

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Мозолевич Григорій Якович

УДК 656.222

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
ЗА РАХУНОК ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ
ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКІВ**

05.22.01 – транспортні системи

Дисертація
на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук

Науковий керівник:

Козаченко Дмитро Миколайович

канд. техн. наук, доцент

Дніпропетровськ – 2011

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ.....	11
1.1. Аналіз методів вибору раціональної маси та довжини поїздів.....	12
1.2. Методи моделювання роботи залізничних ліній та станцій	22
1.2.1. Аналітичне моделювання	22
1.2.2. Імітаційне моделювання	24
1.2.3. Моделювання руху поїздів.....	29
1.2.4. Моделі роботи залізничних дільниць та напрямків дальнього зарубіжжя	32
1.3. Висновки.....	36
РОЗДІЛ 2. ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ.....	37
2.1. Послідовність та методи проведення досліджень.....	37
2.2. Загальна характеристика об'єктів дослідження	39
2.2.1. Характеристика залізничних напрямків	39
2.2.2. Управління поїзною роботою залізничних напрямків	42
2.3. Аналіз функціонування оперативно-диспетчерського персоналу, що керує процесом пропуску потоків поїздів.....	44
2.4. Дослідження параметрів потоків поїздів, що прямують по напрямкам ...	47
2.5. Висновки.....	57
РОЗДІЛ 3. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ	59
3.1. Загальна структура імітаційної моделі роботи залізничного напрямку	60
3.2. Моделювання вхідного потоку поїздів.....	63
3.3. Модель залізничного напрямку.....	65
3.3.1. Моделювання руху вантажних поїздів по дільниці.....	68
3.3.2. Порядок обслуговування об'єктів	72
3.3.3. Інформаційна модель залізничного напрямку	73
3.4. Модель технічної станції	75
3.4.1. Модель технологічного процесу роботи станції.....	75
3.4.2. Інформаційна модель роботи станції	77
3.5. Перевірка адекватності сполуки моделей мікро- та макрорівнів.....	80

3.6. Висновки.....	82
--------------------	----

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДІВ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА НАПРЯМКІВ.....83

4.1. Дослідження роботи технічних станцій	84
4.1.1. Методика дослідження показників станцій.....	84
4.1.2. Аналітичний аналіз впливу довжини поїздів на простій на технічних станціях	86
4.1.3. Аналіз результатів моделювання з використанням ергатичної моделі підсистеми розформування технічної станції.....	93
4.1.4. Аналіз результатів моделювання, отриманих при використанні МСУ	96
4.1.5. Дослідження впливу кількості вагонів у складі поїздів на простій поїздів на технічних станціях на пасажиронапруженому напрямку	100
4.1.6. Аналіз впливу кількості вагонів у складі поїзда на експлуатаційні витрати станції.....	102
4.2. Дослідження роботи залізничних напрямків.....	105
4.2.1. Визначення впливу параметрів поїздів на тривалість знаходження на напрямку.....	105
4.2.2. Розрахунок показників роботи залізничного напрямку.....	111
4.3. Результати розрахунків експлуатаційних витрат по просуванню вагонопотоку	116
4.4. Висновки.....	120

РОЗДІЛ 5 ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ.....122

5.1. Математична постановка задачі.....	123
5.2. Методика і результати досліджень	127
5.3. Висновки.....	135

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТОК А Техніко-експлуатаційна характеристика станцій напрямків	155
ДОДАТОК Б Фрагменти файлів з інформаційним масивом, що описує вхідний потік поїздів та моделювання напрямку слідування вагонів у складі	158
ДОДАТОК В Файли вихідних даних МТП залізничного напрямку	159
ДОДАТОК Г Фрагмент результатів моделювання руху окремого поїзда на напрямку Запоріжжя - Джанкой	160

ДОДАТОК Д	Результати пошуку залежностей часу ходу вантажного поїзда по перегону від маси составу і довжини перегону в програмі <i>REGRESS</i>	162
ДОДАТОК Е	Вихідні файли для моделі технічної станції.....	163
ДОДАТОК Є	Блок-схема алгоритму програми автоматизованого розрахунку показників технічних станцій «temp» та фрагмент протоколу результатів роботи моделі технічної станції	196
ДОДАТОК Ж	Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	198

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасні умови функціонування залізничного транспорту України характеризуються постійною зміною структури й обсягів вантажо- та поїздопотоків при наявності резервів пропускної спроможності більшості ділянок залізничних напрямків. В зв'язку з цим зростає важливість проблеми вибору раціональних параметрів маси та довжини поїздів з метою зменшення експлуатаційних витрат залізниці та витрат клієнтів як єдиної синергетичної системи. Залізничний транспорт одночасно працює в ринкових умовах конкуренції з іншими видами транспорту, і в той же час, згідно Закону України про транспорт [1], його головним завданням є своєчасне, повне і якісне задоволення потреб населення та суспільного виробництва в перевезеннях. При цьому залізничний транспорт виступає монополістом в масових перевезеннях видобувної, металургійної та хімічної промисловості. Тому його особливістю є значна частка витрат на утримання інфраструктури, що не залежить від обсягів роботи. Це визначає необхідність пошуку шляхів адаптації залізниць до наслідків коливань вантажопотоків та зміни їх структури.

Визначення раціональних параметрів поїздопотоків є складною оптимізаційною задачею, що не отримала остаточного вирішення і в даний час. У зв'язку з цим тема дисертації, що присвячена удосконаленню пропуску потоків поїздів на залізничних напрямках за рахунок оптимізації вибору їх параметрів, є досить 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 та Стратегію розвитку залізничного транспорту до 2020 року, а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: “Аналіз вагонопотоків та розробка рекомендацій

до нормативу з уніфікації маси та довжини поїздів на основних напрямках залізниць України” (№ державної реєстрації 0108U010673), «Розробка тренажера поїзного диспетчера» (№ державної реєстрації 0103U008726), «Удосконалення розподілу сортувальної роботи в залізничних вузлах» (№ державної реєстрації 0107U001826); «Розробка технологічного процесу Одеської залізниці» (№ державної реєстрації 0108U010418); «Анализ действующего порядка и документооборота по учету времени нахождения грузовых вагонов на территории государств СНГ, Латвийской республики, Литовской республики и Эстонской республики при передаче в третьи страны в соответствии правилами эксплуатации, пономерного учета и расчетов за пользование грузовыми вагонами» (№ державної реєстрації 0109U003740); «Розробка методів оцінки ефективності експлуатації на території України вагонних парків власності держав СНД і Балтії в сполученні з третіми країнами» (№ державної реєстрації 0110U000329).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності вантажних перевезень за рахунок вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках. Для досягнення зазначеної мети в дисертації поставлено і вирішено наступні задачі:

- аналіз сучасних напрямків вибору раціональних параметрів поїздопотоків;
- дослідження існуючих параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках, визначення взаємозв’язку між ними;
- дослідження впливу управлінської діяльності оперативно-диспетчерського персоналу на показники роботи залізниць;
- розробка системи математичних моделей технічних станцій та залізничного напрямку, а також дослідження з використанням цих моделей впливу параметрів поїздопотоків на показники роботи технічних станцій та напрямків;
- дослідження зміни структури та обсягів вантажопотоків у часі;
- розробка методу визначення раціональних параметрів маси та довжини

поїздів.

Об'єктом дослідження є процес пропуску поїздо- та вагонопотоків на залізничних напрямках.

Предмет дослідження – параметри вантажних поїздопотоків на залізничних напрямках.

Методи дослідження. Методи теорії ймовірності, математичної статистики, регресійного аналізу, математична теорія транспортних потоків використані для визначення існуючих параметрів поїздопотоків на вантажо- та пасажиронапруженому залізничних напрямках, аналізу тривалості знаходження вагонів та составів у різних підсистемах, аналізу структури та обсягів вантажопотоків. Методи імітаційного моделювання, тягових розрахунків, лінійного програмування, факторних експериментів, теорія скінчених автоматів, теорія масового обслуговування, методи теорії логістики були використані для розробки моделі залізничного напрямку та при дослідженнях впливу параметрів поїздопотоків на показники роботи технічних станцій та залізничних напрямків, а також для розробки методу визначення раціональних параметрів маси та довжини составів. Методи векторної оптимізації були використані для визначення раціональних параметрів поїздопотоків.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше встановлено функціональний зв'язок між зустрічними поїздопотоків по станціям обороту поїзних локомотивів та його математичні характеристики, що дало змогу суттєво підвищити точність моделей залізничних напрямків.

Вперше встановлено, що при оптимізації параметрів поїздопотоків необхідно враховувати, що загальна величина тривалості знаходження поїздів на технічних станціях має дві складові: величина однієї з них залежить тільки від інтенсивності поїздопотоків, іншої – визначається довжиною поїздів, і не врахування цього факту призводить до отримання неоптимальних значень.

Удосконалено модель залізничного напрямку, що на відміну від існуючих, дозволяє досліджувати роботу залізничних станцій та дільниць як єдину синергетичну систему.

Удосконалено метод визначення раціональних параметрів маси та довжини поїздів, який на відміну від існуючих враховує витрати клієнтів залізниць на закупівлю та зберігання вантажів, витрати, що пов'язані із параметрами поїздопотоків, а також зміну обсягів та структури вантажопотоків, і за рахунок цього дозволяє скоротити загальні витрати у логістичному ланцюгу вантажопотоків.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані при визначенні раціональних параметрів маси та довжини поїздів на основних напрямках залізничних перевезень.

Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати імітаційне моделювання та оцінку показників роботи залізничного напрямку, в тому числі локомотивного парку, в умовах зміни обсягів, параметрів та структури поїздопотоків.

Результати роботи використовуються у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів зі спеціальності „Організація перевезень та управління на залізничному транспорті” в дисциплінах „Основи теорії систем та управління”, „Основи теорії транспортних процесів та систем”, «Методики оптимізації техніко-технологічних параметрів залізничних станцій».

Результати впроваджені на ДП «Укрзалізниця». Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

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

Стаття [4] опублікована одноосібно. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному. В роботі [5] удосконалено модель роботи залізничного напрямку, яка враховує особливості роботи як роздільних пунктів так і дільниць між ними. В статтях [6, 8] визначені числові характеристики параметрів поїздопотоків на пасажиронапруженому та вантажонапруженому залізничних напрямках, а також у Дніпропетровському залізничному вузлі. В статті [7] розроблено методику визначення раціональних параметрів маси та довжини поїздів в логістичному ланцюгу вантажопотоків.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 66-й, 67-й, 68-й, 69-й, 70-й та 71-й науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2006-2011 рр.); на IV-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, ДЕТУТ, 2008 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми и перспективи» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008, 2010 р.); на 9-й міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2009 р); на V міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті», на наукових семінарах кафедри «Станції та вузли» 2008, 2010 рр. У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (травень 2011 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 24 наукових праць: 5 наукових статей у фахових виданнях, затверджених ВАК України та 19 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків і 8 додатків. Повний обсяг роботи – 199 сторінок; з них основного тексту 140 сторінок; рисунків, таблиць, список використаних джерел і додатків 59 сторінок. Список використаних джерел зі 130 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ

Залізничний транспорт є однією з найважливіших ланок в структурі переміщення товарів та сировини від джерела видобування та виробництва до кінцевого споживача. Для забезпечення конкурентоспроможності залізниць на ринку транспортних перевезень, підвищення якості та ефективності транспортного обслуговування є неминучим процесом. Рівень транспортного обслуговування на залізницях слід оцінювати за показниками перевізного процесу в цілому, з урахуванням якості управління рухом і формуванням поїздів, своєчасності виконання вантажних операцій, забезпечення поїздів локомотивами і локомотивними бригадами, обсягів ремонту рухомого складу, стану всіх технічних засобів тощо. В умовах стохастичного характеру обсягів вантажопотоків на залізничних напрямках, значних експлуатаційних витрат на утримання транспортної інфраструктури, підвищення вартості енергетичних ресурсів для підвищення ефективності роботи залізниць необхідно визначити раціональні параметри вантажних поїздопотоків.

