варіантів виконується до тих пір, поки не буде знайдено черговість розпуску під номером i , для якої виконується умова $\pi_i = \pi$.
З урахуванням критеріїв ІПР отримаємо нову множину черговостей розпуску дерева варіантів другого етапу:

У виразі (3.4) для оцінки витрат по дереву варіантів другого етапу достатньо знати лише мінімальне значення. Якщо таке значення буде знайдено з використанням критерію ІПР, то подальший перебір варіантів другого етапу можна завершити.

За рахунок використання ІПР можна скоротити обсяги розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску. Дана методика може бути застосована і в детермінованих постановках задачі ВЧРС.

Висновки по 3 розділу

Розроблено модель задачі ВЧРС для транспортної мережі в стохастичній постановці. Задачу реалізовано у вигляді дворівневої двоетапної моделі вибору черговості розпуску составів. Модель нижнього рівня призначена для мінімізації експлуатаційних витрат окремої сортувальної станції, модель верхнього рівня призначена для створення сприятливих умов переробки вагонопотоків на наступних технічних станціях. Введено лексикографічне відношення критеріїв ефективності моделей верхнього та нижнього рівнів. Для мінімізації витрат за отриманою системою критеріїв пропонується використовувати метод послідовних поступок.

Модель нижнього рівня реалізовано у вигляді двоетапної задачі стохастичного програмування. Отримана модель дозволяє:

- врахувати стохастичні характеристики прогнозу прибуття поїздів на станцію;

- скоротити обсяги розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску

Пошук рішень моделі верхнього рівня передбачається виконувати повним перебором варіантів. Такий перебір зводиться до звичайного сортування вагонів по коліям сортувального парку та не потребує багато обчислювальних ресурсів.

З метою скорочення аналізу варіантів дерева варіантів другого етапу пропонується використання критеріїв ідеальної послідовності розпуску. Виділено критерій ІПР по парку прийому, що характеризує максимально можливий темп накопичення составів, та критерій ІПР по парку відправлення, що характеризує мінімально допустимий темп накопичення составів, який не створює затримок вагонопотоків, залежних від черговості розпуску.

РОЗДІЛ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ

Оцінку ефективності автоматизації планування поїздоутворення на основі вибору черговості розпуску составів виконано для непарної системи сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол. З цією метою використано розроблену імітаційну модель сортувальної станції. Вибір черговості розпуску составів здійснювався на основі представленої у третьому розділі даної дисертаційної роботи дворівневої моделі ВЧРС.

Оцінка ефективності автоматизації методики планування поїздоутворення

У дисертаційній роботі було виконано дослідження ефективності запропонованої методики планування поїздоутворення на основі управління черговістю розпуску составів. Дослідження виконано окремо по кожному критерію дворівневої моделі. Результати досліджень опубліковано в роботах [4, 6].

Критерій нижнього (станційного) рівня передбачає мінімізацію загальних експлуатаційних витрат сортувальної станції, які, відповідно до виразу (3.2), включають в себе витрати, пов'язані із простоем вагонів та локомотивів на станції, простоем поїздів по неприйому на станцію, а також додатковою маневровою роботою.

Дослідження ефективності запропонованих методик виконано для умов повного перебору варіантів та умов декомпозиції задачі. На рисунку 4.1 показано результати дослідження експлуатаційних витрат сортувальної станції при управлінні черговістю розпуску. У випадку декомпозиції графу варіантів розглядалась різна кількість составів графу першого етапу $k_1=1$ та $k_1=2$. Як видно із графіку, ефективність задачі у випадку її декомпозиції дещо знижується. Але при цьому скорочується тривалість розрахунку та вибору раціональної послідовності. Максимальне скорочення експлуатаційних витрат досягається при глибині планування на 3-5 составів. Подальше збільшення глибини планування погіршує якість керування черговістю розпуску.

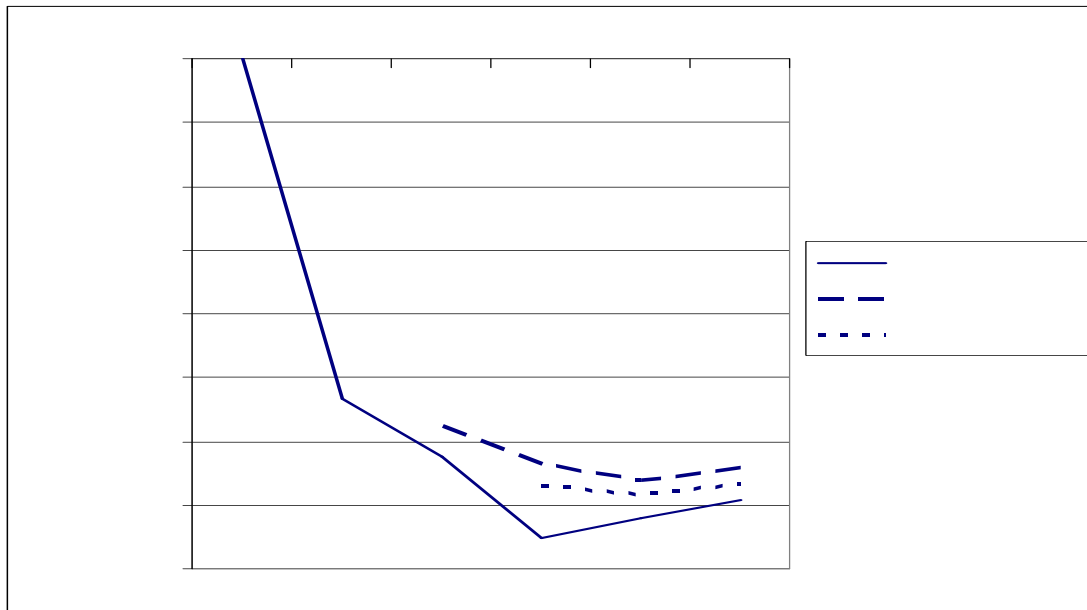


Рисунок 4.1 – Залежність експлуатаційних витрат сортувальної станції від кількості составів, що включено до графу варіантів черговості розпуску

Критерій верхнього рівня (мережевий) передбачає створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій, які, відповідно до виразу (2.10), оцінюються середньою кількістю відчепів у складах свого формування. На рисунку 4.2 показано результати дослідження середньої кількості відчепів у складах свого формування при управлінні черговістю розпуску.

Графіки на рис. 4.1 та 4.2 дають уяву про можливу ефективність управління черговістю розпуску окремо за критеріями станційного та мережевого рівня. На практиці вирішення задачі ВЧРС пропонується здійснювати за допомогою методу послідовних поступок, використовуючи вираз (3.5). При цьому першочерговою слід вважати мінімізацію експлуатаційних витрат сортувальної станції, створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій має менший пріоритет. Для визначення раціональної величини поступки за першочерговим критерієм необхідні більш детальні дослідження впливу кількості та довжини відчепів у складі на витрати станцій, що пов'язані із осаджуванням вагонів у сортувальному парку, розпуском составів із сортувальних гірок, додатковим сортуванням вагонів у хвості сортувального парку. Крім того, при укрупненні відчепів на всіх сортувальних станціях полігону матиме місце певний синергетичний ефект. В зв'язку з цим, питання безпосередньої оцінки ефективності збільшення довжини відчепів являється доволі складною задачею, яка в даній дисертаційній роботі вирішена не була. Натомість, при оцінці умов роботи наступних технічних станцій використано безпосередньо показник середньої кількості відчепів у складі свого формування.

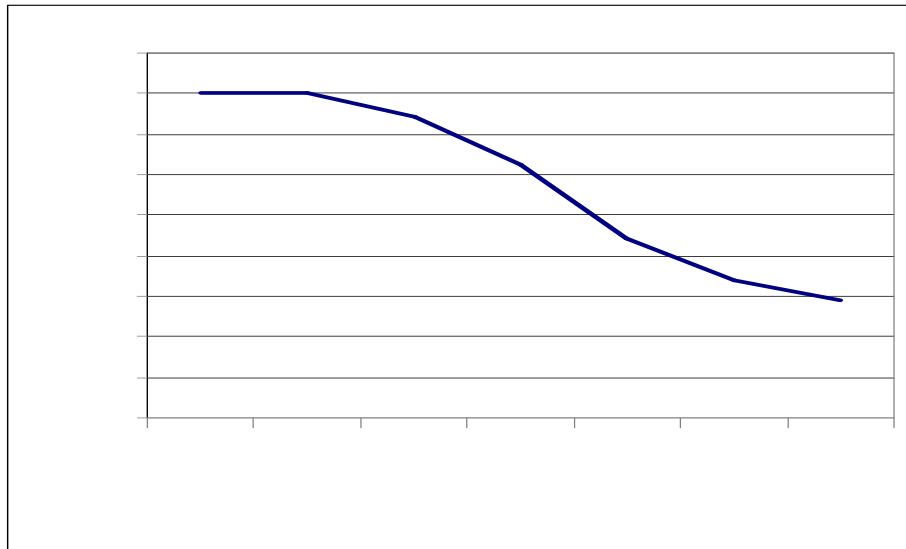


Рисунок 4.2 – Залежність середньої кількості вагонів у відчепі составу свого формування від кількості составів, що включено до графу варіантів

При використанні методу послідовних поступок сумарне скорочення експлуатаційних витрат за двома критеріями становитиме величину не меншу, ніж величина скорочення витрат за критерієм нижнього рівня, та не більшу, ніж сума величин скорочення витрат за кожним критерієм окремо:

де $\Delta C_{\text{ст}}^{\text{ст}}(\text{ст})$, $\Delta C_{\text{ст}}^{\text{ст}}(\text{ст})$ – скорочення експлуатаційних витрат за критерієм, відповідно станційного, мережевого рівня, та за дворівневим критерієм.

Модель вибору черговості розпуску составів в умовах диференціації вагонопотоків за вартістю простою

Вартість простою окремого вагону залежить від розмірів та ймовірності штрафів за несвоечасну доставку вантажів, від дефіцитності роду рухомого складу, від вартості вантажу у вагоні, від потрібної швидкості доставки, а у більш широкому розумінні і від можливостей подальшого просування вагону по шляху прямування.

В умовах диференціації категорій вагонопотоків за вартістю простою, з'являються додаткові резерви зменшення експлуатаційних витрат за рахунок керування черговістю розпуску составів. Розглянемо ситуацію, що показана на рисунку 4.3. В парку прийому знаходиться два состави, в обох складах є лише по одній замикаючій групі, причому обидві групи мають спільне призначення плану формування поїздів. Замикаючі групи першого та другого составів складаються із вагонів загальною вартістю простою відповідно

де n_1, n_2 – кількість вагонів замикаючої групи відповідно першого та другого составів, ваг; для спрощення сприйняття розглянемо випадок, коли групи вагонів рівні між собою, тобто $n_1 = n_2$;

C_1, C_2 – вартість однієї години простою одного вагону замикаючої групи відповідно першого та другого составів, грн./ваг-год.

При будь-якій черговості розпуску забезпечується однаковий план відправлення сформованого составу зі станції. Але у випадку послідовності розпуску 1-2 (стратегія FI-FO), зі станції буде відправлено першу замикаючу групу вагонів із вартістю простою

$C_1 n_1 T_{нак}$, а друга замикаюча група залишиться на станції до моменту завершення накопичення наступного составу даного призначення. У випадку вибору черговості розпуску 2-1, навпаки затримується перша замикаюча група.

Експлуатаційні витрати варіантів черговості розпуску різняться між собою на величину

де $T_{нак}$ – період накопичення чергового составу даного призначення плану формування поїздів, год.