Потоки поїздів є дискретними потоками, параметри окремих одиниць (поїздів) яких не є однаковими. Поїздопотоки зароджуються та погашаються на технічних станціях залізниць. В теорії побудови графіку руху поїздів розрізняють пасажирські поїзди дальнього слідування, місцеві, приміські та вантажні наскрізні, дільничні, збірні, вивізні, збірно-вивізні та ін [9-12]. Потік характеризується інтервалами між його одиницями I , і в свою чергу, параметрами самих одиниць [13, 14]. Під параметрами поїздів в дисертації буде розумітися їх нормативна та виконана маса Q (т) та довжина m (ваг).

1.1. Аналіз методів вибору раціональної маси та довжини поїздів

Одним із головних параметрів, що характеризує не тільки кількісну, але і якісну сторону роботи залізниць, є маса вантажних поїздів. Маса поїзда визначає розміри руху, необхідну потужність локомотивів і корисну довжину приймально-відправних колій. З масою поїзда пов'язана наявна провізна і пропускна здатність залізничних ліній, швидкість доставки вантажів, потреба у вагонному і локомотивному парках для освоєння заданого обсягу перевезень [12].

Проблемі вибору найвигідніших значень маси вантажних поїздів присвячено багато досліджень. До них відносяться праці вчених Г. І. Черномордика [15] і Б. Е. Пейсахзона [16], присвячені вибору найвигідніших норм маси, а також відповідних їм довжин станційних прийомо-відправних колій і необхідної потужності тягових засобів на перспективу; роботи вчених Б. М. Максимовича [17] й Е. Д. Фельдман [18], присвячені встановленню взаємозв'язку норм маси з експлуатаційно-економічними показниками роботи напрямків і вибору уніфікованих норм маси поїздів. У роботах К. К. Тихонова [19-21] досить докладно досліджені питання техніко-економічної ефективності підвищення норм маси вантажних поїздів кратною тягою (шляхом секціонування електровозів і тепловозів різних типів в голові поїздів або застосуванням підштовхування). К.К. Тихоновим досліджувалися також оптимальні рівні норм маси поїздів при заданому типі локомотива й довжині станційних колій, вплив норм маси поїздів на вибір оптимальної довжини ділянок обігу локомотивів, проблема вибору оптимальних норм маси передаточних поїздів у вузлах. Методика вибору найвигідніших норм маси вантажних поїздів у поточних експлуатаційних умовах і нормативи таких розрахунків наведені в роботі К.К. Тихонова про методику й систему техніко-економічних розрахунків в експлуатації залізничних доріг [22-23].

Питання про найвигідніше узгодження маси й швидкості руху вантажних поїздів неодноразово досліджувалося, причому автори приходили

до різних висновків залежно від вихідних передумов, застосовуваного методу дослідження й розглянутих конкретних умов [23]. До основних досліджень по даній проблемі слід віднести роботи наступних науковців: Б. Д. Воскресенського, А. Л. Васютинського, Є. В. Михальцева, А. М. Бабичкова, В. Н. Орлова, Ф. П. Кочнева, Г. І. Черномордика, Б. М. Максимовича, Б. Е. Пейсахзона, К. К. Тихонова, А. М. Макароцькіна, Ю.В. Дьяконова, А.П. Романова, Н.А. Воробйова [15-17, 24-27].

Всі пропозиції по дослідженню оптимального узгодження маси й швидкості вантажних поїздів у наукових працях згаданих авторів можна розбити на три категорії [24]:

- 1) визначення маси состава й швидкості руху на керівному підйомі на основі паспортної характеристики локомотива;
- 2) вибір оптимального сполучення маси состава й швидкості руху на найважчому перегоні ділянки, що визначає пропускну здатність за принципом досягнення максимальної провізної спроможності;
- 3) вибір маси состава та швидкості руху на керівному підйомі по ділянці, виходячи із принципу найменшої собівартості перевезень.

Маса поїздів на залізницях України (УЗ) обмежується двома параметрами – довжиною приймально-відправних колій та силою тяги локомотива [9, 11].

Маса поїзда, що може бути розміщена на одній колії, залежить не тільки від його довжини, але й від структури перевезених вантажів, що визначають величину навантаження в тоннах, що доводиться на 1 м довжини поїзда [19].

Залежність маси поїзда Q від поїзного погонного навантаження й довжини приймально-відправних колій виражається наступним рівнянням:

$$Q = p(l_{кор} - nl_l - a), \text{ т} \quad (1.1)$$

де p - поїзне погонне навантаження, т/пог. м;

$l_{кор}$ - корисна довжина приймально-відправних колій, м;

n - кількість локомотивів у поїзді;

l_n - довжина локомотива, м;

a - відстань, що враховує неточність установки поїзда в межах корисної довжини приймально-відправної колій, $a = 10$ м.

Приймально-відправні колії на станціях, як правило, мають різну корисну довжину: розташовані ближче до головної колії більш довгі, ніж ті, що розташовані далі від неї. Для забезпечення безпечного прийому, відправлення й пропуску вантажних поїздів при розробці графіка руху застосовується один із стандартів корисної довжини - 850, 1050 або 1250 м [11]. Використання резерву довжини цих колій у випадку збільшення довжини составу потребує відповідного техніко-економічного обґрунтування [25].

Поїзне погонне навантаження для конкретного поїзда визначається як відношення його маси в тоннах до його довжини в метрах, т/пог.м:

$$p = \frac{Q}{m_y l_y}, \quad (1.2)$$

де m_y - кількість умовних вагонів у складі;

l_y - довжина умовного вагону.

Поїзне погонне навантаження - це один з основних параметрів, що характеризують структуру вантажопотоків і вагонопотоків даного залізничного напрямку, продуктивність вагона й ступінь використання вантажопідйомності рухомого складу. Аналіз поїздопотоку напрямків показує, що цей показник на УЗ коливається в межах від 4,1 до 6,9 т/пог.м., що призводить до діапазону можливих мас поїздів в межах від 3200 до 5800 т при використанні одиночної тяги [28]. Зниження норми маси приводить до недовикористання тягових потужностей локомотивів і, як наслідок, до погіршення експлуатаційних й економічних показників їхнього використання. Завищення її викликає зниження експлуатаційної надійності локомотивів і незадовільне виконання графіка руху поїздів [11].

Розрахункова маса поїзда бруutto при найбільшій силі тяги на розрахунковому підйомі й відповідній розрахунковій швидкості становить [29]

$$Q = \frac{F_{кр} - M_{л}(\omega_0' + i_p)g}{(\omega_0'' + i_p)g}, \text{ т} \quad (1.3)$$

де $F_{кр}$ - дотична розрахункова сила тяги локомотива при розрахунковій швидкості, Н;

$M_{л}$ - розрахункова маса локомотива, т;

ω_0' - основний питомий опір локомотива при проходженні з тягою при розрахунковій швидкості, Н/кН;

i_p - ухил розрахункового підйому, ‰;

ω_0'' - основний питомий опір руху состава, що відповідає прийнятим до розрахунку структурі вагонів у складі, типу верхньої будови колії й навантаженню на вісь вагона, Н/кН;

g - нормальне прискорення сили ваги, $9,81 \text{ м/с}^2$.

На рис. 1.1 показано залежність обмеження маси поїздів як функцію розрахункового ухилу для різних типів тягового рухомого складу.

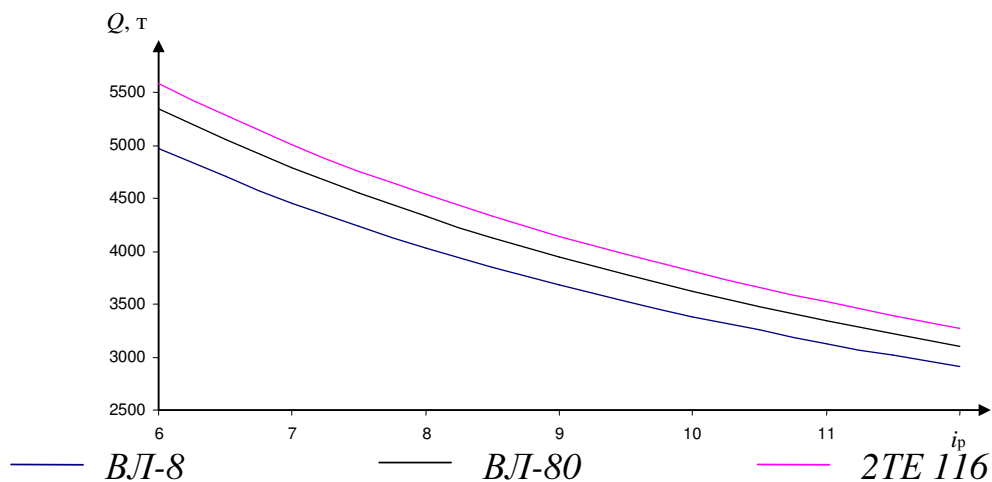


Рис. 1.1 – Залежність $Q = f(i_p)$

Питанням раціоналізації маси поїздів займалися такі відомі вчені та практики: В.М. Акулінічев, Т.В. Бутько, Є.Є. Гібшман, П.С. Грунтов, Ф.П. Кочнев, Д.Ю. Левін, І.Ю. Левицький, Є.В. Нагорний, П.М. Орловський, В.М. Образцов, Б.Е. Пейсахзон, Г.І. Переста, М.В. Правдін, А.С. Савенко, Є.О.

Сотніков, І.Є. Сотніков, К.К. Тихонов Б.І. Торопов, Н.Б. Чернецька-Білецька, Є.М. Шафіт, М.Р. Ющенко, П.О. Яновський та інші.

В існуючих методиках визначення раціональної маси поїздів, простій вагонів під накопиченням і необхідна кількість поїзних локомотивів та локомотивних бригад є вирішальними чинниками [30-33]. В [12] оптимальна маса складу бруто визначається за формулою

$$Q_{\text{бр}}^{\text{opt}} = \sqrt{\frac{\Gamma_{\text{год}} L_n c_{\text{б-ч}}}{365 \varphi \beta_x v_x k c C_{m-ч}^{\text{бр}}}}, \quad (1.4)$$

де k – число призначень поїздів, що формуються на всіх станціях на заданому напрямку;

c – параметр накопичення;

$C_{m-ч_i}^{\text{бр}}$ – приведені витрати, що приходяться на 1 тонно-годину бруто;

φ – відношення середньої маси вагону нетто до маси бруто;

v_x – середня ходова швидкість;

β_x – коефіцієнт дільничної швидкості;

$C_{n-ч_i}$ – приведені витрати, що доводяться на 1 поїздо-год при середній масі поїзду $Q_{\text{ср}}$;

C_e – сумарна витратна ставка на 1 МДж механічної роботи локомотива і роботи сил опору;

$\Gamma_{\text{год}}$ – річний вантажопотік в одному напрямку;

L_n – середня відстань пробігу поїздів без переробки;

$c_{\text{б-ч}}$ – витрати на 1 бригадо-год роботи локомотивної бригади.

Як видно з формули (1.4), при визначенні оптимальної маси складу в цій методиці враховуються тільки вагоно-години накопичення у сортувальному парку. Однак, маса і відповідно довжина поїздів впливає на тривалості їх простою і в інших підсистемах технічних станцій [34, 35].

Одним із сучасних практиків та науковців, що торкнувся проблеми раціоналізації маси складів поїздів є д. т. н. В. К. Мироненко.

Він запропонував розв'язання задачі встановлення раціональної маси составів як за технологічним критерієм так і за економічним [36].

Раціональна маса составу прямо пропорційна составу поїзда та середній масі вагона. Формалізація задачі визначення раціонального составу поїзда за технічним критерієм має вигляд [36]:

$$\frac{dt_n}{dm} = 0; \frac{d^2t_n}{dm^2} > 0.$$

Це призводить до рівняння, за яким визначається раціональний состав (раціональна маса) поїзда:

$$m_p = u_n \sqrt{\frac{t_{z.u}}{2Sk_{np}t_y}}, \quad (1.5)$$

де $t_{г.ц}$ – тривалість гіркового циклу, год;

S – кількість сортувальних систем на станції;

k_{np} – кількість призначень плану формування поїздів на станції;

t_y – тривалість періоду ущільненого підведення поїздів, год.

Але дуже різке зменшення состава поїздів приведе до різкого збільшення потреби у поїзних локомотивах та до збільшення обсягів маневрової роботи на сортувальних станціях. Тому раціоналізація має здійснюватися не тільки за технологічним критерієм, а за комплексним техніко-економічним критерієм. У розрахунках пропонується враховувати витрати E_B вагоно-годин на простій транзитного вагона з переробкою, локомотиво-годин маневрової роботи на станції E_M та локомотиво-бригадо-годин експлуатації локомотивів E_L .

Для пошуку раціонального состава поїзда m_p в [36] пропонується використовувати рівняння $\frac{dE_B}{dm} + \frac{dE_M}{dm} + \frac{dE_L}{dm} = 0$ за умов додатних значень других похідних при значенні m_p , тобто $d^2E/dm_o^2 > 0$.

З урахуванням цього формула для визначення раціонального состава поїзда набирає вигляду [36]:

$$m_p = \sqrt{\frac{25 \cdot [L_T \cdot (1 + \beta) \cdot \left(\frac{24 \cdot C_{лбг} + C_{лкм}}{S_{л}} \right) + \frac{t_{з.ч}}{2 \cdot S \cdot k_{np}} \cdot (M_{л} \cdot C_{лз} + u_n \cdot C_{ез})]}{\left(1 - \frac{u_n}{2400} \right) \cdot t_y \cdot C_{ез}}}, \quad (1.6)$$

де L_T – довжина тягового плеча, км;

$S_{л}$ – середньодобовий пробіг поїзного локомотива, км;

β – коефіцієнт додаткового пробігу поїзних локомотивів;

$M_{л}$ – кількість маневрових локомотивів;

$C_{лбг}$ і $C_{лкм}$ – відповідно собівартість локомотиво-бригадо-годин та локомотиво-км пробігу поїзних локомотивів, грн.;

$C_{лг}$ і $C_{вг}$ – собівартість локомотиво-години маневрової роботи та вагоно-години робочого парку, грн.

В сучасних умовах впровадження ресурсозберігаючих технологій у формулі (1.6) не були враховані усі витрати економічного критерію – також необхідно врахувати витрати палива на виконання маневрових операцій при розформуванні та формуванні составів на сортувальних станціях.

Таким чином з урахуванням витрат на паливо цільова функція набуває вигляду:

$$E(z_1, z_2, z_3, z_4) \Rightarrow \min E \quad (1.7)$$

де z_1 – витрати, пов'язані з простоем вагонів під накопиченням, грн.;

z_2 – витрати на роботу бригад поїзних локомотивів, грн.;

z_3 витрати, пов'язані з пробігом поїзних локомотивів, грн.;

z_4 – витрати на маневрову роботу та паливо, грн.

Цільова функція (1.7) має обмеження параметрів по максимальній масі поїздів на напрямках перевезень, дискретності величини кількості вагонів у составі $m_c > 1$, тривалості роботи маневрових локомотивів на станції та при існуючих межах коливання середньої ваги одного вагону.

Витрати палива на маневрову роботу залежать від часу роботи по кожній позиції локомотива [36]:

$$E_{нал} = \int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} G(Q_n) dQ \cdot e_{нал} \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

де $G(Q_n)$ - залежність витрат палива від ваги поїзда, кг.;

$e_{нал}$ - вартість однієї тони палива, грн.

З урахуванням цього формула (1.4) набуває вигляду:

$$m_p = \sqrt{\frac{25[L_T \cdot (1+\beta) \cdot \left(\frac{24C_{лбз}}{S_L} + C_{лкм}\right) + \frac{t_{зц}}{2 \cdot S \cdot k_{np}} \cdot (M_n \cdot C_{лз} + u_n \cdot C_{вз}) + t_{пер} \cdot \int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} G(Q_n) dQ e_{нал} \cdot 10^3]}{\left(1 - \frac{u_n}{2400}\right) \cdot t_y \cdot C_{вз}}} \quad (1.9)$$

де $t_{пер}$ – час на переробку составів, год.

При підвищенні u_n та L_T склад поїзда поступово наближається до існуючих на залізницях норм. Крім того, відправлення неповновагових поїздів підвищує розміри руху на дільницях та потребу в поїзних локомотивах, але зменшує витрати на маневрову роботу та сприяє розвитку ресурсозберігаючих технологій.

Проблема вибору оптимального значення маси поїзда підіймається в [37]. Припускається, що для прискорення строку доставки та збереження конкурентноздатності залізниць необхідно буде формувати поїзда меншої маси, основою чого є значно знижені об'єми вантажопотоків на залізницях України [38].

Відомо, що з ростом маси зростають витрати на накопичення составів. З іншого боку, знижується пропускна здатність дільниць та витрати на оплату праці локомотивних бригад. Згідно [11] раціональний по сумі витрат рівень маси вантажних поїздів залежить від дальності їх слідування, при чому ефект від підвищення маси поїзда тим помітніший, чим потужніші вантажопотоки та більша дальність слідування локомотивів.

В [39] пропонується методика визначення оптимальної ваги поїзда з урахуванням часу його формування, приймаючи за критерій мінімум прямих

експлуатаційних витрат при заданому рівні технічного використання локомотивів.

Задача визначення маси та довжини поїзда з метою встановлення оптимальної норми складу поїзда розв'язується в [37], при цьому був вибраний критерій, виражений в приведених вагоно-годинах, які враховують витрати локомотиво-годин та енергетичні через коефіцієнти приведення.

В умовах оновлення локомотивного парку задача про вибір маси вантажних поїздів повинна вирішуватися для двох ситуацій: 1) заданий тип локомотива; 2) потужність локомотива в перспективі. Друга ситуація відноситься перш за все до електрифікованих ділянок залізниць України, оскільки велика частина електрорухомого складу виробила свій ресурс та повинна бути вилучена з інвентарного парку [40].

Важливе значення при рішенні задачі вибору раціональної норми маси поїздів має термін доставки. Час на доставку вантажу, який забезпечує конкурентоспроможність залізничних перевезень, запропоновано [38] визначати як допустиму тривалість знаходження вантажу в межах даної ділянки:

$$t_d = t + \tau,$$

де t - час, що витрачається на рух вантажів в поїздах;

τ - витрати часу на формування поїздів (перебування вантажу на станціях).

Запропонований у [41] підхід в відповідає прагненню формувати повноскладні та повновагові поїзди, а також надає можливості визначення раціонального ряду потужностей локомотивів і створення відповідного парку.

Обіг поїздів підвищеної маси та довжини (ПМД) призводить до подовження приймально-відправних колій, модернізації та підсилення пристроїв тягового енергозабезпечення та СЦБ [42, 43].

Для реалізації програми зростання середньої маси та довжини поїзда при дефіциті довжини приймально-відправних колій на станціях

розробляються нові технології формування, обробки та пропуску таких поїздів [44]. При цьому використовується принцип системного підходу. Особлива увага надається формуванню поїздів підвищеної довжини: розроблена програма та методика проведення дослідних поїздок динамометричного вагона в поїздах ПМД, яка дозволяє кожній локомотивній бригаді вести такі поїзда в режимах, найбільш близьких до раціональних, з найменшими витратами часу та ресурсів.

У роботах [45, 46] на основі аналізу причин пошкодження автозчіпних пристроїв рухомого складу поїздів підвищеної маси і довжини показані найбільш імовірні причини порушення безпеки руху поїздів. Представлені шляхи підвищення безпеки руху і причини додаткового опору руху поїзда. Вперше про можливість появи цієї проблеми в своїх роботах зазначав академік В.А. Лазарян.

Тягові випробування за оцінкою можливості ведення поїзда масою 6000 т на ділянках кратною тягою з голови двома електровозами серії Вл80р і підштовхуючим трьохсекційним електровозом Вл80с показали, що загальне навантаження електровозів по контактній мережі перевищує 1100А, має місце перемикання прохідного зеленого сигналу на червоний, в результаті дій зворотного струму в рейковому ланцюзі пошкоджені 90 % основних і дублюючих з'єднувачів, спостерігається розширення колії до 4 мм, зазори в стиках збільшуються з 17 до 25 мм, а угін колії до 150 мм [47, 48].

У США, де немає обмежень по довжині та масі состава поїзда, у 2009 році був реалізований рух найбільшого поїзда у світі [49]. Його довжина перевищувала звичайний поїзд у три рази. Він складався з 295 вагонів загальною масою 15,5 тисяч тонн. Для його руху знадобилося 9 локомотивів. В результаті експерименту було виявлено значну складність управління на дільницях із-за повної блокади руху інших поїздів.

Таким чином, незважаючи на досить широке коло досліджень в області вибору раціональних норм маси вантажних поїздів у поточних експлуатаційних умовах, проблема ця в комплексі дотепер не розглянута й

техніко-економічне обґрунтування найвигідніших норм маси вантажних поїздів у різних умовах має потребу в узагальненні раніше виконаних розрахунків і подальшій розробці.

1.2. Методи моделювання роботи залізничних ліній та станцій

В сучасних умовах конкурентного ринку транспортних послуг створення раціонального графіку руху поїздів (ГРП), обслуговування поїздів, планування рухомого складу (РС) є ключовим завданням. Оскільки залізничні дільниці є складними динамічними системами, то моделювання їх роботи є ефективним засобом вирішення складних задач, що виникають в процесі управління.

Моделі роботи залізничних ліній застосовуються для [50-53]:

1. Розвитку оперативних планів.
2. Діагностування вузьких місць і надання рекомендацій по зміні ГРП.
3. Розробки різних варіантів поліпшення показників ГРП.
4. Перевірки зіткнення поїздів при додаванні нового поїзда та прогнозування його пропуску по дільниці.

1.2.1. Аналітичне моделювання

На основі використання теорії масового обслуговування в [54] представлені теоретичні основи взаємодії станції з примикаючими ділянками та внутрішньостанційних процесів між собою. Технологічні процеси, що відбуваються в транспортних системах розбиваються на окремі фази (наприклад в підсистемі розформування станції – на фазу обробки та розформування). Окрема фаза являє собою систему масового обслуговування з випадковим вхідним потоком Π_i (рис 1.2) і параметрами (інтенсивність λ , коефіцієнт варіації $\nu_{вх}$), та випадковою тривалістю обслуговування з параметрами (інтенсивність обслуговування μ , $\nu_{обс}$), і характеризується кількістю вимог в окремий момент часу та тривалістю їх знаходження у різних станах: очікування обслуговування $n_{оч}$, $t_{оч}$; у стані обслуговування $n_{обс}$, $t_{обс}$ загалом у системі n_c , t_c .

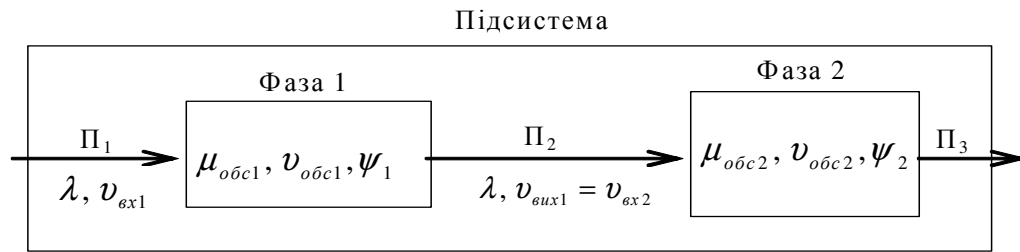


Рис. 1.2 – Принципова схема двофазної СМО

Середні тривалості знаходження об'єктів у фазах $M[t_c]$ визначаються як сумарні тривалості математичних очікувань їх обробки $M[t_{обс}]$, очікування обробки $M[t_{оч}]$ та при необхідності очікування переходу в наступну фазу:

$$M[t_c] = M[t_{оч}] + M[t_{обс}].$$

В [55] запропонована методика аналітичного моделювання залізничних ліній із застосування теорії графів та керованих марковських ланцюгів. У даній роботі станція представлена двома підсистемами: підсистема розформування та підсистема формування. Множина можливих переходів підсистеми від одного стану до іншого представлена у вигляді орієнтованого графу. Вершини графу є різні стани, а дуги - переходи. На базі даного графу складається таблиця ймовірностей станів, на основі якої будуються номограми залежності станів. Далі пропонується їх використання для визначення оптимального режиму роботи сортувальної станції. Недоліком даного підходу є необхідність високого рівню підготовки людини, що виконує дослідження та складність в сукупності із значними витратами часу для побудови номограм різних транспортних об'єктів, ймовірнісний характер розрахунків.