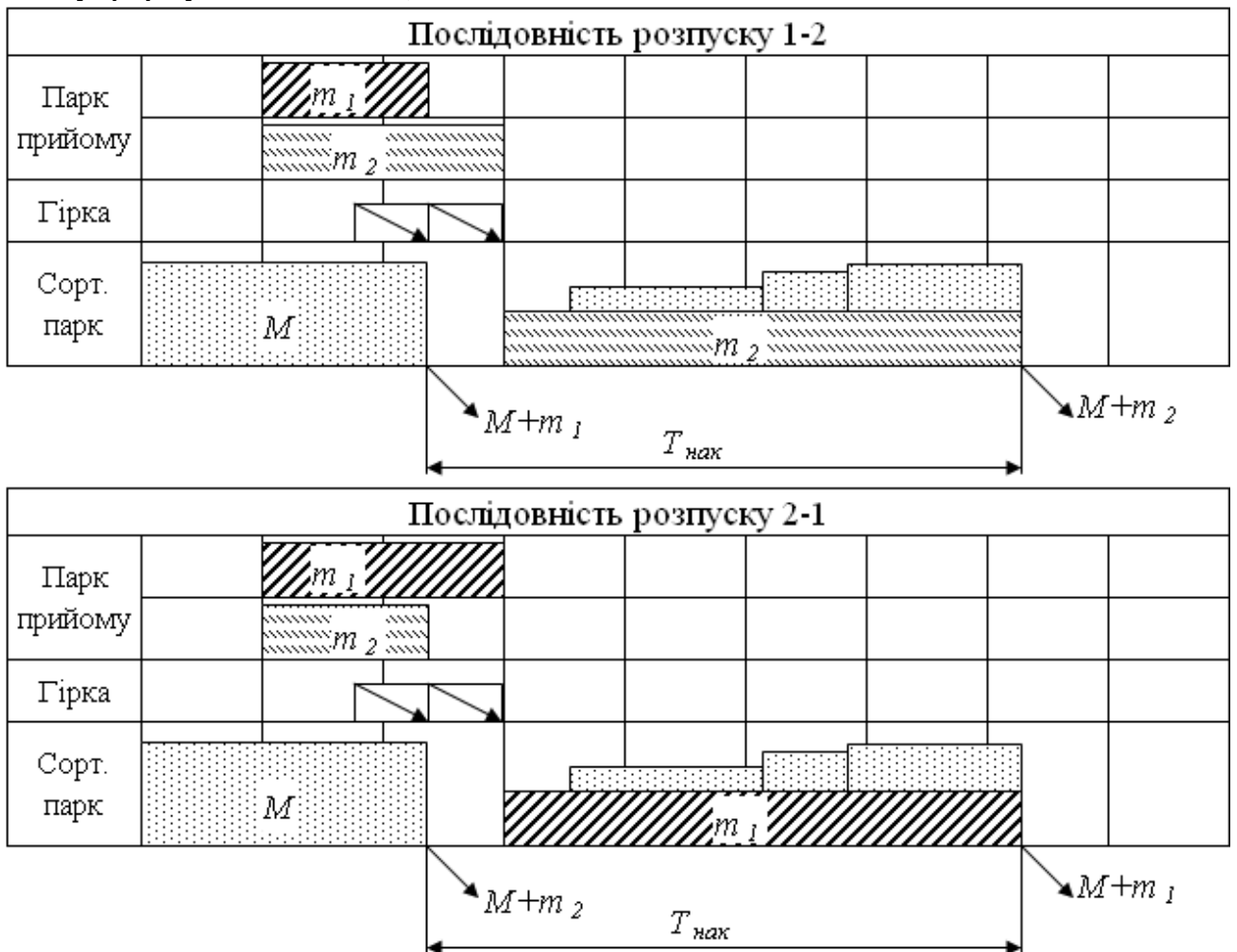


Рисунок 4.3 – Варіанти черговості розформування составів

Очевидно, що у випадку слід обрати варіант черговості розпуску 2-1, просуваючи до першочергового відправлення групу вагонів із більшою вартістю простою.

В умовах диференціації вагонопотоків за вартістю простою вираз (3.3) слід привести до наступного вигляду:

$$(4.1)$$

де t_i , t_{i+1} – очікуваний момент відправлення зі станції i -ого вагону відповідно при черговості розпуску FI-FO та t_{i+1} ;

– кількість вагонів, за якими порівнюється черговість розпуску, ваг;

– вартість однієї години простою i -го вагону, грн./ваг-год.

Вираз (4.1) передбачає складання повагонного плану відправлення поїздів зі станції. Як видно із рис. 4.3, черговість розпуску составів характеризується тривалою післядією на роботу сортувальної станції. Так, остання група вагонів, відправляється зі станції через відрізок часу, рівний періоду накопичення на призначення t_{i+1} . Отже і план відправлення поїздів слід складати на більш тривалий період. Із урахуванням наявної на момент розрахунку інформації передбачається повагонний план відправлення поїздів складати в три етапи:

- складається короткостроковий план відправлення поїздів. Такий план складається для составів, накопичених в результаті розформування всіх составів черговості розпуску. Ступінь точності та деталізації такого плану максимальний, визначається на основі імітаційного моделювання роботи станції;
- складається середньостроковий план відправлення поїздів. Тут розглядаються лише ті призначення, при накопиченні вагонів на які, мала місце конфліктна ситуація, що показана на рис. 4.3. Тобто розглядаються ті призначення, на які було завершено накопичення составів, а вагони на призначення надходили із різних поїздів. Для вагонів, що залишилися в сортувальному парку під накопиченням на обрані призначення складається приблизний план відправлення. Ступінь точності та деталізації такого плану значно менший, оскільки останній складається на основі прогнозу прибуття поїздів та середньої тривалості знаходження замикаючої групи на станції;
- складається довгостроковий план відправлення поїздів. Якщо кількості вагонів, що включено в прогноз прибуття поїздів, недостатньо для накопичення нового составу, то накопичення складається на основі середнього періоду накопичення по даному призначенню. Ступінь точності такого плану мінімальна.

Розроблена у третьому розділі даного дисертаційного дослідження дворівнева двоетапна модель ВЧРС цілком може бути використана в умовах

диференціації вагонів за вартістю простою. Для цього, при визначенні витрат, пов'язаних із простоєм вагонів на станції, необхідно користуватися виразом (4.1). Такий підхід дає змогу зменшити штрафи за несвоєчасну доставку вантажів, прискорити швидкість просування дефіцитних родів вагонів, зменшити масу вартісних вантажів у русі.

На даний момент відбувається реформування залізничного транспорту, яке передбачає розподіл рухомого складу між різними власниками. В таких умовах задача ВЧРС перетворюється на багатокритеріальну, кількість цільових функцій визначається кількістю власників рухомого складу. Узагальнена модель вибору черговості розпуску составів в умовах багатьох власників рухомого складу має вигляд

де $C_{i,j}$ – витрати Укрзалізниці, що пов'язані із реалізацією черговості розпуску $C_{i,j}$;

$C_{i,j}^k$, $C_{i,j}^l$, $C_{i,j}^m$ – витрати відповідно першого, другого, та n -го власника рухомого складу, що пов'язані із реалізацією черговості розпуску $C_{i,j}$.

Очевидно, що при вирішенні питання узгодження наведених критеріїв необхідно буде досягнення деякого компромісу між усіма учасниками перевізного процесу.

Висновки по 4 розділу

У дисертаційній роботі виконано оцінку ефективності планування поїздоутворення при управлінні черговістю розпуску составів. Дослідження виконано для умов повного перебору варіантів та умов декомпозиції графу варіантів черговості розпуску.

Результати імітаційного моделювання роботи сортувальної станції показали, що для отримання максимального скорочення експлуатаційних витрат достатньо до графу варіантів черговості розпуску включати 3-4 состави. Очікувана річна економія при цьому складатиме 300-350 тис. грн.

Критерій мережевого рівня передбачає створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій за рахунок зменшення кількості відчепів у складах свого формування. Результати моделювання показали, що із збільшенням кількості составів, що включаються до графу варіантів черговості

розпуску, спостерігається асимптотичне зростання середньої кількості відчепів у складах свого формування. На практиці при виборі черговості розпуску складів на сортувальній станції необхідно враховувати значення обох критеріїв ефективності.

В умовах диференціації вагонопотоків за вартістю простою черговість розпуску складів характеризується тривалою післядією на роботу сортувальної станції. В таких умовах порівняння варіантів слід виконувати на основі складання повагонного плану відправлення поїздів, який складається на більш тривалий період. Повагонний план відправлення поїздів складається із використанням усієї наявної інформації в АСК ВП УЗ про очікуване надходження вагонів на станцію, а у разі відсутності такої інформації – з використанням розрахункового періоду накопичення по призначенням.

В умовах реформування залізничного транспорту та утворення багатьох компаній-власників рухомого складу вирішення задачі ВЧРС слід виконувати шляхом компромісу між усіма учасниками перевізного процесу.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором наукові результати, які в сукупності вирішують науково-прикладне завдання із підвищення ефективності поїздоутворення на залізничній мережі за рахунок вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції:

1. Аналіз наукових робіт присвячених ефективності поїздоутворення виявив спільні недоліки існуючих методів вибору черговості розпуску составів на сортувальних станціях. Перше, це детермінованість постановки завдання, значна чутливість до точності вихідних даних та прогнозу прибуття поїздів. Друге, це ізольований розгляд процесів поїздоутворення на окремих сортувальних станціях, це викликає необхідність подальшого розвитку методів вибору черговості розпуску составів на мережі сортувальних станцій.

2. Дослідження характеристик руху поїздів по ділянках методами хаотичної динаміки показали, що ці процеси можуть бути антиперсистентними. В цих умовах запропоновано та реалізовано прогнозування методами експертних систем, що дозволяє отримати точність прогнозу прибуття поїздів на рівні 14-19 %.

3. Виконано постановку задачі вибору черговості розпуску для мережі сортувальних станцій. Для вирішення поставленої задачі розроблено дворівневу модель вибору черговості розпуску составів. Критерій ефективності нижнього рівня передбачає мінімізацію загальних експлуатаційних витрат окремої сортувальної станції. Критерій ефективності верхнього рівня передбачає створення сприятливих умов роботи наступних технічних станцій транспортної мережі. Введено лексикографічне відношення критеріїв ефективності. Для остаточного вибору варіанту черговості розпуску використовується метод послідовних поступок.

4. З метою адаптації моделі вибору черговості розпуску составів до функціонування в умовах надходження неточної інформації, модель нижнього рівня розроблено на основі задачі стохастичного програмування. Це дозволяє враховувати неточність прогнозу прибуття поїздів на станцію.

5. З метою скорочення обсягів розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску, виконано декомпозицію задачі вибору черговості розпуску составів та розроблено модель задачі на основі двоетапної задачі стохастичного програмування.

6. З метою скорочення обсягів розрахунків, пов'язаних із аналізом варіантів черговості розпуску, сформульовано критерії ідеальної послідовності розпуску. Виділено критерії ідеальної послідовності розпуску по парку прийому та по парку відправлення. Розроблено алгоритм використання критеріїв, що дозволить скоротити тривалість вирішення задачі вибору черговості розпуску составів.

7. Виконано оцінку ефективності використання запропонованої методики вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції Нижньодніпровськ-Вузол. Результати дослідження показали, що мінімальні витрати сортувальної станції досягаються при глибині планування на 3-4 состави. Очікувана річна економія при цьому становить близько 300-350 тис. грн. При вирішенні задачі за критерієм мінімуму відчепів у складах свого формування спостерігається асимптотичне збільшення довжини відчепів із збільшенням кількості составів, що включаються до графу варіантів. На практиці вибір черговості розпуску составів повинен здійснюватись шляхом компромісу між критеріями верхнього (мережевого) та нижнього (станційного) рівнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки» від 16 грудня 2009 р. № 1390 / К.: КМУ, 2009.
2. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 155-р.
3. Бардась, А. А. Усовершенствование планирования процессов расформирования составов с учетом оперативных данных автоматизированных систем управления грузовыми перевозками [Текст] / А. А. Бардась // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – С. 150-152.
4. Бардась, О. О. Аналіз ефективності формування поїздопотоків при автоматизованому управлінні черговістю розпуску [Текст] / О. О. Бардась // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 35-38.
5. Скалозуб, В. В. Удосконалення методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції [Текст] / В. В. Скалозуб, О. О. Бардась // Збір. наук. праць Донецьк. ін-т. зал. тр-ту Укр. держ. акад. зал. тр-ту. – 2010. – Вип. 24. – С. 46-52.
6. Скалозуб, В. В. О приближенной декомпозиции NP-полных задач управления сложными процессами [Текст] / В. В. Скалозуб, А. А. Бардась, М. В. Скалозуб // Системні технології. Регіональний міжвуз. збір. наук. праць. – 2011. – №4(75). – С. 174-184.
7. Фролов, А. Н. Общие соображения о простое вагонов на сортировочных станциях [Текст] / А. Н. Фролов // XX Совещательный съезд инженеров службы пути русских железных дорог 1902 г. Протоколы заседаний и труды. – 1903. – С. 157-165.
8. Васильев, И. И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок [Текст] / И. И. Васильев. – М.: Трансжелдориздат, 1941. – 321 с.
9. Бернгард, К. А. Групповые поезда: труды ЦНИИ МПС [Текст] / К. А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – Вып. 76. – 167 с.
10. Бернгард, К. А. Сборник примеров по маневровой работе [Текст] / К. А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1941. – 140 с.
11. Соколов, П. С. Организованный подвод групп вагонов к сортировочным станциям [Текст]: дис. на соискание ученой степени к.т.н. / П. С. Соколов. – МИИТ, 1949. – 172 с.
12. Петров, А. П. Исследование времени накопления вагонов при формировании поездов на технических станциях [Текст] / А. П. Петров // Вопросы эксплуатации железных дорог: труды Москов. ин-т. инж. тр-та. – 1949. – Вып. 72. – С. 19-51.
13. Петров, А. П. План формирования поездов [Текст] / А. П. Петров. – М.: Трансжелдориздат, 1950. – 483 с.