Метод моделювання станцій, заснований на використанні математичного апарата марковських випадкових процесів, розроблений в УкрДАЗТі (ХПТі) [56]. У даній роботі станція розглядається як багатофазна одноканальна СМО. Для станції будується орієнтований граф станів СМО, на базі якого складається система рівнянь Колмогорова для граничних ймовірностей окремих її станів. Отримані ймовірності дозволяють визначити основні техніко-технологічні параметри станції, необхідні для оптимізації її потужності. Даний метод досить ефективний, однак його складність різко

зростає при переході до багатоканальних СМО та збільшенні числа колій станцій.

Основними проблемами моделювання є формування транспортних потоків і структури постійних пристроїв. В [57] показано, що найпростіший потік, яким найчастіше оперує апарат теорії масового обслуговування, не завжди може адекватно описати реальні транспортні потоки. При моделюванні необхідно враховувати неоднорідність і динамічність транспортних потоків, властиву їм нерівномірність. Аналітичні формули для розрахунку простоїв вагонів в очікуванні технологічних операцій недостатньо враховують технічне оснащення станції та їх технологію, тому з появою ЕОМ почали інтенсивно розвиватись методи імітаційного моделювання роботи станцій.

1.2.2. Імітаційне моделювання

Імітаційне моделювання є потужним засобом вирішення проблем, які неможливо вирішити аналітично. Воно володіє наступними властивостями [57-59]. У зв'язку з тим, що збирається величезний об'єм інформації про об'єкт дослідження, з'являється можливість виконання детального аналізу явищ та проникнення в сутність процесу, що неможливо при звичайному натурному досліді. Реальність виконання таких експериментів на імітаційних моделях при неможливості проведення на існуючих ділянках залізниць; можливість прогнозування та аналізу різноманітних ситуацій, що можуть виникнути в майбутньому, але ще не виникали на практиці; довготривалі явища та процеси в реальній системі можуть бути проаналізовані за короткий проміжок часу; можливість оцінити значимість окремих параметрів, що полегшує створення теоретичних моделей.

В залежності від задач, що досліджуються в роботі залізничних ліній, імітаційні моделі можна розділити на три категорії [50]: ті, що представляють рух окремих поїздів (мікромоделі) та рух групи з декількох поїздів (макромоделі); ті, що розглядають потік поїздів на розгалуженій мережі залізниць (сітьові моделі). В мікромоделі з допомогою точних методів

досліджується індивідуальна поведінка поїздів. В цьому випадку поїзди розглядаються у вільному русі [59]. Прикладом такої моделі є виконання тягових розрахунків на ЕОМ. В макроскопічній моделі досліджуються середні характеристики руху великої кількості поїздів на ділянці. Таке моделювання дозволяє розглядати комплекс «потік поїздів – машиніст – ділянка». Сітьові моделі охоплюють широкий клас задач при проектуванні будівництва та реконструкції, плануванні перевізної роботи та експлуатації залізниць.

Ще одним фактором, що впливає на точність моделі, є коректність врахування випадкових факторів [60]. Це в першу чергу стосується мікромоделей. Якщо ліквідувати в них елементи випадковості, вони починають працювати аналогічно сітьовій моделі. І навпаки, досліджуючи макромодель або сітьову, можна до деякої міри ігнорувати випадкові фактори, оскільки вони вже увійшли в ці моделі в усередненому вигляді.

Початок розвитку імітаційного моделювання транспортних систем припадає на 60-ті роки ХХ сторіччя [60]. В подальшому ці дослідження були покладені в основу фундаментальної праці з теорії моделювання транспортних систем [61]. В ній сформульовані загальні принципи формалізації станцій і вузлів, методології їх функціонального моделювання. У цих роботах об'єкт дослідження розглядається як багатофазна система, у яку надходять на обслуговування заявки різних категорій (поїзда, состави, локомотиви та ін.). Характер обслуговування заявки відповідає технології роботи об'єкту та залежить від її типу. Дослідження моделей пропонується виконувати методом статистичних випробувань [62], на основі результатів якого можна вибрати кращу структуру та технологію роботи об'єкта.

В [61] розроблено універсальний алгоритм моделювання, що дозволяє вирішувати задачі різного характеру й масштабу – від розрахунку пропускної спроможності перегону до станції в цілому. У результаті моделювання визначаються пропускна й перероблювальна спроможність системи, потужність технічних засобів, техніко-експлуатаційні показники. Метою

моделювання є дослідження варіантів схеми та технології роботи об'єкта при заданому потоці поїздів, спрямоване на виявлення елементів, що лімітують його роботу, і черговості посилення технічного оснащення при збільшенні обсягів роботи. При цьому з урахуванням взаємодії всіх вирішальних елементів станції й технологічного процесу одночасно визначається число колій, маневрових локомотивів, сортувальних пристроїв, тощо.

Методи імітаційного моделювання станцій використовуються на польських залізницях. У [63] сортувальні станції розглядаються як СМО, пов'язані сукупністю умов в єдине ціле. Станція розглядається як сукупність постів обслуговування і пунктів очікування різного виду, призначених для обслуговування вхідного потоку заявок, у результаті чого утворюється вихідний потік. Для реалізації СМО на ЕОМ використовуються моделі, керовані подіями, у яких ситуація, змінюється дискретним способом від події до події. Такий підхід дозволяє помітно скоротити тривалість моделювання. Однак, він не дозволяє імітувати рух об'єктів у часі, а також реалізувати інтерактивний режим роботи моделі і при наявності швидкодіючих ЕОМ, втрачає свою перевагу. Тривалість обслуговування заявок в [63] приймається або постійною, або як значення лінійної функції змінних, що характеризують пост обслуговування або об'єкт, що обслуговується. У дійсності ж хронометражні спостереження показують, що час обслуговування, у більшості випадків, являє собою випадкову величину з певним законом розподілу. Це необхідно враховувати при моделюванні.

Для вирішення задач пошуку раціонального технічного оснащення залізничних станцій у [64] пропонується використати статистичне моделювання технологічних процесів, за результатами якого визначаються вузькі місця в системі, затримки і простой поїздів.

Модель сортувальної станції, у якій моменти початку й закінчення окремих технологічних операцій з поїздами визначаються за допомогою окремих програмних модулів, запропонована в [65]. Модулі розробляються для кожної послідовності операцій із врахуванням ворожості маршрутів

пересувань. Аналіз роботи моделі здійснюється за допомогою методу статистичних випробувань. Враховуються випадкові коливання вхідного потоку поїздів і тривалість виконання основних технологічних операцій. Недоліком цієї роботи є те, що такий підхід дозволяє побудувати адекватну модель конкретної станції, що не може бути використана для дослідження інших об'єктів.

В роботі [65] розглядається імітаційне моделювання промислових сортувальних станцій. Модель сортувальної станції представлена як багатоканальні, багатофазні СМО з випадковим вхідним потоком і тривалістю обслуговування з трьома підсистемами: передгірочний парк, сортувальний парк, парк відправлення. В передгірковому парку розглядаються дві фази обслуговування: технічний огляд і розформування составів; маневрові пересування не розглядаються. Сортувальний парк моделюється як однофазна багатоканальна система. Заявками в ній є состави, що завершують накопичення, обслуговуючими пристроями – маневрові локомотиви на витяжних коліях. У парку відправлення заявками є сформовані поїзди, а обслуговуючими пристроями - бригади ПТО, поїзні локомотиви та вихідні ділянки. Як недолік в моделі можна зазначити не врахування схеми колійного розвитку.

Для визначення пропускної спроможності транспортних систем проф. І. Т. Козловим розроблена методика побудови імітаційних моделей [67]. Транспортний об'єкт в роботі представляється формалізованим описом його постійних пристроїв, змінних засобів і системи оперативного керування роботою. Постійні пристрої й змінні засоби представляються багатоканальними елементами із числом каналів $k \in (1; n_j)$.

Для моделювання роботи транспортних систем досить широко використається апарат мереж Петрі [68]. Використання цього апарату скорочує витрати часу на розробку моделей транспортних об'єктів а також спрощує процес їх створення, і в подальшому покликано збільшити якість перевізного процесу, скоротити строки доставки вантажів і, тим самим,

підвищити конкурентоздатність залізниці. Зокрема, в [69-70] розглядаються можливості використання апарата мереж Петрі для моделювання сортувальних станцій і інших транспортних комплексів. Під керівництвом професора Є. В. Нагорного розроблена методика подання комплексу "сортувальна станція - примикаючі ділянки" у вигляді мережі Петрі, у якій переходи імітують обробку об'єктів протягом заданого часу, а позиції характеризують стан системи й визначають умови переходів. При виконанні умов перехід спрацьовує, у результаті чого змінюється поточна розмітка мережі. У даних роботах показано, що ускладненням структури мережі можна досягти будь-якого ступеня деталізації системи. Передбачена також можливість моделювання випадкових інтервалів та тривалостей обслуговування транспортних об'єктів. Моделі, побудовані на основі мереж Петрі, дозволяють фіксувати стан системи в довільний момент часу, і за результатами моделювання визначити інтегральні показники тривалості виконання окремих операцій і число оброблених об'єктів. Як недолік, слід зазначити відсутність у моделі механізму вибору черговості виконання окремих операцій при виникненні конфліктних ситуацій. Зазначений механізм є у всіх керованих системах масового обслуговування, до яких відносяться транспортні комплекси. Також у моделі на базі мережі Петрі важко імітувати рух транспортних об'єктів для розрахунку витрат, пов'язаних з їхнім переміщенням.

Однієї з основних проблем, що виникають при функціональному моделюванні роботи станцій та дільниць, є складність формалізації технологічних процесів обробки поїздів, які можуть суттєво відрізнятися для різних категорій поїздів, і в тому числі для різних елементів транспортних систем. Для полегшення й спрощення підготовки до моделювання в ДНУЗТ виконано комплекс робіт, що пов'язані з розробкою методики подання технології виконання основних операцій обробки поїздів та технічного оснащення станцій. Так для формалізації технологічного процесу обробки поїзда в [71] пропонується використовувати структурно-часову таблицю

комплексу робіт, а в [72] формалізація технологічних процесів обробки об'єктів здійснюється з використанням детермінованого кінцевого автомата, який забезпечує виконання з кожним об'єктом всього комплексу технологічних операцій відповідно до їх взаємної обумовленості. Для врахування впливу оперативно-диспетчерського персоналу в [72] запропоновано концепцію ергатичних моделей станцій, в яких людина бере безпосередню участь в процесі моделювання і управляє технологічним процесом станції. Використання такого роду моделей дозволяє вирішувати широке коло прикладних задач, направлених на вдосконалення роботи залізничних станцій.

Отже, розроблені моделі дозволяють адекватно моделювати технологічні процеси станцій, але необхідним є подальше їх удосконалення з метою спрощення і прискорення їх побудови, а також спрощення аналізу результатів їх роботи.