14. Сотников, Е. А. Определение простоя вагонов под накоплением [Текст] / Е. А. Сотников // Вопросы эксплуатации железных дорог: труды Ленинград. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1962. – Вып. 189. – С. 114-139.
15. Акулиничев, В. М. Организация вагонопотоков и маршрутизация перевозок [Текст] / В. М. Акулиничев, О. С. Кирьянова, Н. Е. Боровой. – М.: Транспорт, 1970. – 320 с.
16. Балокин, Г. А. Исследование задержек вагонов под накоплением при допуске отклонения веса грузовых поездов от установленной нормы [Текст] / Г. А. Балокин, А. В. Дмитренко // Труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1971. – Вып. 131. – С. 19-36.
17. Платонов, А. И. Метод сокращения простоя вагонов под накоплением [Текст] / А. И. Платонов. – Л.: ДорНИТО Окт. ж.д., 1946. – 23 с.
18. Платонов, А. И. Организация работы сортировочных станций [Текст] / А. И. Платонов. – М.: Трансжелдориздат, 1941. – 160 с.
19. Платонов, А. И. Взаимодействие процессов на сортировочных станциях [Текст] / А. И. Платонов. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – 105 с.
20. Бернгард, К. А. Техническая маршрутизация железнодорожных перевозок: труды ЦНИИ МПС [Текст] / К. А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – Вып. 119. – 243 с.
21. Тихомиров, И. Г. Основы технологии работы участковых и сортировочных станций [Текст] / И. Г. Тихомиров. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 184 с.
22. Тихомиров, И. Г. Основы технологического процесса работы сортировочных станций [Текст] / И. Г. Тихомиров. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – 216 с.
23. Плугач, Б. А. Передовые методы расформирования и формирования поездов [Текст] / под ред. Б. А. Плугача. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – 110 с.
24. Грунтов, П. С. Ускорение процесса накопления вагонов на сортировочных станциях при неравномерном поступлении поездов в расформирование [Текст] / П. С. Грунтов // Труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1966. – Вып. 44-бд. – С. 24-30.
25. Ряшко, Б. В. Совершенствование эксплуатационной работы. (Опыт Пермского отделения) [Текст] / Б. В. Ряшко, Г. Г. Трегубов, И. В. Харланович. – М.: Транспорт, 1971. – 96 с.
26. Скумбин, М. К. Научная организация труда у пермских железнодорожников [Текст] / М. К. Скумбин. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1969. – 148 с.
27. Иловайский, Н. Д. Расчеты плана отправления поездов с сортировочной станции на ЭЦВМ [Текст]: В кн. Совершенствование методов эксплуатационной работы железных дорог / Н. Д. Иловайский. – Свердловск, 1964. – 241 с.
28. Иловайский, Н. Д. О выборе оптимального решения работы сортировочной станции [Текст] / Н. Д. Иловайский // Вестник ЦНИИ МПС. – 1963. – № 2. – С. 4-7.

29. Бернгард, К. А. Автоматизация текущего планирования поездной работы в крупных узлах [Текст] / К. А. Бернгард, М. А. Бикчентай // Вестник ЦНИИ МПС. – 1961. – № 7. – С. 63-67.

30. Иловайский, Н. Д. Алгоритмизация управления производственным процессом на сортировочных станциях [Текст] / Н. Д. Иловайский // Труды ЦНИИ МПС. – 1963. – Вып. 258. – 94 с.

31. Иловайский, Н. Д. Расчет поездообразования на сортировочных станциях с обеспечением минимального простоя вагонов [Текст]: в кн. Управление перевозочным процессом с применением электронных машин / под ред. проф. Л. П. Петрова. – М.: Трансжелдориздат, – 1963. – С. 137-152.

32. Грунтов, П. С. Алгоритм поездообразования на односторонней сортировочной станции [Текст] / П. С. Грунтов, И. В. Харланович // Вопросы эксплуатации железных дорог: труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1968. – Вып. 68. – С. 73-87.

33. Арис, Р. Дискретное динамическое программирование [Текст] / Р. Арис. – М.: Мир, 1969. – 171 с.

34. Иловайский, Н. Д. Методика планирования поездообразования на сортировочных станциях [Текст] / Н. Д. Иловайский // В сб. Совершенствование методов эксплуатации железных дорог. – Свердловск. – 1965. – С. 151-175.

35. Иловайский, Н. Д. Структура и опыт эксплуатации автоматизированной системы текущего планирования работы сортировочных станций [Текст] / Н. Д. Иловайский, А. И. Кириченко, И. П. Никулин // Вычислительная техника (ЦНИИТЭИ МПС). – 1972. – Вып. 5(19). – С. 1-32.

36. Горянский, В. М. Оперативное планирование работы сортировочной станции [Текст] / В. М. Горянский, Ш. Н. Норматов // Труды Ташкент. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1972. – Вып. 89. – С. 50-55.

37. Грунтов, П. С. Исследование технологии сортировочных станций методом сетевого моделирования [Текст] / П. С. Грунтов, Ф. П. Пищик // Труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1970. – Вып. 78. – С. 162-75.

38. Конарев, Н. С. Сетевое планирование и управление поездообразованием [Текст] / Н. С. Конарев, А. И. Шутов, Н. Д. Иловайский // Железнодорожный транспорт. – 1967. – № 8. – С. 43-46.

39. Иловайский, Н. Д. Управление поездообразованием по сетевому графику [Текст] / Н. Д. Иловайский // Вопросы эксплуатации железных дорог: труды Харьк. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та имени С. М. Кирова. – 1970. – Вып. 114. – С. 15-24.

40. Иловайский, Н. Д. Опыт использования ЭВМ и математических методов в оперативном управлении грузовыми перевозками на юго-западной дороге [Текст] / Н. Д. Иловайский и др. // Труды Моск. ин-т инж. тр-та. – 1973. – Вып. 449. – С. 13-16.

41. Годович, Ю. И. Научная эксплуатация работы железных дорог [Текст] / под ред. Ю. И. Годовича. – М.: Транспорт, 1976. – 208 с.

42. Москалев, П. И. Методика оптимизации технологии работы сортировочной станции [Текст] / П. И. Москалев, П. Р. Потапов // Труды

Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1971. – Вып. 131. – С. 50-62.

43. Тиличенко, А. Г. Оперативное планирование эксплуатационной работы с применением вычислительной техники [Текст] / Под ред. А. Г. Тиличенко // Труды Хабар. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1965. – Вып. 20. – С. 5-14.

44. Попсуев, А. В. Основы расчета плана формирования поездов с учетом стоимости перевозимых грузов [Текст] / А. В. Попсуев // Труды Хабар. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1961. – Вып. 12. – С. 12-19.

45. Тиличенко, А. Г. Оптимальное управление очередностью технологических операций при оперативном планировании эксплуатационной работы [Текст] / А. Г. Тиличенко, В. С. Рицнер // Вопросы эксплуатации железнодорожного транспорта: труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1979. – Вып. 203/16. – С. 3-15.

46. Конвей, Р. В. Теория расписаний [Текст] / Р. В. Конвей, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. Пер. с англ. В. А. Кокотушкина и Д. Г. Михалева. Под ред. Г. П. Башарина. – М.: Наука, 1975. – 360 с.

47. Smith, M. L. Flowshop sequencing problem with order processing time matrices [Текст] / Smith M. L., Panwalkar S. S., Dulek R. A. – Manag Sci. – 1975. – № 21. – P. 549-554.

48. Тиличенко, А. Г. Задача о сортировке [Текст] / А. Г. Тиличенко, В. С. Рицнер – В кн.: Исследование работы клееных деревянных конструкций, 1975. – С. 179-185.

49. Шкурба, В. В. Задача трех станков [Текст] / В. В. Шкурба. – М.: Наука, 1976. – 96 с.

50. Скоробогатько, В. В. К вопросу о комплексном применении методов станционной регулировки [Текст] / В. В. Скоробогатько // Труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1968. – Вып. 68. – С. 126-131.

51. Буянов, В. А. Автоматизированные информационные системы на железнодорожном транспорте [Текст] / В. А. Буянов, Г. С. Ратин. – М.: Транспорт, 1984. – 240 с.

52. Крюков, Н. Д. Совершенствование оперативного планирования в современных условиях [Текст] / Н. Д. Крюков // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: труды Урал. эл.-мех. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1969. – Вып. 13. – С. 54-59.

53. Харланович, И. В. Основные требования к созданию системы оптимального планирования перевозками и роль в этом вычислительных центров на дорогах [Текст] / И. В. Харланович // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: труды Урал. эл.-мех. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1969. – Вып. 13. – С. 7-11.

54. Тулупов, Л. П. Оперативное планирование эксплуатационной работы: труды ВНИИЖТа [Текст] / под ред. Л. П. Тулупова. – М.: Транспорт, 1977. – Вып. 571. – 207 с.

55. Тулупов, Л. П. Многофакторное оперативное нормирование времени выполнения технологических процессов [Текст] / Л. П. Тулупов, Ян Юйлиан // Вестник ВНИИЖТа. – 1997. – № 5. – С. 20-24.

56. Тулупов, Л. П. Многофакторное оперативное нормирование дифференцированных перегонных времен хода грузовых поездов [Текст] / Л. П. Тулупов, А. В. Харитонов // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 1999. – № 1. – С. 37-41.
57. Тулупов, Л. П. Применение ситуационно-эвристических методов в оперативном планировании поездной и грузовой работы [Текст] / Л. П. Тулупов // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 3. – С. 71-74.
58. Тулупов, Л. П. Оптимизация управления перевозками на линейном уровне [Текст] / Л. П. Тулупов // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 6. – С. 34-36.
59. Тулупов, Л. П. Текущее планирование поездной работы технических станций [Текст] / Л. П. Тулупов, Ян Юйлиан // Железнодорожный транспорт. – 1997. – № 6. – С. 28-31.
60. Тулупов, Л. П. Автоматизированные системы управления перевозочными процессами на железных дорогах [Текст] / Л. П. Тулупов, Е. М. Жуковский, А. М. Гусятинер. – М.: Транспорт, 1991. – 208 с.
61. Бодюл, В. И. Прогнозирование поездного положения на двухпутных линиях в реальном времени [Текст] / В. И. Бодюл, А. М. Лизунов // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 1993. – № 7. – С. 22-26.
62. Лизунов, А. И. Прогнозирование поездных ситуаций [Текст] / А. И. Лизунов // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 7. – С. 12-16.
63. Стуров, С. В. Подготовка станции к внедрению АСУСС второй очереди [Текст] / С. В. Стуров // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 5. – С. 51-52.
64. Тищенко, С. А. Оперативное планирование пропуска поездов по диспетчерским участкам [Текст] / С. А. Тищенко // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 2001. – № 5. – С. 40-43.
65. Нейман, Дж. Фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов [Текст] / Дж. Фон Нейман. – М.: Мир, 1971. – 430 с.
66. Рио, Б. дел Информационно-планирующая система железнодорожных узлов [Текст] / Б. дел Рио. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
67. Рио, Б. дел. Автоматизация диспетчерского управления (применительно к железнодорожному транспорту) [Текст] / Б. дел Рио. – К.: Научная мысль, 1965. – 172 с.
68. Пархоменко, Н. В. Случайный поиск и эвристическое программирование в планировании работы сортировочной станции [Текст] / Н. В. Пархоменко // Вестник ЦНИИ МПС. – 1967. – № 8. – С. 51-54.
69. Сотников, Е. А. Закономерности составаобразования на сортировочных станциях [Текст] / Е. А. Сотников // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 1968. – № 6. – С. 27-29.
70. Иванков, Н. М. Исследование процесса накопления составов с помощью ЭЦВМ [Текст] / Н. М. Иванков // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: труды Днепропетр. ин-т. инж. тр-та. – 1969. – Вып. 90/6. – С. 90-96.

71. Быкадоров, А. В. Исследование процесса поездообразования в сортировочном парке [Текст] / А. В. Быкадоров, А. М. Макуха, П. Р. Потапов // Труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1971. – Вып. 131. – С. 3-18.
72. Быкадоров, А. В. Исследование процессов в сортировочном парке [Текст] / А. В. Быкадоров, П. Р. Потапов // Труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. - 1974. - Вып. 158. С. 27-49.
73. Бодюл, В. И. Исследование времени накопления состава [Текст] / В. И. Бодюл // Оптимальная эксплуатация железных дорог: труды Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1973. – Вып. 420. – С. 82-93.
74. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности [Текст] / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
75. Кокс, Д. Теория восстановления [Текст] / Д. Кокс, В. Смит. – М.: Советское радио, 1967. – 300 с.
76. Федотов, Н. И. Путевое развитие сортировочных парков [Текст] / Н. И. Федотов // Труды Новосибирского ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1967. – Вып. 65. – С. 3-18.
77. Бодюл, В. И. Исследование некоторых вопросов взаимодействия элементов сортировочного комплекса станций [Текст] / В. И. Бодюл // Труды Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1971. – Вып. 362, – С. 95-99.
78. Тихомиров, И. Г. Технология работы участковых и сортировочных станций [Текст] / И. Г. Тихомиров, П. С. Грунтов и др. – М.: Транспорт, 1973. – 272 с.
79. Лебедева, Т. Н. Расчет времени нахождения вагонов на сортировочных и участковых станциях: труды ЦНИИ МПС [Текст] / под ред. Т. Н. Лебедевой // М.: Транспорт, 1973. – Вып. 481. – 184 с.
80. Брайко, О. В. Методика расчета времени окончания накопления составов [Текст]. / О. В. Брайко, А. А. Скопин, Н. Г. Семиренко // Труды Ростов.ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1984. – Вып. 177. – С. 29-34.
81. Аветикян, М. А. Эффективность интенсификации формирования сквозных поездов с использованием двух путей накопления на сортировочных станциях [Текст] / М. А. Аветикян // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных дорог: межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1983. – Вып. 736. – С. 19-21.
82. Окунь, А. Г. Организация вагонопотоков в поезда, расформируемые в режиме параллельного роспуска [Текст] / А. Г. Окунь // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных до рог: межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-т. инж. тр-та. –1983. – Вып. 736. – С. 23-25.
83. Сотников, Е. А. Специализация сортировочных путей при параллельном роспуске составов [Текст] / Е. А. Сотников, Е. Г. Атаманенко // Железнодорожный транспорт. - 1981. - № 3. - С. 15-17.
84. Вардосанидзе, Л. Г. Поточная переработка вагонов на горках [Текст] / Л. Г. Вардосанидзе, А. В. Абуладзе // Железнодорожный транспорт. – 1979. –

№ 2. – С. 11-14.