1.2.3. Моделювання руху поїздів

Важливу роль у вивченні впливу випадкових факторів на поїзну роботу відіграє моделювання руху поїздів [50]. Така модель повинна відобразити роботу перегонів, ділянок, ліній, напрямків та може бути використана з метою дослідження, аналізу, прогнозування та управління рухом поїздів. Модель може допомогти з'ясувати, яким чином довжина поїздів та блок-ділянок, профіль колії та інші фактори впливають на швидкість руху поїздів, міжпоїзний інтервал та на пропускну спроможність в цілому.

Модель діючої ділянки, напрямку, полігону може мати велике значення при розвитку мережі залізниць та плануванні експлуатаційної роботи. Тому у [50] піднімається питання необхідності створення моделі, що представляє реальну картину потоку поїздів та доступну для системного аналізу. Це дозволить знайти ефективні концепції управління рухом поїздів та отримати можливість прогнозувати показники роботи залізниць.

Немає сенсу створювати модель, яка точно відтворює всі деталі, оскільки це призводить лише до ускладнення процесу її створення [60]. Тому

при моделюванні використовують ряд апроксимацій реальних характеристик руху поїздів. Якісна модель повинна бути одночасно і точною, і простою. Але такі моделі складно створювати у випадку великої та складної системи, якою є мережа залізниць [57]. Тому при дослідженні характеристик залізничної системи в цілому доцільно використовувати спрощені моделі, в яких вводяться апроксимації. У той же час при детальному дослідженні ізольованих ділянок мережі використовується точна модель, в якій зв'язки даної ділянки з іншими спрощуються та детально досліджується тільки ця ділянка.

У зв'язку з тим, що кожен поїзд на ділянці є дискретним та випадковим елементом, при моделюванні використовують мікромоделі [58], що досліджують індивідуальну поведінку кожного з поїздів за допомогою точних методів: наприклад, при тягових розрахунках, аналізі процесу «слідування за лідером» чи забезпеченні безпеки руху поїздів. Але такі моделі складно використовувати для дослідження великих мереж залізниць, що складаються із значної кількості ділянок. В цьому випадку доцільно використовувати макромоделі [58], що представляють середні характеристики великої кількості поїздів спрощеними методами.

При організації руху поїздів в якості кінцевої мети можуть бути [57]: досягнення найкращого значення заданої функції; виконання розмірів руху поїздів у заданий момент часу при мінімумі витрат; виконання заданої задачі у випадку використання фіксованої жорсткої програми функціонування технічних засобів; взаємодія ділянки, що досліджується, з роботою станцій та сусідніх ділянок для досягнення найвищої ефективності з точки зору експлуатації напрямку чи полігону. Якщо вирішується тільки питання досягнення найкращого значення заданої цільової функції, то від організації руху поїздів вимагається, принаймні, забезпечити ефективне функціонування ділянки.

Для моделювання руху поїздів доцільно застосовувати ЕОМ. Але імітаційне моделювання потоку поїздів не є простою справою у зв'язку зі

складністю системи та неможливістю моделювати всі фактори, що на неї діють. Тому для того, щоб вирішити деяку задачу методом моделювання, рекомендують звузити як її постановку, так і масштаби моделі [59]. Тим не менш техніка імітаційного моделювання на ЕОМ дозволяє мати справу з більш детальними моделями, ніж аналітичні методи. Розвиток процесу імітування руху поїздів на дільницях йшов від представлення поїзду як матеріальної точки до гнучкого стрижня або сукупності взаємодіючих окремих одиниць рухомого складу.

У відповідності з [57], при побудові моделі руху поїздів рекомендовано використовувати змінні, значення яких достатньо легко отримати із виконаних графіків руху та швидкостемірних стрічок локомотивів, але, наприклад, дільнична швидкість, міжпоїзні інтервали, ступінь використання розкладу графіка руху та ін. схильні до коливань. Тоді для визначення, наприклад, міжпоїзних інтервалів I , моделюють таку випадкову величину ξ , математичне очікування якої $M\xi$ дорівнює величині I . При цьому $M\xi$ оцінюють як середнє арифметичне n реалізацій випадкової величини ξ . Центральна гранична теорема при досить широких пропозиціях відносно ξ гарантує асимптотичну нормальність розподілення середньоарифметичного

$$I_n = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i$$

Похибка оцінки I_n не перевершує із заданою ймовірністю величини $C\sqrt{\frac{D\xi}{n}}$, де $D\xi$ – дисперсія випадкової величини ξ , а C – константа, що визначається ймовірністю помилки (рівнем достовірності оцінки). При використанні метода статистичних випробувань моделюють нормально розподілену випадкову величину, і задача полягає в обчисленні параметрів нормального розподілення.

Задачі, пов'язані з рухом поїздів, відносяться до класу задач масового обслуговування [73-74], наприклад, відправлення поїздів з технічних станцій, слідування по ділянкам, прийом на станції пов'язані з очікуванням поїздів у

чергах. У цих процесах можна відмітити деякі загальні для них особливості. Поїзди, що очікують відправлення, пропуску чи прибуття, на станції поступають у визначеному порядку. Можливі випадки, коли відбувається процес накопичення поїздів з виникненням черги і неминучим очікуванням. Це призводить до зниження дільничної швидкості, ускладнення в регулюванні локомотивним парком тощо.

Таким чином, моделювання руху поїздів на дільницях при побудові імітаційних моделей є неоднозначною задачею, що може вирішуватись з різною ступеню деталізації фізичних процесів. Вона повинна визначатись в залежності від задач, що повинні вирішувати передбачені моделі в межах збереження адекватності їх роботи реальним транспортним об'єктам.

1.2.4. Моделі роботи залізничних дільниць та напрямків дальнього зарубіжжя

Проблема моделювання та розробки програмного забезпечення, що б дозволяло вивчати питання організації руху поїздів на дільницях та напрямках, вирішувалась різними шляхами в розвинутих країнах світу [75]. У США під керівництвом Джона Волпа в 2009 році розроблено проект Railroad Traffic Planner (RTP) - програми для планування та контролю руху поїздів (рис 1.3). RTP було розроблено для більш ефективної побудови ГРП в порівнянні з ручним методом. Модель визначає місце знаходження поїздів і технічну стан транспортних засобів завдяки оснащенню поїздів GPS навігаторами. RTP ідентифікує потенційні проблеми в ГРП [76]. Візуалізація руху поїздів на графіку дає можливість операторам скорегувати ГРП. В моделі RTP існує ряд недоліків: обсяг вантажів, що перевозиться постійно змінюється, тому застосування RTP ускладнене для постійного оновлення інформації; ускладнений захист GPS приладів від вандалізму; відсутність стандартних повідомлень; неможливість відмінити зміну; відображення місця знаходження поїзда ускладнюється при великій кількості поїздів.

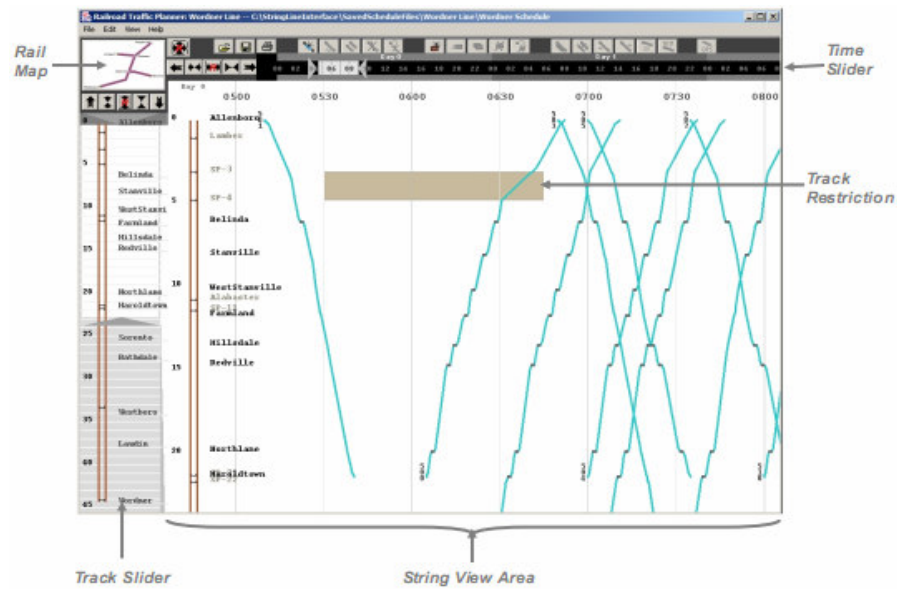


Рис. 1.3 – Головне вікно RTP

На залізницях США найбільш поширеним є програмне забезпечення Rail Traffic Controller (RTC) (рис 1.4), що регулює рух поїздів [77]. Переваги Rail Traffic Controller полягають в удосконаленій логістиці, легкості регулювання операцій та проведенні загального аналізу, можливості проведення дослідження для поїздів з різними параметрами, різних топографічних умов, для станцій з будь-яким колійним розвитком, зображенні результатів симуляції у зрозумілій для користувача графічній формі.

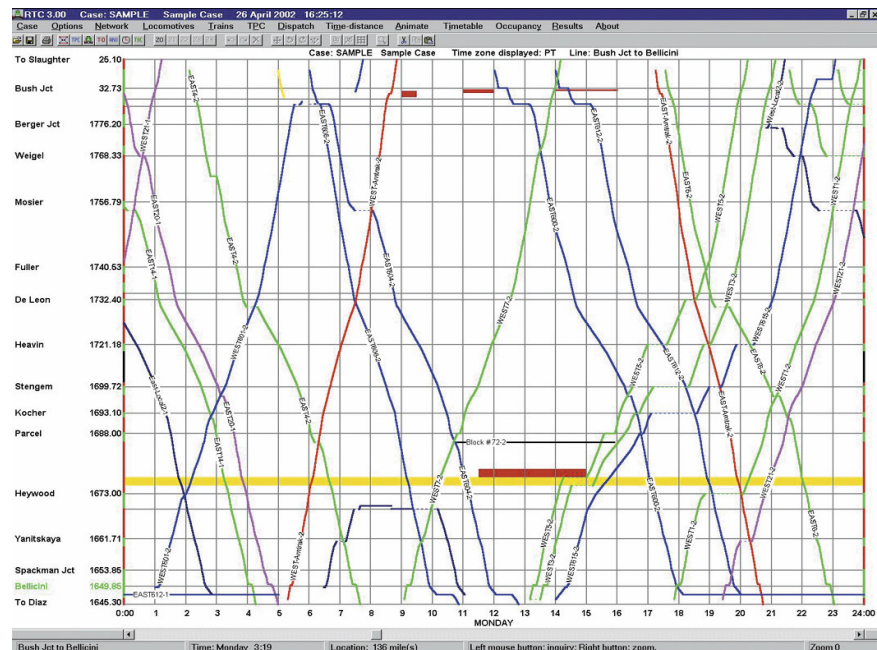


Рис. 1.4 – Графік руху поїздів у RTC

У Швейцарії запропоновано систему моделювання руху поїздів Open Track у середині 90-х років [78]. Зараз Open Track широко застосовується на залізницях, на промислових підприємствах, у наукових дослідженнях багатьох держав Європи для вирішення наступних питань:

- 1) встановлення необхідних умов для функціонування мережі залізниць.
- 2) аналіз пропускної спроможності залізничного напрямку та станції.
- 3) дослідження рухомого складу (майбутні вимоги).
- 4) побудова ГРП, аналіз його надійності.
- 5) аналіз систем сигналізації.
- 6) аналіз недоліків системи та затримок рухомого складу.
- 7) розрахунок енергетичних витрат на рух поїздів.

Open Track зберігає технічні характеристики кожного локомотива, включаючи діаграми тягових зусиль та швидкості, довжину та масу поїздів, умови зчеплення, вид тяги. База даних ГРП зберігає інформацію про кожний поїзд на кожній станції, включаючи час прибуття та відправлення, мінімальний час зупинки, та зв'язки з іншими поїздами. Користувач може змінити дані як в табличній формі, так і безпосередньо на ГРП (рис 1.5).

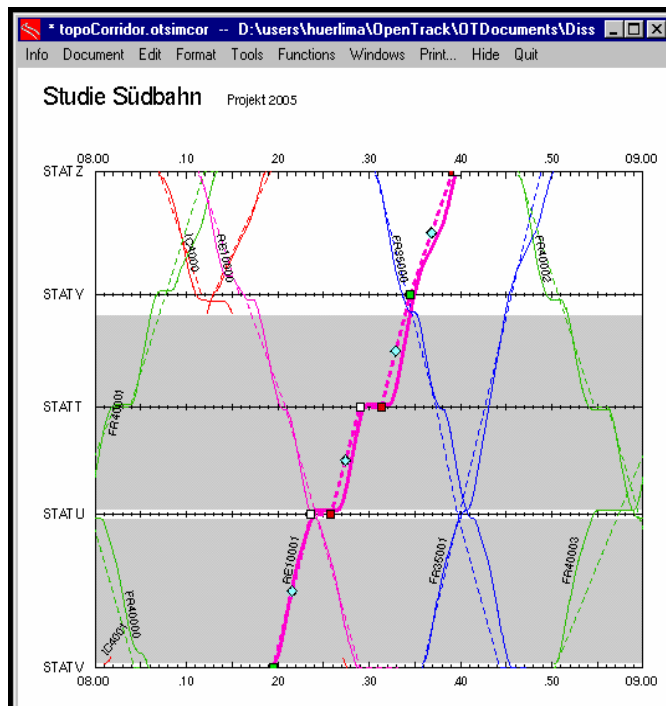


Рис. 1.5 – Графік руху поїздів в системі Open Track

Зупинки на станціях в Open Track моделюються випадково. Диференційні залежності швидкості та відстані є основою для розрахунку руху поїздів. Користувач може спостерігати за процесом моделювання, що показує рух поїздів, і йому надається можливість аналізувати зайнятість колій та керувати сигналами. Після моделювання Open Track пропонує проаналізувати результати. Можлива оцінка руху окремих поїздів, ГРП в цілому, роботи окремих станцій. Для аналізу руху поїзда в Open Track передбачено криві прискорення, швидкості, а також процесу просування по дільницям. Для оцінки лінії ГРП надаються діаграми поїзного руху, спеціалізація маршруту, профіль лінії.

Аналогічними Open Track для моделювання та аналізу операцій на мережі залізниць, включаючи транзитні, місцеві перевезення, перевезення пасажирів у приміському сполученні, змішані основні залізничні перевезення є програмні продукти RAILSIM та CflexTrains (Бразилія, Аргентина) [79, 80] (рис 1.6).

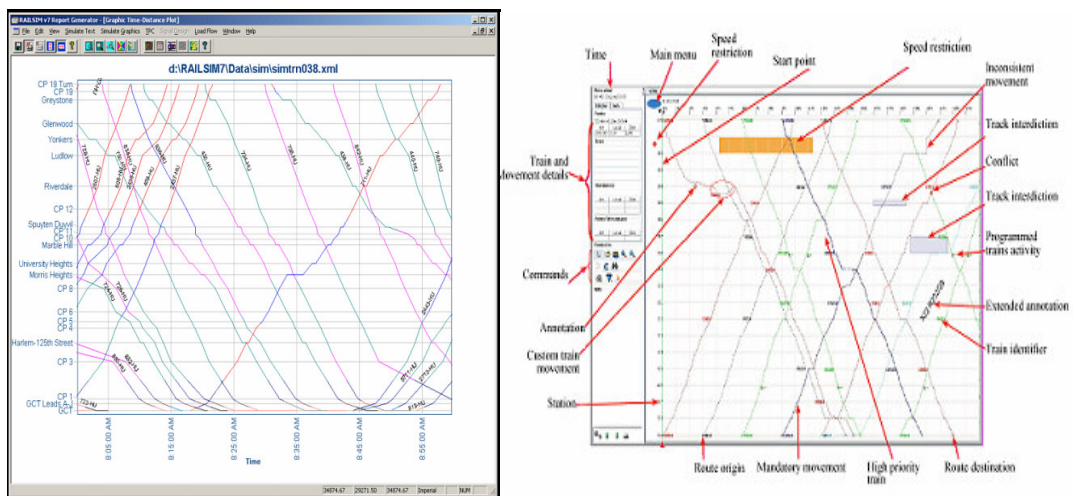


Рис. 1.6 – Графік руху поїздів RAILSIM, CflexTrains

Розроблена в Німеччині програма TrainPlan [81] забезпечує високонадійну базу даних ГРП для розробки і зберігання всіх версій ГРП від довгострокового до оперативного інженерного плану-графіка (рис 1.7). Разом із TrainPlan в Німеччині застосовується Timetable Robustness Analyzer (ТТРА), який використовуючи правила складання ГРП, показує зупинки поїздів та виявляє слабкі місця в ГРП будь-якої складності, наприклад при

незначному збої в русі поїздів або тимчасових обмеженнях швидкості руху поїздів. Розуміння причин затримок дозволяє планувальникам ГРП вносити обмірковані, ефективні зміни в ГРП. Недопущення затримок робить перевезення більш надійними.

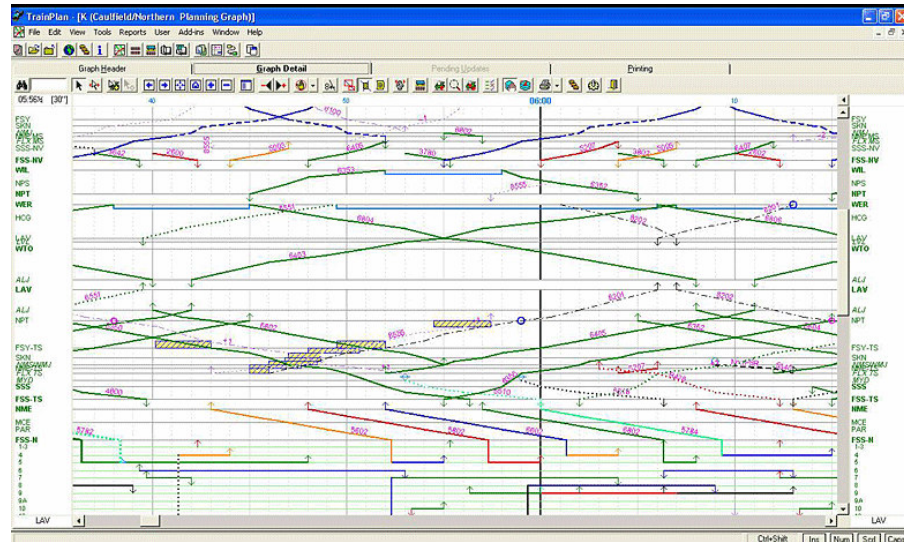


Рис. 1.7 – Інтерфейс TrainPlan

1.3. Висновки

На українських залізницях історично склалася диспетчерська форма управління поїздопотоків на основі візуального сприйняття інформації про стан поїздів на ділянках управління від робітників лінійних підприємств.

Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках показав, що в сучасних умовах відсутній комплексний підхід до розв'язання задачі вибору маси та довжини поїздів. В існуючих наукових роботах вплив параметрів поїздопотоків розглядається в аспектах експлуатаційної роботи станцій та ділянок, а клієнти залізниці при цьому знаходяться поза межами системи перевезень і ніяким чином не можуть вплинути на строки доставки вантажів, окрім збільшення партій відправок. Для розв'язання вказаної задачі необхідна побудова адекватних математичних моделей технологічних процесів роботи залізничних станцій та напрямків і розробка методів техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки вибору параметрів поїздопотоків.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ

2.1. Послідовність та методи проведення досліджень

Залізничний напрямок представляє собою складну, динамічну, стохастичну, ергатичну систему. Цілями даної системи є забезпечення перевезень вантажо- та поїздопотоків із заданою маршрутною швидкістю з мінімальними експлуатаційними витратами та при безумовному дотриманні безпеки руху. Залізничному напрямку як системі властива багатакомпонентність, багатокритеріальність, високий динамізм поведінки [82, 83].

Підсистемами залізничного напрямку є технічні станції та залізничні дільниці, елементами виступають колії перегонів, приймально-відправних та сортувальних парків станцій, горловини станцій, поїзди, локомотиви, вагони, працівники тощо. Підсистеми окремого залізничного напрямку, як і різні напрямки, поєднані між собою множиною прямих та зворотних зв'язків, що змінюються у часі. Між елементами системи мають місце фізичні та інформаційні зв'язки. Стан системи характеризується положенням та станом її окремих елементів у просторі та часі. Входом та виходом системи «залізничний напрямок» постає поїздопотік із та на суміжні напрямки. Поведінка цієї системи обумовлюється в основному впливом системи управління та значно залежить від обсягів та вхідних поїздопотоків.

Під час пропуску по напрямку вагонопотоки проходять ряд фаз обслуговування. В залежності від структури напрямку це фази переробки потоків на сортувальних та дільничних станціях, пропуску потоків по залізничним дільницям. Кількість дільниць та станцій переробки на напрямку може коливатися в широких межах в залежності від його довжини.

Для проведення дослідження та підвищення ефективності роботи залізничних напрямків за рахунок визначення раціональних параметрів поїздопотоків необхідно використовувати системний підхід. Тому при побудові моделі системи «залізничний напрямок» виконано її декомпозицію: модель залізничного напрямку поділяється на моделі технічних станцій та дільниць. Для кожної моделі характерні свої задачі та методи дослідження, при цьому вихідні дані на нижчому рівні є вхідними даними для вищого рівня.

На мікрорівні об'єктом дослідження є процес переробки транзитних вагонопотоків та формування поїздопотоків на сортувальних та дільничних станціях напрямку з технологією формування поїздів з різними параметрами ваги та довжини. Для визначення тривалості проведення операцій використано існуючі методики їх розрахунку та проведено хронометраж операцій на реальних залізничних об'єктах – станціях Нижньодніпровськ-Вузол, Джанкой, ряді залізничних дільниць. При виконанні дослідження використовуються методи математичної статистики, планування факторних експериментів, імітаційного моделювання тощо. Також на мікрорівні вивчаються характеристики існуючих поїздопотоків на в розрізах залізничних напрямків (на перегонах та станціях). Задачами дослідження є виявлення закономірностей між параметрами поїздопотоків та експлуатаційними показниками станцій.

На макрорівні об'єктом дослідження є процес пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку, що являє собою систему масового обслуговування (СМО), окремими фазами якої є станції та дільниці. Тому зміна обсягів вагоно- та поїздопотоків, їх параметрів, технології переробки впливає на завантаження залізничних об'єктів та виконавців, на міжопераційні простої та тривалість знаходження рухомого складу в окремих фазах обробки та в СМО взагалі, і відповідно на експлуатаційні витрати залізниць [84]. Задачами дослідження на цьому рівні є побудова адекватних функціональних моделей залізничних напрямків для визначення техніко-

експлуатаційних показників їх роботи. Основними методами дослідження є методи імітаційного моделювання, теорія скінченних автоматів та тягові розрахунки.

На метарівні об'єктом дослідження є процес перевезень вантажів в цілому. Економічна ситуація в країні та світі повинна впливати не тільки на умови та обсяги роботи промислових підприємств, а і на технологію їх обслуговування підприємствами транспорту в плані швидкості доставки вантажів, собівартості перевезень та ін. Оскільки залізниці мають значні витрати на утримання власної інфраструктури, то перед ними постає проблема адаптації до поведінки зовнішнього середовища. Зміна маси та довжини составів, що формуються на технічних станціях, впливає на тривалість доставки вантажів та експлуатаційні витрати залізниці. Тому адаптація параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках до впливів зовнішнього середовища є одним з можливих шляхів підвищення ефективності залізничних перевезень. Раціональні параметри поїздопотоків передбачається визначити з використанням методів векторної оптимізації.