85. Лерман, В. Д. Совершенствование оперативного управления работой сортировочных станций [Текст] / В. Д. Лерман. – М.: Транспорт, 1982. – 40 с.

86. Волков, В. А. Совершенствование эксплуатации железных дорог [Текст] / В. А. Волков, Д. Ю. Левин, В. Д. Лерман. – М.: Транспорт, 1984. – 208 с.

87. Гершвальд, А. С. Оптимизация оперативного управления процессом грузовых перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / А. С. Гершвальд. – М.: Интекст, 2001. – 240 с.

88. Гершвальд, А. С. Автоматизация функций станционного диспетчера [Текст] / А. С. Гершвальд // Интенсификация перевозок грузов на железнодорожном транспорте: сб. науч. тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 1989. – С. 77-88.

89. Гершвальд, А. С. Диспетчерское управление перевозками в условиях рынка [Текст] / А. С. Гершвальд // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 2. – С. 70-72.

90. Гершвальд, А. С. Алгоритм оптимального порейсового планирования поездных и маневровых маршрутов в парках станции [Текст] / А. С. Гершвальд, А. Г. Спокойный, О. В. Закопаева // Вопросы совершенствования управления эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте: межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-т. инж. тр-та. – 1985. – Вып. 770. – С. 70-71.

91. Гершвальд, А. С. Автоматизация управления сортировочной работой станции [Текст] / А. С. Гершвальд // Приборы и системы управления. – 1986. – № 12. – С. 6-7.

92. Юйлиан, Ян. Автоматизированное текущее планирование поездной работы на технических станциях [Текст]: дис. на соискание ученой степени к. т.н. / Ян Юйлиан. – М.: МИИТ, 1999. – 132 с.

93. Левин, Д. Ю. Как повысить эффективность работы дорожных диспетчеров [Текст] / Д. Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 10. – С. 12-16.

94. Левин, Д. Ю. Как повысить эффективность работы поездного диспетчера [Текст] / Д. Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 11. – С. 8-13.

95. Левин, Д. Ю. Современные принципы и технология оперативного управления поездной работой [Текст] / Д. Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 4. – С. 27-33.

96. Левин, Д. Ю. Технология управляющего режима работы диспетчерских центров [Текст] / Д. Ю. Левин // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 2004. – № 5. – С. 22-32.

97. Левин, Д. Ю. Оперативная организация вагонопотоков [Текст] / Д. Ю. Левин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 2. – С. 12-17.

98. Левин, Д. Ю. Составообразование. Метод планирования и управления [Текст] / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 3. – С. 53-55.

99. Харитонов, А. В. Планирование поездообразования на полигоне [Текст] / А. В. Харитонов // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 7. – С. 17-22.
100. Бородин, А. Ф. "Полигон" - новая автоматизированная система текущего планирования [Текст] / А. Ф. Бородин, А. В. Харитонов, Е. В. Прилепин // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 4. – С. 10-16.
101. Харитонов, А. В. Методы оперативного управления вагонопотоками на полигоне дороги [Текст]: дис. на соискание ученой степени к.т.н. / А. В. Харитонов. – М.: ВНИИАС МПС, – 2005. – 227 с.
102. Борознов, В. О. Построение модели для задачи о порядке роспуска составов на сортировочной железнодорожной станции [Текст] / В. О. Борознов // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 6. – С. 178-182.
103. Борознов, В. О. Некоторые аспекты формирования поездов при решении задачи по определению порядка роспуска составов на сортировочной железнодорожной станции / В. О. Борознов, Г. А. Попов // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 2. – С. 13-21.
104. Борознов, В. О. Оценка эффективности метода решения задачи «Определение порядка роспуска составов на сортировочной железнодорожной станции» [Текст] / В. О. Борознов // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 2. – С. 147-151.
105. Курейчик, В. М. Применение генетических алгоритмов для решения комбинаторно-логических задач оптимизации [Текст] / В. М. Курейчик // Интеллектуальные САПР: Междуведом. темат. науч. сб. – 1995. – Вып. 5. – С. 132-133.
106. Борознов, В. О. Оценка эффективности метода решения задачи «по определению порядка роспуска составов на сортировочной железнодорожной станции» / В. О. Борознов // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2009. – № 1. – С. 82-87.
107. Борознов, В. О. Некоторые аспекты формирования поездов при решении задачи по определению порядка роспуска составов на сортировочной железнодорожной станции [Текст] / В. О. Борознов // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2008. – № 4. – С. 194-196.
108. Гершвальд, А. С. Оптимальное управление процессами работы базовой станции опорного центра [Текст] / А. С. Гершвальд // Железные дороги мира. – 2002. – № 6. – С. 28-33.
109. Александров, А. Э. Автоматизированная система прогнозирования поездообразования на сортировочной станции [Текст] / А. Э. Александров, В. Ю. Пермикин, С. С. Шавзис // Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Междунар. конф. ИНФОТРАНС-2001. – 2001. – С. 5-6.
110. Александров, А. Э. Автоматизированная система планирования поездообразования на сортировочной станции [Текст] / А. Э. Александров и др. // Труды ВНИИУП МПС России. – 2002. – Вып. 1. – С. 109-118.

111. Шавзис, С. С. Планирование поездообразования: новые подходы и решения [Текст] / С. С. Шавзис // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 5. – С. 43-47.
112. Шавзис, С. С. Автоматизация расчета поездообразования на сортировочных станциях [Текст]: дис. на соискание ученой степени к.т.н. / С. С. Шавзис. – Екатеринбург: УрГУПС МПС РФ, 2003. – 157 с.
113. Козлов, П. А. Гибкая технология как способ интенсификации работы железнодорожного транспорта [Текст] / П. А. Козлов // Гибкая технология работы железнодорожного транспорта в условиях интенсификации перевозочного процесса: труды Урал. эл.-мех. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1989. – Вып. 81. – С. 4-19.
114. Козлов, П. А. Распределительная динамическая транспортная задача с управляемыми задержками в сетевой постановке [Текст] / П. А. Козлов, С. П. Миловидов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – Деп. №1721-В86. – 1986.
115. Миловидов, С. П. Динамическая транспортная задача в сетевой постановке [Текст] / С. П. Миловидов, П. А. Козлов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1982. – № 1. – С. 211-212.
116. Козлов, П. А. Универсальная имитационная система транспорта ИСТРА [Текст] / П. А. Козлов // Межвуз. сборник Организация работы транспорта промышленных предприятий. – Калинин: Изд-во КГУ. – 1984. – С. 41-53.
117. Козлов, П. А. Моделирование железнодорожных станций с помощью системы ИСТРА: УрГУПС [Текст] / под ред. П. А. Козлова. – Екатеринбург, 2000. – 41 с.
118. Ломотько, Д. В. Метод оцінки та відбору нечіткої інформації при формування систем підтримки прийняття рішень у підрозділах залізницях / Д. В. Ломотько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №2. – С.3-9.
119. Ломотько, Д. В. Формування нечіткої бази знань та систем підтримки прийняття рішення у підрозділах залізницях / Д. В. Ломотько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №2. – С.52-57.
120. Белов, В. В. Управление железнодорожным транспортом на основе автоматической идентификации подвижного состава [Текст] / В. В. Белов, В. А. Буянов // Вестник Всероссийск. науч.-исслед. ин-т. жел.-дор. тр-та. – 2003. – № 1. – С. 3-11.
121. Шапкин, И. Н. Информационные технологии в организации перевозок [Текст] / И. Н. Шапкин // Железные дороги мира. – 2003. – № 4. – С. 5-14.
122. Яновський, П. О. Техніко-економічне обґрунтування стабілізації руху вантажних поїздів / П. О. Яновський // Залізничний транспорт України. – 2001. – №6. – 31-34.
123. Селецький, В. С. Про пристрої обслуговування заявок [Текст] / В. С. Селецький, Я. А. Федак // Інформаційно-керуючі системи на залізничному

транспорті. – 2001. – № 5. – С. 31-34.

124. Селецький, В. С. Система обслуговування з пріоритетами [Текст] / В. С. Селецький // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 3, – С. 71-72.

125. Луханін, М. І. Нестабільність роботи підсистеми розформування [Текст] / М. І. Луханін, В. С. Селецький // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – № 2. – С. 74-77.

126. Луханін, М. І. Застосування методу декомпозиції для моделювання підсистеми розформування на сортувальній станції Львів [Текст] / М. І. Луханін, В. С. Селецький // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 4. – С. 16-19.

127. Луханін, М. І. Удосконалена модель підсистеми розформування поїздів на сортувальній станції [Текст] / М. І. Луханін, В. С. Селецький // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – № 6. – С. 71-74.

128. Кривошей, Б. А. Технологическая модель составаобразования местных поездов [Текст] / Б. А. Кривошей, Е. А. Лавриненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 2. – С. 62-65.

129. Гейнрих. Учение об эксплуатации железных дорог [Текст] / Гейнрих. – ОГИЗ, Гострансиздат, 1931. – 312 с.

130. Хей, Вильям В. Основы организации транспорта США [Текст] / Вильям В. Хей. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 234 с.

131. G. Potthoff. Neue Anwendungen mathematischer Methoden im Eisenbahnbetrieb – “D. Eisenbahntechnik”. Н. 4, 1962.

132. Лауэр, К. Б. Американские железные дороги и их эксплуатация [Текст] / К. Б. Лауэр. – М.: Трансжелдориздат, 1936. – 167 с.

133. Аксенов, И. Я. Регулирование перевозок на зарубежных железных дорогах [Текст] / И. Я. Аксенов. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 179 с.

134. Израилимский-Марут, Е. С. Организация движения на зарубежных железных дорогах [Текст] / Израилимский-Марут Е. С. – М.: Транспорт, 1964. – 189 с.

135. Петров, А. П. Управление перевозочным процессом с применением электронных цифровых вычислительных машин [Текст] / под ред. А. П. Петрова. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 207 с.

136. Петров, А. П. Системы дистанционной передачи информации в железнодорожные вычислительные центры США [Текст] / А. П. Петров // Железнодорожный транспорт. – 1962. – № 2. – С. 23-34.

137. C 8c NW Has System Wide Car Reporting – «Railway Signalling and Communications». – September. – 1959. – № 2.

138. Planning the C 8c0' s CLic-The Economics of Data Communications – «Railway Signalling Communications». – July. – 1960.

139. Сортировочные станции и эффективность перевозок [Текст] // Железные дороги мира. – 1999. – № 2. – С. 8-12.

140. Бородин, А. Ф. Организация вагонопотоков на железных дорогах Польши [Текст] / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №

1. – С.74-77.

141. Бородин, А. Ф. Новая система организации грузового движения на железных дорогах Польши [Текст] / А. Ф. Бородин, Е. Жук // Железнодорожный транспорт. – Сер. Организация движения и пассажирские перевозки: ЭИ/ЦНИИТЭИ. – 1997. – Вып. 4. – С. 27-34.

142. Король, В. А. Эффект современных информационных технологий [Текст] / В. А. Король, В. А. Буянов // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 1. – С. 73-77.

143. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа на железных дорогах мира [Текст] / Е. А. Сотников, И. Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №1. – С. 72-77.

144. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа на железных дорогах мира [Текст] / Е. А. Сотников, И. Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №2. – С. 72-77.

145. Модернизация сортировочной станции Антверпен-Северный [Текст] // Железные дороги мира. – 1999. – №2. – С. 5-8.

146. M. Peschel. Rail Engineerig International. – 1998. – № 1. – P. 6-9.

147. K. Kube. Progressive Railroading. – 2002. – № 7. – P. 50-52.

148. Буянов, В. А. Автоматизация оперативного планирования работы станций [Текст] / под ред. В. А. Буянова. – М.: Транспорт, 1971. – 240 с.

149. Журавель, В. В. Точність гальмування, кількість вагонів у відцепі та показники роботи сортувальної гірки [Текст] / В. В. Журавель // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 28. – С. 133-136.