2.2. Загальна характеристика об'єктів дослідження

Залізничні напрямки можуть суттєво відрізнятися конструкцією довжиною, технічним оснащенням об'єктів та обсягами вагоно- і поїздопотоків. Тому при побудові моделей залізничних напрямків для розв'язання задач удосконалення їх роботи необхідно виконати збір та обробку даних про існуючі умови конкретних об'єктів. В результаті аналізу умов та конструкції основним напрямків залізничних перевезень на УЗ було обрано два характерних залізничних напрямки, що відрізняються структурою поїздопотоків, – вантажонапружений напрямок Донбас-Кривбас та пасажиронапружений Кримський напрямок.

2.2.1. Характеристика залізничних напрямків

Залізничний напрямок Донбас-Кривбас розташований на території Дніпропетровської та Донецької областей, що мають розвинуту промисловість і сільське господарство. Масові вантажні перевезення на

напрямку пояснюються економічними зв'язками Донбаського та Придніпровського економічних районів з розвинутими підприємствами видобувної, металургійної, хімічної промисловості та сільського господарства. Дільниці напрямку належать до Придніпровської та Донецької залізниць.

В роботі більш детально проведені дослідження на підсистемі цього напрямку – Чаплине-П'ятихатки (Ч-П) Придніпровської залізниці, яка має протяжність 241 км. Усього на напрямку Ч-П є 32 роздільних пункти, з них чотири дільничних та одна сортувальна станції [85].

Транзитний вагонопотік надходить на напрямок по двох стиках Придніпровської залізниці: Чаплине – з Донецькою залізницею та П'ятихатки – з Одеською. Основну частину перевезень вантажів напрямку (рис. 2.1.) складає кам'яне вугілля, що йде транзитом з Донбасу на захід, а також у промислові центри Дніпропетровщини, залізна руда для металургійних комбінатів, перевезення чорних металів і мінеральних будівельних матеріалів. Дана дільниця є однією з найбільш вантажонапружених на залізницях України.

Значна частина вагонопотоку, який надходить зі сторони станції П'ятихатки, прямує без переробки, а решта надходить в переробку на технічну станцію Нижньодніпровськ-Вузол та при необхідності - Верхівцеве.

Незначна частина вагонопотоку, який надходить з Донецької залізниці по стику Красноармійськ-Чаплине прямує транзитом на Одеську залізницю, а основна частина надходить в переробку на сортувальну станцію Нижньодніпровськ-Вузол.

По напрямку також прямують порожні транзитні вагонопотоки, які надходять зі станцій Криворізької дирекції і слідуєть на станції Донецької та Придніпровської залізниць під навантаження.

Напрямок є електрифікованим з регулярним пасажирським сполученням різної періодичності. Кількість пар пасажирських і приміських поїздів на добу коливається від 16 до 30 на добу.

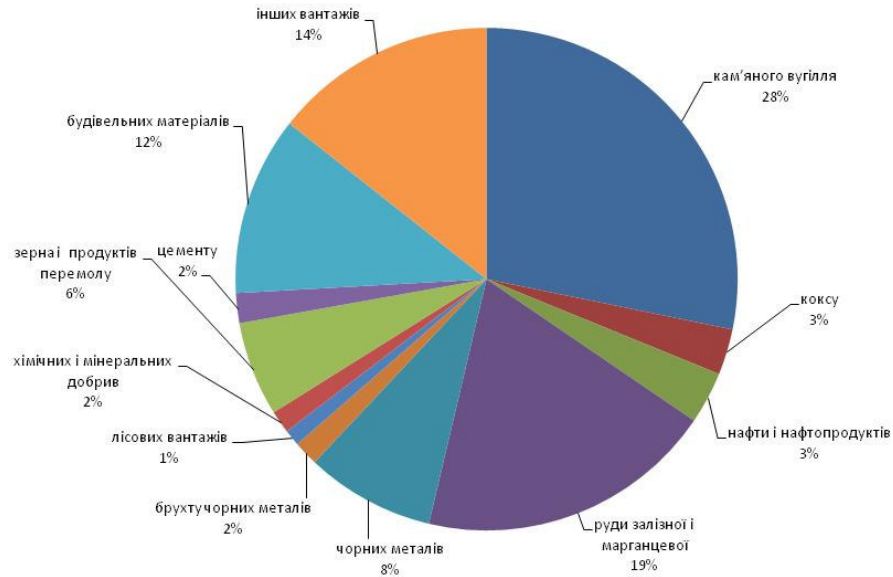


Рис. 2.1.– Діаграма розподілу вантажопотоків по категоріям вантажів

На рис. 2.2. наведена схема напрямку Ч-П із зазначенням роздільних пунктів, двоколієних та одноколієних перегонів. На електрифікованих напрямках вантажні состави водять електровози ВЛ8, ВЛ8М і ДЕ1, пасажирські – електровози ЧС2, ЧС7 приписки Придніпровської залізниці. Напрямок Ч-П можна розбити відповідно за диспетчерськими колами на 4 ділянки: Чаплинська, Синельниківська, Верхівцевська та Вузловська, обладнані диспетчерською централізацією. Основними локомотивними депо є Нижньодніпровськ-Вузол, П'ятихатки у вантажному русі та Дніпропетровськ у пасажирському. Оборотним депо є депо станції Чаплине.



Рис. 2.2 – Схема напрямку Ч-П

Пасажиронапружений Кримський залізничний напрямок є складовою частиною Кримської та Запорізької дирекцій Придніпровської залізниці. Він повністю забезпечує перевезення пасажирів та вантажів в адміністративно-територіальних межах Автономної Республіки Крим, частково в межах Запорізької та Херсонської областей України.

Головний хід залізничної лінії з'єднує АР Крим із центральними та східними областями України та пролягає з півночі на південь в тому числі через територію Кримського півострову. Напрямок Джанкой-Мелітополь (Д-М) є складовою частиною цього ходу. Його довжина складає 153 км. Середнє навантаження-вивантаження вагонів незначне, коливається в межах 1-5 вагонів на добу [86].

Розташування напрямку передбачає сезонність роботи, у літній період пасажиропотік значно зростає, що в свою чергу впливає і на кількість поїздів, які прибувають та відправляються з АР Крим, зростання кількості поїздів свого формування.

На напрямку пасажирські состави водять електровози ЧС7 та ЧС2, вантажні - електровози ВЛ8, ВЛ8М, ВЛ11М — депо Мелітополь та Джанкой. Основними локомотивними депо є Мелітополь, оборотним депо є депо станції Джанкой.

Стисла техніко-експлуатаційна характеристика станцій напрямків наведена в додатку А.

2.2.2. Управління поїзною роботою залізничних напрямків

Експлуатаційна робота залізничних напрямків в цілому здійснюється з використанням основних форм управління перевізним процесом: місячного технічного нормування експлуатаційної роботи і регулювання вагонопотоків, локомотивних та вагонних парків; змінно – добового оперативного планування поїзної та вантажної роботи; диспетчерського керування рухом поїздів. Керівництво перевізною роботою на окремих дирекціях напрямків здійснюється відділом перевезень на чолі з начальником відділу.

Начальник відділу перевезень [85, 86] забезпечує керівництво перевізним процесом, організовуючи його з мінімальними витратами для досягнення високих економічних показників експлуатаційної роботи, ефективним використанням провізної та пропускної спроможності основних напрямків, упровадженням заходів по підвищенню ваги поїздів та швидкості їх руху. Постійне цілодобове оперативне керівництво експлуатаційною роботою дирекції (рухом вантажних і пасажирських поїздів, розвозом та передачею місцевого вантажу, прийомом та здачею поїздів по стиках, узгодженням локомотивів під поїзда, організацією прийому та відправлення поїздів станціями дирекції, забезпеченням порожніми вагонами станцій навантаження, виконанням регулювальних завдань) здійснює диспетчерський апарат відділу перевезень у складі старшого диспетчера і його заступників, чергових по дирекції, поїзних диспетчерів, старшого локомотивного диспетчера, локомотивних диспетчерів, операторів при черговому по дирекції. Всі працівники диспетчерського апарату, крім старшого диспетчера, його заступників, старшого локомотивного диспетчера несуть змінне чергування.

Оперативне керівництво рухом поїздів в межах диспетчерської дільниці здійснює поїзний диспетчер (ДНЦ), який відповідає за виконання графіку руху поїздів та завдань змінного плану. Поїзний диспетчер – особисто керує рухом поїздів на дільниці, і йому в оперативному відношенні підпорядковані всі чергові по станціях, станційні диспетчери, локомотивні бригади, чергові по депо, працівники ПТО, дистанцій колії, дистанцій сигналізації та зв'язку та інші працівники, пов'язані з рухом поїздів [87]. Від якості роботи диспетчера суттєво залежать показники виконання графіку руху поїздів і, в тому числі, витрати та час, що припадають на переміщення поїздопотоків в межах дільниць та напрямків.

2.3. Аналіз функціонування оперативно-диспетчерського персоналу, що керує процесом пропуску потоків поїздів

На Укрзалізниці оцінка роботи ДНЦ виконується за кількісними та якісними показниками. Оскільки функціонування залізничних ділянок проходить в умовах дії великої кількості випадкових факторів, тому і показники їх роботи є випадковими величинами.

Аналіз роботи можна виконати за показниками графіку руху поїздів:

– здавання вагонів

$$\begin{aligned} U_{зд} &= \sum U_{зд1\dots i} = U_{здА} + U_{здБ} + U_{зді}; \\ U_{зд} &= U_{зд}^{нав} + U_{зд}^{пор}; \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $U_{зді}$ – кількість зданих вагонів на i -му пункті;

$U_{зд}^{нав}$, $U_{зд}^{пор}$ – кількість зданих навантажених та порожніх вагонів відповідно;

– обіг вагонів

$$\vartheta = \frac{1}{24} \left(\frac{L}{V_d} + K_m t_{вант} + \frac{L}{l_{тех}} t_{тех} \right), \quad (2.2)$$

де L – повний рейс;

V_d – дільнична швидкість;

K_m – коефіцієнт місцевої роботи;

$t_{вант}$ – простій вагона під однією вантажною операцією;

$l_{тех}$ – вагонне плече;

$t_{тех}$ – простій транзитного вагона на технічних станціях;

– навантаження вагонів

$$U_n = \sum U_{1+\dots+n} = U_1 + U_2 + \dots + U_n, \quad (2.3)$$

де $\sum U_{1+\dots+n}$ – сума навантажених станціями вагонів;

U_i – навантаження вагонів на i -ій станції;

– дільнична швидкість

$$V_d = \frac{\sum NL}{\sum Nt}, \quad (2.4)$$

де $\sum NL$ – поїздо-кілометри пробігу поїздів;

$\sum Nt$ – поїздо-години пробігу;

– середня маса поїзда

$$Q_{\text{бp}} = \frac{\sum Q_{\text{бp}} L_{\text{л}}}{\sum NL} = \frac{\sum Q_{\text{бp}} L_{\text{л}}}{\sum MS_{\text{л}}^{\text{лін}}}, \quad (2.5)$$

де $\sum Q_{\text{бp}} L_{\text{л}}$ – тонно-кілометри брутто;

$\sum NL$ – поїздо-кілометри;

$\sum MS_{\text{л}}^{\text{лін}}$ – локомотиво-кілометри в голові поїздів;

– середньодобова продуктивність локомотива

$$W_{\text{л}} = \frac{\sum Q_{\text{бp}} L_{\text{л}}}{M_{\text{ек}}}, \quad (2.6)$$

де $M_{\text{ек}}$ – експлуатований парк локомотивів;

– середній простій транзитного вагона на одній технічній станції

$$t_{\text{тех}} = \frac{\sum n_{\text{тр}}^{\text{від}} t_{\text{тр}}}{\sum n_{\text{тр}}^{\text{від}}}. \quad (2.7)$$

де $\sum n_{\text{тр}}^{\text{від}} t_{\text{тр}}$ – вагоно-години простою транзитних вагонів;

$\sum n_{\text{тр}}^{\text{від}}$ – кількість відправлених транзитних вагонів.

В результаті статистичної обробки звітних даних по дирекції отримані розподілення випадкової величини показників роботи двох диспетчерів. На рис. 2.3 представлено функції розподілення випадкової величини маси сформованих поїздів. Встановлено їх розподілення за нормальним законом .