150. Типовий технологічний процес роботи сортувальних станцій [Текст] / – К.: Транспорт України, 1999. – 240 с.

151. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст]: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высш шк., 1982. – 224 с.

152. Бородич, С. А. Эконометрика [Текст] / С. А. Бородич. – Минск.: Новое знание, 2001. – 408 с.

153. Шарапов, О. Д. Економічна кібернетика [Текст] / О. Д. Шарапов, В. Д. Дербенцев, Д. Є. Семьонов. – К.: КНЕУ, 2004. – 231 с.

154. Яновський, П. О. Дослідження впливу факторів на час перебування поїздів на дільницях / П. О. Яновський // Залізничний транспорт України. – 2008. – №3. – 25-29.

155. Кельтон, В. Имитационное моделирование [Текст] / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб.: Питер; К.: Издат. группа ВHV, 2004. – 847 с.

156. Мартин, Ф. Моделирование на вычислительных машинах [Текст] / Ф. Мартин. – М.: Сов. Радио, 1972. – 288 с.

157. Томашевський, В. М. Моделювання систем [Текст] / В. М. Томашевський. – К.: Видавнича група ВHV, 2005. – 352 с.

158. Технологический процесс работы станции Нижнеднепровск-Узел / – Д., 2010. – 202 с.

159. Гилл, А. Введение в теорию конечных автоматов [Текст] / А. Гилл. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
160. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика [Текст] / А. И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
161. Пищик, Ф. П. Анализ простоя поездов с замыкающими группами в парке прибытия сортировочных станций [Текст] / Ф. П. Пищик // Труды Белор. ин-т. инж. жел.-дор. тр-та. – 1972. – Вып. 108. – С. 62-66.
162. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст] Затв.: Наказ Укрзалізниці 25.03.03. № 0-72/ ЦЗ / Мін-во транспорту України. – Київ, – 2003. – 81 с.
163. Бардась, О. О. Оцінка залежності ефективності формування від параметрів структури составів [Текст] / О. О. Бардась // Проблеми економіки транспорту. ІХ Міжнар. науково-практична конф., 22-23 квітня 2010 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 24.
164. Бардась, О. О. Розвиток багаторівневої моделі управління поїздоутворенням на основі планування черговості розпуску составів [Текст] / О. О. Бардась // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 13-14 травня 2010 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 5-6.
165. Бардась, О. О. Дослідження ефективності формування від параметрів структури составів, що накопичуються [Текст] / О. О. Бардась // Інтеграція України в міжнародну транспортну систему. 2 Міжнар. науково-практична конф., 27-28 травня 2010.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 5-6.
166. Ермольев, Ю. М. Математические методы исследования операций [Текст] / под ред Ю. М. Ермольева. – Киев, 1979. – 302 с.
167. Електронний ресурс <http://ru.wikipedia.org/wiki/Декомпозиция>.
168. Бардась, О. О. Підвищення економічної ефективності автоматизованих систем управління сортувальних станцій [Текст] / О. О. Бардась // Проблеми економіки транспорту. VII Міжнар. науково-практична конф., 24-25 квітня 2008 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – С. 152.
169. Бардась, О. О. Удосконалення планування розпуску составів на сортувальних станціях на основі оперативних даних автоматизованих систем управління вантажними перевезеннями [Текст] / О. О. Бардась // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 15-16 травня 2008 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – С. 3.
170. Скалозуб, В. В. Дослідження економічного змісту задачі планування послідовності розпуску составів [Текст] / В. В. Скалозуб, О. О. Бардась // Проблеми економіки транспорту. VIII Міжнар. науково-практична конф., 16-17 квітня 2009 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – С. 146.

171. Бардась, О. О. Удосконалення автоматизованих систем планування розпуску составів [Текст] / О. О. Бардась // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 14-15 травня 2009 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – С. 5-6.

172. Данциг, Дж. Лінійне програмування, його застосування та узагальнення [Текст] / Дж. Данциг. – М.: Прогрес, 1964. – 600 с.

173. Ермольев, Ю. М. Методы стохастического программирования [Текст] / Ю. М. Ермольев. – М.: Наука, 1976, – 240 с.

174. Подиновский, В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям [Текст] / В. В. Подиновский. – М.: Советское Радио, 1975. – 146 с.

175. Бардась, О. О. Про підвищення ефективності формування поїздопотоків в залізничних транспортних системах [Текст] / О. О. Бардась // Проблеми та перспективи розвитку транспорту. 71 Міжнар. науково-практична конф., 14-15 квітня 2011 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – С. 7.

176. Бардась, О. О. Розвиток методів вибору черговості розпуску составів на сортувальній станції [Текст] / О. О. Бардась // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті. Міжнар. науково-практична конф., 12-13 травня 2011 р.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – С. 122-123.

177. Бардась, О. О. Удосконалення управління залізничними транспортними системами за рахунок вибору черговості розпуску составів [Текст] / О. О. Бардась // Інтеграція України в міжнародну транспортну систему. 3 Міжнар. науково-практична конф., 17-18 листопада 2011.: тези доп. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – С. 7-8.

ДОДАТОК А

Пошук залежностей тривалості руху вантажного поїзда по ділянкам від маси составу поїзда та перевірка адекватності отриманих залежностей.

1.) Ділянка Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол.

а.) Залежність виду

. , , .

б.) Залежність виду

. , .

в.) Залежність виду

. , .

г.) Залежність виду

. , .

д.) Залежність виду

. , .

е.) Залежність виду

. , .

є.) Залежність виду

. , .

ж.) Залежність виду

. , .

з.) Залежність виду

. , .

2.) Ділянка Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол.

а.) Залежність виду

. , , .

б.) Залежність виду

.

- в.) Залежність виду .
, , .
- г.) Залежність виду .
, , , .
- д.) Залежність виду .
, , .
- е.) Залежність виду .
, , .
- є.) Залежність виду .
, , .
- ж.) Залежність виду .
, , .
- з.) Залежність виду .
, , , .
- и.) Залежність виду .
, , .
- і.) Залежність виду .
, , .
- к.) Залежність виду .
, , .
- 3.) Перевірка адекватності рівнянь регресії.
3.1.) Ділянка Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол.
а.) Перевірка випадковості елементів залишкового ряду.
Кількість поворотних точок .
Кількість дослідів .

Отже значення елементів залишкового ряду є випадковими.

б.) Перевірка незалежності значень елементів залишкового ряду.

Розраховуємо значення d-критерію:

Критичні значення критерію Дарбіна-Уотсона при кількості дослідів

, рівні значимості та кількості змінних рівняння регресії

становлять , . Оскільки , то автокореляція відсутня. Отже значення елементів залишкового ряду є взаємозалежні.

в.) Перевірка залишкового ряду на відповідність нормальному розподілу.

Таблиця А.1 – Розрахунок критерію згоди Пірсона для залишкового ряду залежності $Tr=f(Q)$ ділянки Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол.

Значення критерію Пірсона становить . Критичне значення критерію Пірсона при числі ступенів свободи та рівні значимості

становить . Оскільки, , то гіпотезу про нормальний закон розподілу відкидаємо.

3.2.) Ділянка Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол.

а.) Перевірка випадковості елементів залишкового ряду.

Кількість поворотних точок .

Кількість дослідів .

Отже значення елементів залишкового ряду є випадковими.

б.) Перевірка незалежності значень елементів залишкового ряду.

Розраховуємо значення d-критерію:

Критичні значення критерію Дарбіна-Уотсона при кількості дослідів , рівні значимості та кількості змінних рівняння регресії становлять , . Оскільки , то автокореляція відсутня. Отже значення елементів залишкового ряду є взаємозалежні.

в.) Перевірка залишкового ряду на відповідність нормальному розподілу.

Таблиця А.2 – Розрахунок критерію згоди Пірсона для залишкового ряду залежності $Tr=f(Q)$ ділянки Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол.

Значення критерію Пірсона становить . Критичне значення критерію Пірсона при числі ступенів свободи та рівні значимості

становить . Оскільки, , то гіпотеза про нормальний закон розподілу підтверджується.

4.) Визначення точності отриманих моделей регресії.

4.1.) Ділянка Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол.

Загальна сума відносних похибок становить:

Відносна точність моделі регресії становить:

4.2.) Ділянка Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол.

Загальна сума відносних похибок становить:

Відносна точність моделі регресії становить:

ДОДАТОК Б

Визначення відносної точності прогнозу прибуття поїздів.

1.) Ділянка Синельникове II – Нижньодніпровськ-Вузол.

Таблиця Б.1 – Статистичний ряд розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із підходу Синельникове II

Розряд		$\Delta t_{\text{сер}}$	m_j	P_j	h_j	$\Delta t_{\text{сер}} \cdot P_j$	$\Delta t_{\text{сер}}^2 \cdot P_j$
-65,7	-49,9	-57,8	6	0,038	0,0024	-2,20	126,95
-49,9	-34,1	-42,0	5	0,032	0,0020	-1,34	56,45
-34,1	-18,3	-26,2	7	0,045	0,0028	-1,18	30,89
-18,3	-2,5	-10,4	30	0,192	0,0122	-2,00	20,77
-2,5	13,3	5,4	77	0,494	0,0313	2,67	14,41
13,3	29,1	21,2	30	0,192	0,0122	4,07	86,29
29,1	44,9	37,0	1	0,006	0,0004	0,22	8,21
			156	0,999		0,24	343,97

Математичне очікування похибки прогнозування складає
Дисперсія похибки прогнозування складає

Середньоквадратичне відхилення похибки прогнозування складає

Загальна сума відносних похибок становить

Відносна точність моделі регресії становить

2.) Ділянка Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол.

Таблиця Б.2 – Статистичний ряд розподілу точності прогнозу прибуття поїздів із підходу Новомосковськ

Розряд		$\Delta t_{\text{сер}}$	m_j	P_j	h_j	$\Delta t_{\text{сер}} \cdot P_j$	$\Delta t_{\text{сер}}^2 \cdot P_j$
-19,9	-13,5	-16,7	10	0,083	0,0130	-1,39	23,15
-13,5	-7,1	-10,3	10	0,083	0,0130	-0,85	8,81
-7,1	-0,7	-3,9	25	0,208	0,0325	-0,81	3,16
-0,7	5,7	2,5	50	0,417	0,0652	1,04	2,61
5,7	12,1	8,9	15	0,125	0,0195	1,11	9,90
12,1	18,5	15,3	10	0,083	0,0130	1,27	19,43
			120	0,999		0,37	67,05

Математичне очікування похибки прогнозування складає

Дисперсія похибки прогнозування складає

Середньоквадратичне відхилення похибки прогнозування складає

Загальна сума відносних похибок становить:

Відносна точність моделі регресії становить:

ДОДАТОК В

Техніко-експлуатаційна характеристика станції Нижньодніпровськ-Вузол
Станція Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці
розташована на перехрещенні залізничних ліній Ясинувата – Знам’янка та
Херсон – Харків, за характером роботи – сортувальна, за обсягом роботи є
позакласною.

Станція має дві сортувальні системи. В кожній системі парки розташовані послідовно:

– в парній системі – парк приймання “З”, сортувальний парк “Д”, приймально-відправний парк “Є”;

– в непарній системі – парк приймання “Г” сортувальний парк “Б”, парк відправлення “Л”, приймально-відправний парк “І” розташований паралельно до парку приймання “Г”.

Будівлі постів електричної централізації стрілок і сигналів розташовані поблизу парків приймання “Г” та “З”, в приймально – відправних парках “Є” та “Л”. Будівлі постів чергових по гірці (надалі стисло ДСПГ) розташовані в районі вершини парної та непарної гірок з лівого боку по ходу насуву составів. Будівля поста маневрового диспетчера парної системи (надалі стисло ДСЦ) розташована також в районі вершини парної сортувальної гірки з правого боку по ходу насуву составів.

Станційний технологічний центр обробки поїзної інформації парку прибуття непарної системи розташований у парку “Г”. В цій же будівлі знаходиться і товарна контора станції

В парній системі розташована будівля двох технологічних центрів поїзної інформації, яка знаходиться у вихідній горловині парку “З” з лівої сторони по ходу насуву.

Пункти контрольної перевірки інвентарних номерів вагонів з поїздів, що надходять у розформування, розташовані у вхідних горловинах парків приймання поїздів “Г” і “З”. Пункти контрольної перевірки сформованих составів – в районі стрілочних горловин “Б – Л”, “Д – Є”.

На першому поверсі будівлі СТЦ знаходяться робочі місця оператора станційного технологічного центру поїзної інформації (надалі стисло оператор СТЦ) з колії № 5 сортувального парку “Б”, ремонтних колій, оператора СТЦ (по контрольній перевірці номерів вагонів). На 3-му поверсі СТЦ розміщені оператори СТЦ, що здійснюють облік вагонного парку.

Будівлі, де знаходяться чергові по парках (надалі стисло ДСПП), розташовані у вхідних горловинах парків “Є” та “Л”.

Стрілочні переводи, сигнали парків приймання “Г” та “З”, приймально-відправного парку “Є” обладнані пристроями електричної централізації стрілок та сигналів релейного типу з центральними залежностями; парку відправлення “Л”, приймально-відправного парку “І”, а також горловини парку “Б – Л” – маршрутно-релейною централізацією стрілочних переводів та сигналів.

Колії парку “Г” обладнані пристроями автоматичної гіркової локомотивної сигналізації при насуві на гірку. Стрілочні переводи всіх парків, які включені в електричну централізацію, обладнані пристроями автоматичного пневмообдування системи ГТСС. Десять стрілочних переводів вхідної горловини парку “Є” обладнані пристроями електрообігрівання.

Сортувальна гірка парної системи – автоматизована, обладнана пристроями ГАЦ і АЗСР, сортувальна гірка непарної системи – механізована.

Сортувальні гірки кожної системи мають по одній колії насуву, та обхідні колії в наступній кількості: на парній гірці – дві, на непарній – одна.

Колії сортувальних парків ув’язані в пучки: в парній системі – 2, в непарній – 5. На парній системі по 8 колій в кожному пучку, на непарній: в першому пучку – 5, в другому та третьому – по 7 колій, в четвертому – 8 колій, в п’ятому – 4 колії.

Кожна сортувальна гірка має по три гальмових позиції, із них: перша – перед розділювальною стрілкою, друга – перед головними стрілками пучків, третя – на початку колій сортувальних парків.

На першій, другій, третій гальмових позиціях парної сортувальної гірки гальмування відчепів здійснюється уповільнювачами; на непарній сортувальній гірці на першій, другій та третій гальмових позиціях гальмування відчепів здійснюється уповільнювачами, крім колій №№ 2, 3, 4, 5 сортувального парка “Б”, де відчепи на третій позиції гальмуються гальмовими башмаками регулювальником швидкості руху вагонів.

Згідно з планом формування, графіком руху поїздів, планом вантажної роботи станція виконує такі операції:

- розформування поїздів, що прибувають в переробку та внутрішньостанційних передач, в тому числі довгосоставних;
- формування наскрізних, дільничних, збірних, вивізних поїздів;
- пропуск транзитних поїздів із зміною локомотивів та локомотивних бригад;
- технічне обслуговування і комерційний огляд составів;
- відчеп вагонів від транзитних поїздів з технічними або комерційними несправностями, що потребують їх усунення;
- подачу вагонів до пунктів навантаження-вивантаження на під’їзні колії станції, під промивку на дезпром пункт, на колії пунктів перевантаження і прибирання їх на станцію;
- перестановку составів і груп вагонів з парка в парк і з однієї сортувальної системи в іншу;
- пропуск пасажирських поїздів і обслуговування пасажирів;
- подавання на колії МВРП вагонів, що потребують відчіпного ремонту та прибирання після ремонту.

Маневрову роботу по станції виконують 6 маневрових локомотивів серії ЧМЕ-3 та 2 поїзних локомотива (електровози) серії ВЛ-8. По непарній системі в парку приймання працюють 1 локомотив (електровоз) і 1 локомотив серії ЧМЕ-3, в сортувальному парку – 3 локомотива серії ЧМЕ-3. По парній системі парку приймання працює 1 локомотив серії ЧМЕ-3, в сортувальному парку – 2 локомотива серії ЧМЕ-3.

Подача та прибирання місцевих вагонів виконується локомотивом, який працює в сортувальному парку за розпорядженням ДСПГ.

Всі маневрові локомотиви обладнані пневматичними приводами для відчеплення від маневрового состава з кабіни машиніста, локомотиви непарної системи, крім цього, обладнані пристроями АЛС.

Парні поїзди зі станцій Нижньодніпровськ та Дніпропетровськ-Південний пропускаються по I та II головних коліях парків “З”, “Д” на колії парка “Є”. Після обробки їх в технічному та комерційному огляді відправляють у напрямку станцій Ігрень або Самарівка. Непарні транзитні поїзди без переробки зі станції Ігрень приймаються на колії парка “Г”. Транзитні поїзди зі станції Самарівка, як виняток, приймаються на колії №№ 2, 8 парку відправлення “Л”. Після обробки в технічному та комерційному відношенні їх відправляють у напрямку станції Нижньодніпровськ. В окремих випадках за розпорядженням чергового поїзного диспетчера пропуск транзитних поїздів зі станції Самарівка, які не потребують технічного обслуговування і комерційного огляду, може проводитись без зупинки по станції НД-Вузол і прямувати до станцій Нижньодніпровськ та Дніпропетровськ-Південний.

Вагонопотік, що надходить в переробку, приймається: зі станцій Нижньодніпровськ і Дніпропетровськ-Південний на колії парку “З”, зі станцій Ігрень та Самарівка – в парк “Г”. Після обробки составів в технічному та комерційному відношенні здійснюється розформування – формування через гірки і накопичення вагонів на коліях сортувальних

парків: на парній системі – в парку “Д”, на непарній – в парку “Б”. Формування составів виконується паралельно з розформуванням після завершення накопичення вагонів. Сформовані состави парного напрямку переставляються з колій парку “Д” на колії парку “Є”, після обробки в технічному та комерційному відношенні їх відправляють в сторону станції Ігрень та Самарівка.

Состави непарного напрямку сформовані на коліях №№ 18 – 30 парку “Б”, переставляються в парк “Л”, після обробки в технічному та комерційному відношенні їх відправляють за призначенням: з колій №№ 2 – 8 в сторону станції Нижньодніпровськ. При необхідності відправлення составу в сторону станції Дніпропетровськ-Південний поїзд після обробки переставляють на колію № 32 парку “Б” та через 9 “Л” колію відправляють за призначенням. Состави, які сформовані на коліях №№ 6 – 17, обробляють на цих коліях і відправляють безпосередньо із парку “Б”. При необхідності здійснюється перестановка вказаних составів на колії парку “Л” для обробки їх в технічному та комерційному відношенні і відправлення.

Вагони з місцевими вантажами, в парних поїздах, які надходять в переробку на адресу промислових підприємств, що примикають до парної системи, при розформуванні з гірки направляються на колію №3 парку “Д”, звідки господарчим локомотивом подаються на під’їзні колії “Нижнього” парку. Підбирання місцевих вагонів по пунктам подавання виконується на коліях “Нижнього” парку. Місцеві вагони з під’їзних колій “Нижнього” парку виводяться в парк “З” за маршрутами:

1. Колія №3 парку “Д”, колія №22, колії парку “З”.
2. Колія парку “Д” I гол. або II гол., колії парку “З” I гол. або II гол., підхід із станції Дніпропетровськ-Південний в парк “З”.
3. Колія №1 гол. парку “Д”, маневровий район №4, колії парку “Є” №№ 7, 11, колія №20 парку “Д”, колії парку “З”.

Перестановка составів за варіантами 1 і 3 може здійснюватися з використанням витяжної колії №52. Після обробки составів місцевих вагонів з парку “З” здійснюється насув та розформування на колії парку “Д” по спеціалізації. Місцеві вагони, які передаються з парної системи на непарну, при розформуванні составів направляються на колію № 18 парку “Д” з наступною передачею в парк “Г” непарної системи. Вагони, які прибули в непарних складах до розформування або в складах кутового потоку з парної системи, під вивантаження промисловим підприємствам, що примикають до непарної системи станції, при розформуванні направляються на 31 колію парку “Б”.

Складання сортувальних листків на вагони, які знаходяться на колії № 5 сортувального парку “Б” здійснюється ЕОМ після введення даних на вагони, що в наявності на указаній колії оператором СТЦ (по місцевій роботі) і оператором СТЦ відповідно до повідомлень форми ВУ-36 на вагони, які вийшли з ремонту, отриманих від бригадира МВРП, а також повідомлень старшого приймача колій перевантаження про номери вагонів, в яких усунені комерційні несправності.

Вагони кутового потоку, що надходять в парну систему, при розформуванні з гірки направляються на колію № 18 сортувального парку “Д”. Перестановка цих вагонів в парк “Г” непарної системи виконується по коліях № 18а, № 33. При розформуванні з непарної гірки вагони кутового потоку направляються на колії сортувального парку “Б” згідно спеціалізації.

Вагони кутового потоку, що надходять в парк “Г” з непарними поїздами, при розформуванні составів з гірки направляються на колії № 1, № 2 сортувального парку “Б”. З колій № 1, № 2 вагони передаються на витяжну колію № 52 або на колії парку “З” для розформування на гірці парної системи.

Станція Нижньодніпровськ-Вузол – структурний підрозділ Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень Придніпровської залізниці.

Станція організовує роботу на основі затвердженого технологічного процесу, графіка руху поїздів, плану формування, нормативів по навантаженню, вивантаженню, простою

вагонів, які забезпечують повну безпеку руху поїздів, схоронність рухомого складу та вантажів, ефективне використання технічних засобів.

Оперативне керівництво роботою зміни здійснює станційний диспетчер (ДСЦС). Змінний станційний диспетчер забезпечує:

- разом з черговим по Дирекції, поїзним диспетчером, локомотивним диспетчером і черговим по депо поточне планування роботи станції по 3-х годинних періодах;
- організацію виконання змінного плану по прийманню і відправленню поїздів та вантажній роботі і координацію дій працівників інших служб, які забезпечують роботу станції;
- раціональний розподіл сортувальної роботи між системами станції, а також узгодженість їх діяльності;
- контроль за ходом виконання плану місцевої роботи на станції;
- надання “вікон” для ремонту, заміни, профілактичного огляду технічного обладнання.

Станційний диспетчер керує роботою машиніста та складача поїздів локомотиву, який обслуговує під'їзні колії непарної системи, веде графік виконаного руху поїздів.

Оперативне керівництво маневровою роботою по розформуванню і формуванню поїздів, обробкою поїздів і составів у парках станції, контроль за станом динамічної моделі парної сортувальної системи здійснює маневровий диспетчер (ДСЦ), на непарній системі – черговий по гірці (ДСПГ).

Маневровий диспетчер парної системи здійснює керівництво маневровою роботою через ДСП, ДСЦ, ДСПГ, ДСПП.

Розпорядження станційного диспетчера по забезпеченню своєчасного і безпечного приймання, відправлення і пропуску поїздів, виконання маневрової роботи, а також безперебійної роботи технічних засобів станції є обов'язковими для працівників всіх служб, що зв'язані з обробкою, прийомом і відправленням поїздів.

Керуючись планом формування-розформування та відправлення поїздів, маневровий диспетчер парної системи і черговий по гірці непарної системи забезпечують завчасне підготування колій сортувальних парків для забезпечення розпуску составів без перешкод. При необхідності, ДСЦ парної системи дає розпорядження ДСПГ про зміну спеціалізації колій, а ДСП – про черговість перестановки сформованих составів. Маневровий диспетчер безпосередньо керує роботою бригад складачів парку формування і локомотиву на місцевій роботі парної системи.

Керівництво маневровою роботою на непарній системі по формуванню-розформуванню поїздів здійснює ДСПГ через змінних командирів: ДСП постів ЕЦ-1, МРЦ-3, операторів гірок розпорядчого поста. ДСПГ непарної системи безпосередньо підпорядковані оператори розпорядчого та виконавчих постів №№ 1, 2, 3, 4, складачі поїздів гірки та сортувального парку “Б”, регулювальники швидкості руху вагонів сортувального парку Б.

ДСПГ парної системи здійснює оперативне керівництво роботою парної сортувальної гірки по формуванню-розформуванню составів. Маршрути для насуву составів, подачу локомотивів під состави, на маневрові пересування готують ДСП парків прибуття за розпорядженням ДСПГ. В підпорядкуванні ДСПГ парної системи знаходяться: оператор ГАЦ і оператори виконавчих постів №№ 1, 2, бригада складачів гірки, регулювальник швидкості руху вагонів. ДСПГ здійснює гальмування уповільнювачами другого пучка (колії №№ 11 – 18 “Д”) другої гальмової позиції. У випадку несправності системи ГАЦ готує вручну маршрути при розпуску составів в II-му (лівому по ходу руху) пучку парку “Д”.

Оператор ГАЦ здійснює гальмування відцепів уповільнювачами першої гальмової позиції і в першому пучку (колії №№ 3 – 10 парку “Д”) другої гальмової позиції, а у випадку несправності системи ГАЦ готує вручну маршрути для розпуску відцепів I-го

пучка парку “Д”. Оператори виконавчих постів №№ 1, 2 парної системи здійснюють прицільне гальмування відцепів на третій гальмовій позиції у відповідності з планом розформування.

Оператор виконавчого поста №1 парної системи здійснює гальмування вагонів уповільнювачами на коліях №№ 3 – 10 сортувального парку “Д”. Оператор виконавчого поста №2 парної системи здійснює гальмування уповільнювачами на коліях №№ 11–18 парку “Д”. Регулювальник швидкості руху вагонів здійснює гальмування відцепів, що потребують особливої обережності (вагони з вибуховими матеріалами, з провідниками, та інше) в глибині сортувального парку у відповідності з Інструкцією по роботі сортувальної гірки парної системи, не допускаючи при цьому перевищення швидкості з’єднання.

Керівництво прийманням, відправленням поїздів, організацією маневрової роботи в межах свого району, пропуском поїзних локомотивів під состави, в депо або інші парки здійснюються черговим по станції (ДСП) відповідного парку.

Розпорядження чергового по станції, які спрямовані на забезпечення своєчасного і безпечного приймання, відправлення і пропуску поїздів, на виконання маневрових пересувань є обов’язковими для працівників всіх служб, що зв’язані з підготовкою, прийомом і відправленням поїздів і виконанням маневрових пересувань.

Для оперативного керівництва роботою станції, обліку, контролю і аналізу виконання змінного завдання і технологічного процесу станційним диспетчером у процесі чергування ведеться графік виконаної роботи по кожній системі окремо.

Маневрову роботу безпосередньо виконують маневрові бригади під керівництвом складача поїздів. В маневрову бригаду входять складач поїздів, машиніст маневрового локомотива, а також сигналісти, регулювальники швидкості руху вагонів.

Оперативне планування роботи станції здійснюється з метою організації виконання завдань по прийманню і відправленню поїздів, розформуванню і формуванню составів, навантаженню і вивантаженню вантажів і плану формування поїздів.

Оперативне планування роботи станції здійснюється на добу, зміну, по 3-х годинних періодах протягом зміни.

Підставою для змінного і поточного планування є інформація про підхід поїздів, вагонів, локомотивів і розрахунок припущеної їх наявності на станції до початку періоду, що планується.

Добовий план-завдання роботи станції розробляється Дніпропетровською дирекцією залізничних перевезень та передається на станцію за 3 години до початку доби, що планується. Він містить такі дані:

- загальну кількість поїздів, що мають прийматися станцією з кожного напрямку, з розподілом на транзитні поїзди з переробкою та без переробки;
- загальну кількість поїздів, які повинні бути відправлені зі станції на кожний напрямок із зазначенням кількості поїздів свого формування, в тому числі поїздів підвищеної ваги, довжини і з’єднаних;
- завдання по відправленню порожніх вагонів в регулювання з вказівкою напрямку прямування і роду рухомого складу;
- розміри навантаження, вивантаження найважливіших вантажів;
- інші завдання, що складаються з урахуванням місцевих умов роботи станції.

У добовому плані видається обсяг робіт, який необхідно виконати станції в першу половину доби.

Начальник станції або його заступник на підставі добового плану-завдання Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень складає план вантажної роботи по кожному вантажовідправнику і вантажоодержувачу по вивантаженню вагонів, визначає обсяг роботи по підготовці вагонів під навантаження. Початковими даними для складання добового плану вантажної роботи є:

- місячний план навантаження;

- заявки вантажовідправників на навантаження;
- дані про наявність і наступне прибуття порожніх вагонів під навантаження і про кількість вагонів, що звільняються після вивантаження, технологічні норми часу на виконання вантажо-розвантажувальних операцій, подавання і прибирання вагонів;
- спеціальні завдання Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень.

План-завдання роботи станції на добу уточнюється і коригується перед початком другої половини доби в залежності від оперативних обставин, що складаються, результатів роботи в першу половину доби і передається черговому по Дирекції для затвердження начальником Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень.

Метою змінного планування є розробка завдань колективу кожної зміни, що забезпечує виконання добового плану роботи з урахуванням становища, яке склалося в поїзній і вантажній роботі.

План роботи станції на зміну складається начальником станції або його заступником на підставі добового і змінного плану завдання Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень, експлуатаційних умов, які склались на станції до початку періоду, що планується, інформації про підхід поїздів і вантажів, технологічних норм на виконання маневрових операцій. План роботи станції на зміну містить:

- кількість поїздів, що мають прийматися з кожного напрямку, з розподілом на транзитні та розбірні;
- кількість поїздів, які повинні бути відправлені за зміну на кожний напрямок, із зазначенням кількості поїздів свого формування;
- завдань по навантаженню і вивантаженню;
- спеціальні завдання Дирекції.

Для забезпечення своєчасної переробки вагонів і відправлення їх зі станції в ув'язці з графіком руху та планом формування поїздів, із урахуванням підходу поїздів та наявності вагонів і локомотивів, станційним диспетчером сумісно з черговим по Дирекції, локомотивним диспетчером і черговим по депо ведеться поточне планування роботи станції по 3-х годинних періодах. У процесі поточного планування зазначені працівники:

- складають план прийому поїздів при додержанні оптимального підведення на станцію транзитних поїздів з переробкою та без переробки;
 - розраховують план составоутворення, яким встановлюється час закінчення накопичення вагонів на повний состав, закінчення його формування і час готовності кожного состава до відправлення;
 - визначають порядок використання локомотивів і локомотивних бригад, що прибувають на станцію з урахуванням наявності їх на станції та в локомотивному депо;
 - складають план відправлення поїздів, з підв'язкою локомотивів і локомотивних бригад до составів свого формування і транзитних поїздів без переробки.
- Початковими даними для складання плану составоутворення і відправлення поїздів є:
- телеграми-натурні листи на всі поїзди, що прибувають у переробку;
 - план підведення поїздів;
 - дані про наявність на коліях станції поїздів і вагонів за призначеннями плану формування до початку періоду планування;
 - дані про наявність і очікуване надходження локомотивів і локомотивних бригад для забезпечення вивозу поїздів;
 - дані про кількість, призначення і час, який передбачається, для прибирання вагонів на колії станції після закінчення вантажних операцій;
 - технічні норми часу на виконання операцій з поїздами і вагонами.

Планування составоутворення по 3-х годинних періодах виконує станційний диспетчер, керуючись планом прибуття поїздів (п. 212), даними про наявність на станційних коліях транзитних вагонів з переробкою (п. 69), в т.ч. і вагонами кутового потоку. Дані про наявність вагонів на коліях диспетчер веде на графіку виконаного руху поїздів в розділі “Наявність вагонів по напрямках”.

Визначення часу готовності составів до відправлення проводиться на підставі встановлених технологічним процесом норм часу знаходження составів у парках прибуття і відправлення, часу на розформування і формування составів та перестановку їх в парк відправлення.

Маневровий диспетчер парної системи, черговий по гірці непарної системи встановлюють черговість формування составів і доводять до відома всіх причетних працівників – чергових по станції, гірці, парках, оператора ПТО, пункту комерційного огляду і видає завдання по роботі на найближчі 1 – 2 години.

Для забезпечення виконання добового і змінного завдань, на підставі даних попередньої інформації (кількість поїздів, які повинні прибути на станцію з кожного напрямку, з виділенням поїздів, що надходять в переробку, а також кількість вагонів, які прямують під вивантаження) проводиться оперативне планування по 3-х годинних періодах. Для отримання даних про підхід поїздів до станції з усіх напрямків станційний диспетчер користується:

- повідомленням 212, про наявність поїздів, що надходять в переробку;
- повідомленням 212, наявність поїздів, що знаходяться на станції;
- повідомленням 212, підхід поїздів до станції з окремого напрямку;

Товарні касири, користуючись повідомленням 212, отримують попередню інформацію про прибуття вантажів, повідомляють відповідальних за проведення навантажувально-вивантажувальних операцій на під'їзних коліях для своєчасного підготування людей та механізмів.

Точна інформація про состав і підхід поїздів всіх категорій, що прибувають у повну або часткову переробку, надходить у вигляді телеграм-натурних листів (ТГНЛ) у станційний технологічний центр (СТЦ) з інформаційно-обчислювального центру (ІОЦ) залізниці. ТГНЛ містять дані про кожний поїзд і вагон, які передбачені керівними вказівками про зміст та порядок передачі ТГНЛ форми ДУ-1. ТГНЛ повідомленням 0002 вводиться абонентом (станцією формування поїзда або пунктом передачі інформації) не пізніше ніж за 10 хвилин після відправлення поїзда. В процесі контролю ЕОМ формує відомості про помилки, які видає абоненту. Після усунення допущених помилок абонент передає в ЕОМ відкориговане повідомлення. Відкориговану інформацію розміщують в банк даних ТГНЛ.

Крім документів, які розраховує та видає ЕОМ в автоматичному режимі, оперативні працівники станції мають можливість отримати необхідну довідкову інформацію з ЕОМ, користуючись запитом інформаційної системи. Інформаційно-довідкова служба системи дозволяє вести розшук вагонів, які знаходяться на станції та в межах залізниці, пошук ТГНЛ на поїзди, що прибули, роз'єднання вагонів від документів і навпаки.

В основу технології роботи сортувальних систем станції покладено метод диспетчерського керівництва розформуванням-формуванням поїздів і місцевою роботою, який забезпечує найбільш раціональне використання технічних засобів і найменший час знаходження вагонів на станції.

Робоче місце диспетчера парної системи обладнане: АЦПП для отримання з ЕОМ сортувальних листків та інших повідомлень, які необхідні для оперативного керівництва системою станції, терміналом для діалогу з ЕОМ (ВДТ-52100), маневровим радіозв'язком, прямим телефонним зв'язком, двостороннім сповіщувальним парковим зв'язком з парком прибуття “З” та сортувальним парком “Д”. Маневровий диспетчер веде графік виконаної роботи (див. Додаток №7). В приміщенні ДСЦ парної системи є виписка з графіка руху поїздів, графіки технологічного процесу по обробці составів по прибуттю та

відправленню, схема парної системи станції та під'їзних колій, які примикають до неї.

Робоче місце чергового по гірці непарної системи, який виконує обов'язки маневрового диспетчера непарної системи, обладнане: терміналом для діалогу з ЕОМ (ВДТ-52100), маневровим радіозв'язком, прямим телефонним зв'язком, двостороннім сповіщувальним парковим зв'язком.

Маневровий диспетчер парної системи, черговий по гірці непарної системи ведуть динамічну модель сортувальних парків, керуючись графіком виконаного руху поїздів та інформацією, отриманою з ЕОМ, організують та контролюють роботу технологічного центра по обробці документів парка формування, інформують операторів технологічного центра про наявність в складах сформованих поїздів вагонів з технічними, або комерційними несправностями, що потребують усунення, пред'являють всі цистерни за пломбами до комерційного огляду, реєструють їх в книзі, в якій зазначається № цистерни, колія накопичення та прізвисько приймальника поїздів. Крім цього маневровий диспетчер обслуговує пневмопошту великого діаметра.

Маневровий диспетчер парної системи, черговий по гірці непарної системи установлюють черговість формування-розформування складів, керують роботою локомотивів витяжних колій сортувального парку. Маневровий диспетчер парної системи дає розпорядження на подавання та прибирання вагонів під вантажні операції, організовує та контролює роботу бригади складачів Нижнього парку.

На підставі даних безперервного номерного обліку наявності та розташування вагонів на сортувальних коліях, відомостей про наявність складів в парках станції, інформації про підхід поїздів, змінного плану-завдання, маневровий диспетчер парної системи, черговий по гірці непарної системи здійснюють оперативне керівництво роботою сортувальної системи, забезпечуючи прийом поїздів без перешкод, максимальне суміщення операцій розформування-формування складів, виконання заданих вимірників роботи. Маневровий диспетчер парної системи, черговий по гірці непарної системи при плануванні роботи станції ураховують наявність на станції вагонів належності країнам СНД і Балтії, приймають оперативні заходи для своєчасного відправлення, подавання та прибирання їх з вантажних пунктів.

ДОДАТОК Г
Відображення технологічного процесу роботи станції за допомогою
теорії скінченних автоматів.

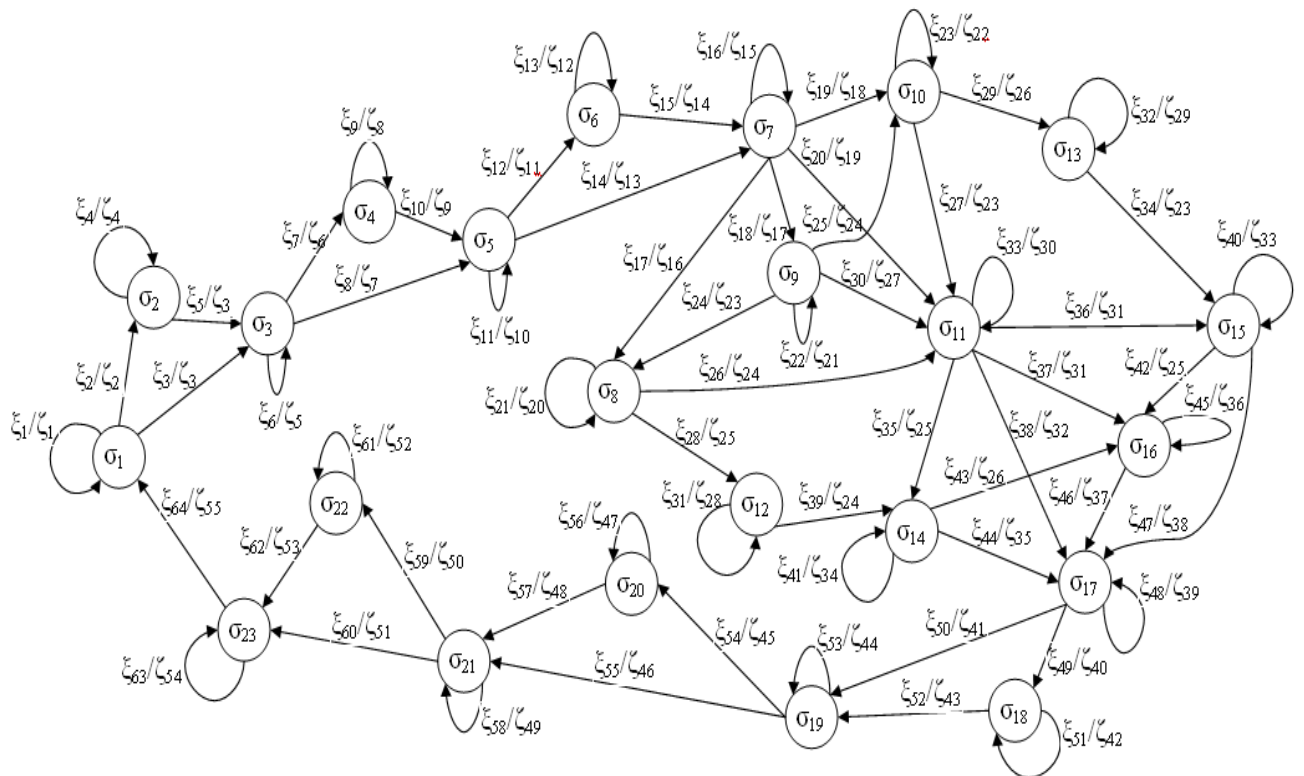


Рисунок Г.1 – Граф переходів скінченного автомату „Поїзд у розформування”

Таблиця Г.1. Множина можливих станів скінченного автомату „Поїзд у розформування”

Можливі стани поїзду в розформування			
σ ₁	На підході до станції	σ ₁₃	ТО виконано, очікування КО
σ ₂	Очікування прийому	σ ₁₄	КО виконано, виконання ТО
σ ₃	Прийом	σ ₁₅	ТО виконано, виконання КО
σ ₄	Очікування закріплення	σ ₁₆	Очікування подачі гір. локомотиву
σ ₅	Закріплення	σ ₁₇	Подача гіркового локомотиву
σ ₆	Очікування прибирання локомотиву	σ ₁₈	Очікування прибирання башмаків
σ ₇	Прибирання локомотиву	σ ₁₉	Прибирання башмаків
σ ₈	Очікування ТО, виконання КО	σ ₂₀	Очікування насуву на гірку
σ ₉	Очікування ТО та КО	σ ₂₁	Насув на гірку
σ ₁₀	Очікування КО, виконання ТО	σ ₂₂	Очікування розпуску
σ ₁₁	Виконання ТО та КО	σ ₂₃	Розпуск
σ ₁₂	КО виконано, очікування ТО		

Вхідний алфавіт скінченого автомату „Поїзд у розформування”:

- ξ1 – поїзд ще не підійшов до станції;
- ξ2 – поїзд підійшов до станції; прийом неможливий;
- ξ3 – поїзд підійшов до станції; прийом поїзда можливий;
- ξ4 – прийом неможливий;
- ξ5 – прийом можливий;
- ξ6 – прийом поїзда не завершено;
- ξ7 – прийом поїзда завершено; вільного сигналіста немає;
- ξ8 – прийом поїзда завершено; є вільний сигналіст;
- ξ9 – немає вільного сигналіста;
- ξ10 – є вільний сигналіст;
- ξ11 – закріплення не завершено;
- ξ12 – закріплення завершено; прибирання локомотива неможливе;
- ξ13 – прибирання локомотива неможливе;
- ξ14 – закріплення завершено; прибирання локомотива можливе;
- ξ15 – прибирання локомотива можливе;
- ξ16 – прибирання локомотива не завершено;
- ξ17 – прибирання локомотиву завершено; ТО неможливий, КО можливий;
- ξ18 – прибирання локомотиву завершено; ТО та КО неможливі;
- ξ19 – прибирання локомотиву завершено; ТО можливий, КО неможливий;
- ξ20 – прибирання локомотиву завершено; ТО та КО можливі;
- ξ21 – КО не завершено; ТО неможливий;
- ξ22 – КО та ТО неможливі;
- ξ23 – ТО не завершено; КО неможливий;
- ξ24 – КО можливий; ТО неможливий;
- ξ25 – КО неможливий; ТО можливий;
- ξ26 – ТО можливий; КО не завершено;
- ξ27 – КО можливий; ТО не завершено;
- ξ28 – КО завершено; ТО неможливий;
- ξ29 – ТО завершено; КО неможливий;
- ξ30 – ТО та КО можливі;
- ξ31 – ТО неможливий;
- ξ32 – КО неможливий;
- ξ33 – КО та ТО не завершено;
- ξ34 – КО можливий;
- ξ35 – КО завершено; ТО не завершено;
- ξ36 – КО не завершено; ТО завершено;
- ξ37 – КО та ТО завершено; подача гіркового локомотива неможлива;
- ξ38 – КО та ТО завершено; подача гіркового локомотива можлива;
- ξ39 – ТО можливий;
- ξ40 – КО не завершено;
- ξ41 – ТО не завершено;
- ξ42 – КО завершено; подача гіркового локомотива неможлива;
- ξ43 – ТО завершено; подача гіркового локомотива неможлива;
- ξ44 – ТО завершено; подача гіркового локомотива можлива;
- ξ45 – подача гіркового локомотива неможлива;
- ξ46 – подача гіркового локомотива можлива;
- ξ47 – КО завершено; подача гіркового локомотива можлива;
- ξ48 – подача гіркового локомотива не завершена;
- ξ49 – подача гіркового локомотива завершена; вільного сигналіста немає;
- ξ50 – подача гіркового локомотива завершена; є вільний сигналіст;
- ξ51 – вільного сигналіста немає;

- ξ52 – є вільний сигналіст;
- ξ53 – прибирання гальмівних башмаків не завершено;
- ξ54 – прибирання гальмівних башмаків завершено; насув составу на гірку неможливий;
- ξ55 – прибирання гальмівних башмаків завершено; насув составу на гірку можливий;
- ξ56 – насув составу на гірку неможливий;
- ξ57 – насув составу на гірку можливий;
- ξ58 – насув не завершено;
- ξ59 – насув завершено; розпуск неможливий;
- ξ60 – насув завершено; розпуск можливий;
- ξ61 – розпуск неможливий;
- ξ62 – розпуск можливий;
- ξ63 – розпуск не завершено;
- ξ64 – розпуск завершено; місце розформованого составу займає наступний.

Вихідний алфавіт скінченого автомату „Поїзд у розформування”

- ζ1 – поїзд обробки не потребує;
- ζ2 – поїзд очікує прийому;
- ζ3 – стрілочні зони та колію для прийому поїзда зайнято;
- ζ4 – поїзд очікує прийому;
- ζ5 – триває прийом;
- ζ6 – стрілочні зони вільні для прийому поїзда вільні;
- ζ7 – стрілочні зони для прийому поїзда вільні; сигналіст зайнятий;
- ζ8 – триває очікування закріплення;
- ζ9 – сигналіст зайнятий;
- ζ10 – триває закріплення;
- ζ11 – сигналіст вільний;
- ζ12 – триває очікування прибирання локомотиву;
- ζ13 – сигналіст вільний; стрілочні зони для прибирання локомотиву зайняті;
- ζ14 – стрілочні зони для прибирання локомотиву зайняті;
- ζ15 – триває прибирання локомотиву;
- ζ16 – стрілочні зони для прибирання локомотиву вільні; бригада ПКО зайнята;
- ζ17 – стрілочні зони для прибирання локомотиву вільні;
- ζ18 – стрілочні зони для прибирання локомотиву вільні; бригада ПТО зайнята;
- ζ19 – стрілочні зони для прибирання локомотиву вільні; бригади ПТО та ПКО зайняті;
- ζ20 – триває виконання КО та очікування ТО;
- ζ21 – триває очікування ТО та КО;
- ζ22 – триває очікування КО та виконання ТО;
- ζ23 – бригада ПКО зайнята;
- ζ24 – бригада ПТО зайнята;
- ζ25 – бригада ПКО вільна;
- ζ26 – бригада ПТО вільна;
- ζ27 – бригади ПТО та ПКО зайняті;
- ζ28 – триває очікування ТО;
- ζ29 – триває очікування КО;
- ζ30 – триває виконання ТО та КО;
- ζ31 – бригади ПТО та ПКО вільні;
- ζ32 – бригади ПТО та ПКО вільні; гірковий локомотив зайнято, стрілочні зони зайнято;
- ζ33 – триває виконання КО;
- ζ34 – триває виконання ТО;
- ζ35 – бригада ПТО вільна; гірковий локомотив зайнято; стрілочні зони зайняті;
- ζ36 – триває очікування гіркового локомотива;
- ζ37 – гірковий локомотив зайнято; стрілочні зони для подачі гіркового локомотива зайняті

;

- ζ38 – бригада ПКО вільна; гірковий локомотив зайнятий; стрілочні зони для подачі гіркового локомотива зайняті;
- ζ39 – триває подача гіркового локомотива;
- ζ40 – стрілочні зони для подачі гіркового локомотива вільні;
- ζ41 – стрілочні зони для подачі гіркового локомотива вільні; сигналіст зайнятий;
- ζ42 – триває очікування прибирання башмаків;
- ζ43 – сигналіст зайнятий;
- ζ44 – триває прибирання гальмівних башмаків;
- ζ45 – сигналіст вільний;
- ζ46 – сигналіст вільний; стрілочні зони для насуву зайняті;
- ζ47 – триває очікування насуву;
- ζ48 – стрілочні зони для насуву зайняті;
- ζ49 – триває насув составу на гірку;
- ζ50 – стрілочні зони для насуву составу на гірку вільні;
- ζ51 – стрілочні зони для насуву составу на гірку вільні; гірка зайнята;
- ζ52 – триває очікування розпуску;
- ζ53 – гірка зайнята;
- ζ54 – триває розпуск;
- ζ55 – гірковий локомотив вільний; колія парку прийома вільна; гірка вільна.

Значення критерію Уїлкоксона становить:

Критичне значення двостороннього критерію Уїлкоксона для , та при
рівні значимості становить .

Так як , то гіпотеза про однорідність вибірок приймається.

ДОДАТОК Е
Акти впровадження результатів дисертаційної роботи
АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
асистента кафедри „Станції та вузли”
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна
Бардася Олександра Олександровича
на тему «Удосконалення методів планування поїздоутворення на основі
вибору черговості розпуску составів»

В Україні управління вантажними перевезеннями виконується з використанням автоматизованої системи управління АСК ВП УЗ, що у теперішній час перетворюється в АСК ВП УЗ-Є. Засоби АСК ВП УЗ-Є дають можливість здійснювати повний інформаційний супровід технологічних, інформаційних та інших процесів вантажних перевезень.

Проектно-конструкторським технологічним бюро з автоматизації систем управління на залізничному транспорті України (ПКТБ АСУЗТ) розглянуто методи, моделі та програмне забезпечення, які розроблені в дисертаційній роботі асистента кафедри „Станції та вузли” Бардася Олександра Олександровича.

Встановлено, що у дисертаційній роботі Бардася О.О. розроблено нову методику та відповідні демонстраційні програмні засоби автоматизованого планування поїздоутворення на основі вибору черговості розпуску составів, яка за рахунок використання даних АСК ВП УЗ-Є дозволяє підвищити ефективність поїздоутворення та зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані із переробкою вагонопотоків на послідовності сортувальних станцій.

Запропоновані у дисертаційній роботі Бардася О.О. методи дозволяють вирішити актуальне технологічно-економічне завдання із автоматизації процесів планування поїздоутворення. Результати дисертаційної роботи Бардася Олександра Олександровича прийняті до впровадження в АСК ВП УЗ-Є для вирішення задач автоматизованого планування поїздоутворення.

Заст. нач. ПКТБ АСУЗТ
гол. конструктор АСК ВП УЗ
к.т.н., доц. Цейтлін С.Ю.



Продовження додатку Е

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор, Дніпропетровського національного
 університету залізничного транспорту імені
 академіка В.Лазаряна, професор



О.М. ПШІНЬКО

_____ 2012 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи асистента кафедри
 «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету
 залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна (ДНУЗТ)

Бардася Олександра Олександровича

Цей документ складений про те, що у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна при підготовці спеціалістів зі спеціальності 7.100403 «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті» при виконанні дипломних проектів та при проведенні лабораторних занять з дисципліни „Дослідження операцій в транспортних системах” використовуються теоретичні результати дисертації.

Використання теоретичних положень, розроблених в дисертаційній роботі, дозволяє отримати студентам навички з прийняття рішень щодо вибору раціональної черговості розпуску составів на сортувальних станціях.

Декан факультету

«Управління процесами перевезень»,

к.т.н., доцент

Г. І. Нестеренко

Завідувач кафедрою

«Станції та вузли»,

д.т.н., професор

В. І. Бобровський