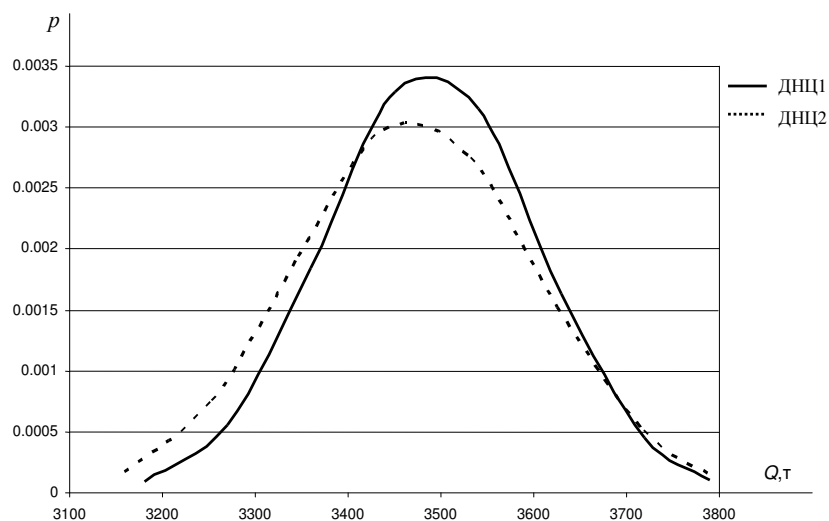


Рис. 2.3 - Функції розподілу випадкової величини маси поїздів, що сформовані на диспетчерській ділянці при роботі двох диспетчерів

Багатокутники розподілу випадкової величини дільничної швидкості поїздів на диспетчерській ділянці при роботі двох диспетчерів представлені на рис. 2.4.

За допомогою критерію Уїлкоксона [88] проведено порівняння показників роботи двох ДНЦ. Виявлено, що вибірки за такими показниками, як добова здача вагонів, добове навантаження, середня вага поїзда, відносяться до однієї генеральної сукупності. Це пояснюється тим, що відділом перевезень ведеться жорсткий контроль за виконанням кількісних показників.

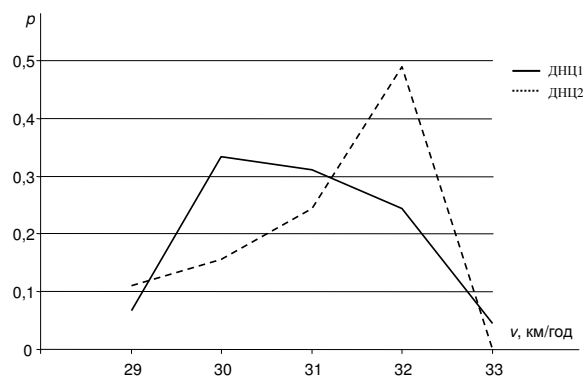


Рис. 2.4 – Багатокутник розподілу випадкової величини дільничної швидкості поїздів на диспетчерській ділянці при роботі двох диспетчерів

Інша ситуація спостерігається з виконанням якісних показників. Оборот вагону, дільнична швидкість, середньодобова продуктивність локомотива, середній простій одного вагона на одній технічній станції – всі ці показники суттєво відрізняються при роботі різних ДНЦ.

В табл. 2.1 наведені значення математичних очікувань та дисперсій вищевказаних показників. Так, наприклад, при практично однаковому значенні математичного очікування дільничної швидкості (30,54 та 31,11 км/год) у двох диспетчерів суттєво відрізняється дисперсія цього показника (10,41 та 1,08 (км/год)²).

Таблиця 2.1- Статистичні параметри показників роботи двох диспетчерів

Показник		ДНЦ 1	ДНЦ 2
здавання вагонів, $U_{зд}$	математичне очікування, ваг	7277	7376
	дисперсія, ваг ²	687482	507175
обіг вагонів, ϑ	математичне очікування, діб	1,556	1,538
	дисперсія, діб ²	0,007	0,008
навантаження вагонів, U_n	математичне очікування, ваг	2905	2843
	дисперсія, ваг ²	39963	49336
дільнична швидкість, V_d	математичне очікування, км/год	30,54	31,11
	дисперсія, км/год ²	10,41	1,08
маса сформованих поїздів, $Q_{бр}$	математичне очікування, т	3489	3471
	дисперсія, т ²	13094	16903
середньодобова продуктивність локомотива, W_l	математичне очікування, ткм	982,47	940,4
	дисперсія, (ткм) ²	5277	7152
середній простій транзитного вагона на одній технічній станції, $t_{тех}$	математичне очікування, год	4,70	4,69
	дисперсія, год ²	0,357	0,295

Отже, робота диспетчерського апарату суттєво впливає на якісні показники роботи залізничних ділянок і при дослідженні роботи залізничних напрямків бажано використовувати ергатичні моделі.

2.4. Дослідження параметрів потоків поїздів, що прямують по напрямкам

Теорії транспортних потоків розроблялися представниками двох груп вчених: математиками, які на транспорті знаходили можливості кількісної оцінки функціонування систем та вченими-транспортниками, які вивчали теорію потоків для вирішення прикладних задач [50]. Тому і виникло два напрямки розвитку теорії, один з яких базується на ідеях лінійного програмування та теорії графів, інший закладає в основу апарат теорії ймовірностей і математичної статистики. З ними можна ознайомитися в

роботах Ф. Хейта, Л. Форда, Д. Фалкерсона, Г. Поттгофа, І. Сотнікова та ін. [13, 54, 73, 89].

Дослідження поїздопотоків виконані на двох залізничних напрямках, що суттєво відрізняються характером поїздопотоків: вантажонапружений Донбас – Кривбас та Кримський пасажиронапружений напрямок. Виявилось, що обсяги вантажних поїздопотоків на протязі року мають періодичний характер із виглядом сінусоїдальної функції (рис. 2.3), і коливаються в межах 10-20% від свого математичного очікування 118 поїздів в обох напрямках на добу із аналогічною формою по категоріям у вузлах для вантажонапруженого напрямку. Так, для станції Нижньодніпровськ-Вузол кількість поїздів, що надходять в розформування, свого формування та транзитних мають практично однаковий діапазон коливань в межах 20-45 поїздів на добу із нормальним законом розподілу (рис. 2.5).

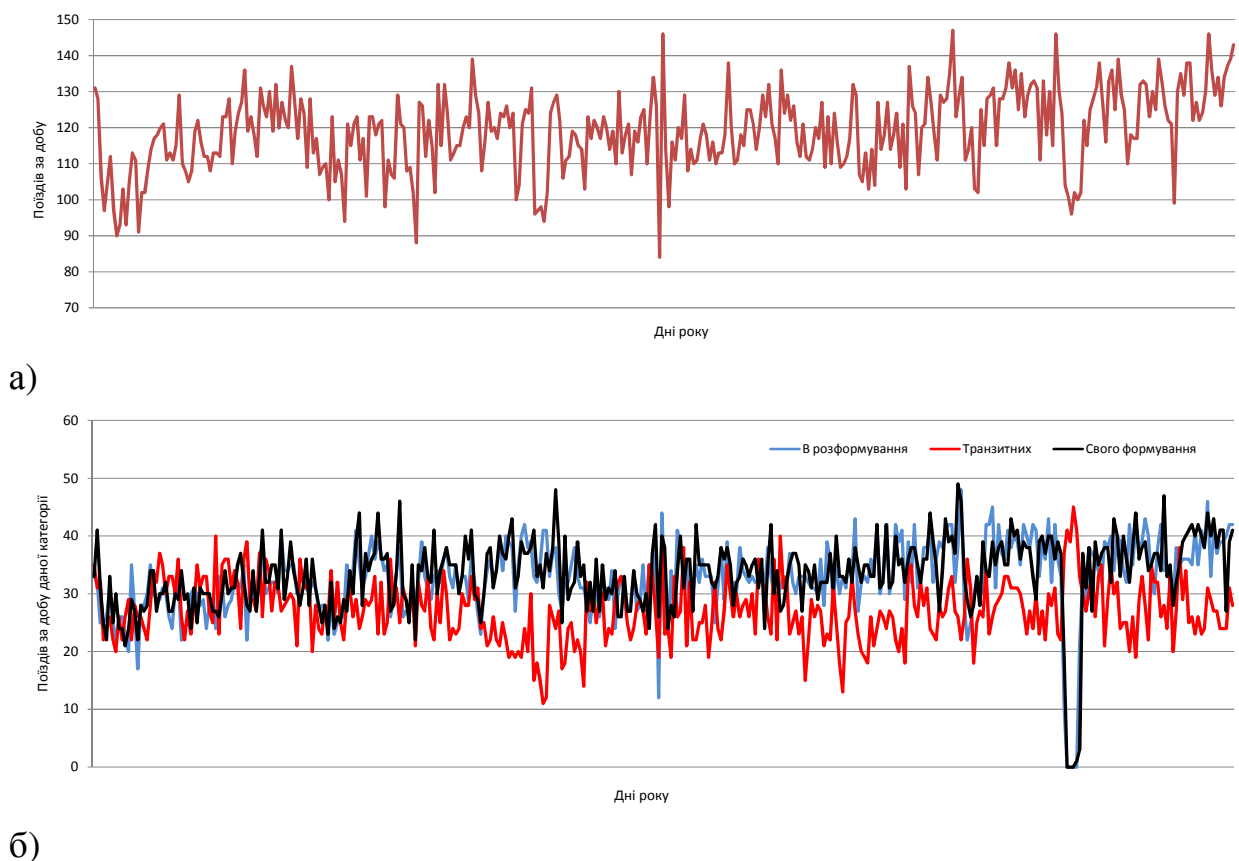
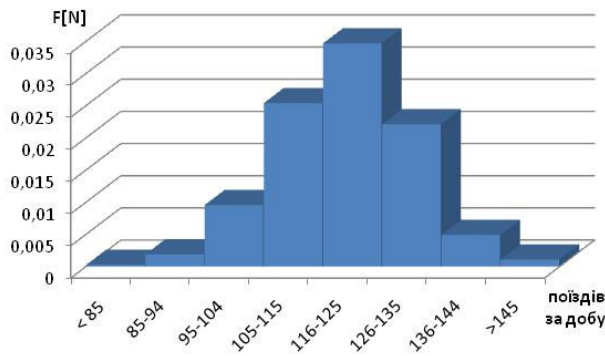
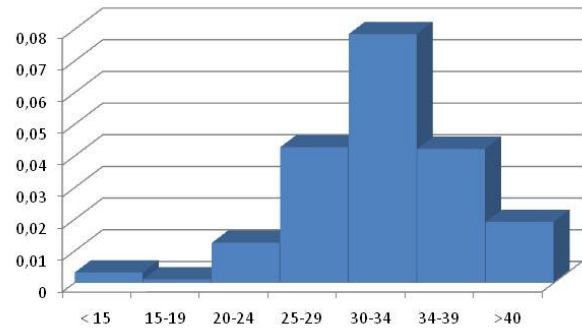


Рис. 2.5 – Характеристика обсягів вантажних поїздопотоків на залізничному напрямку на протязі року:

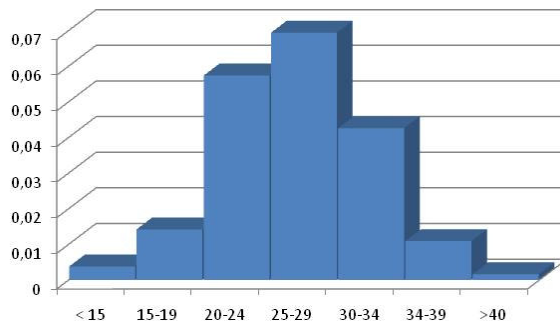
- а) сумарні поїздопотоки в розрізі сортувальної станції напрямку
- б) потоки з розподілом по категоріям для сортувальної станції напрямку



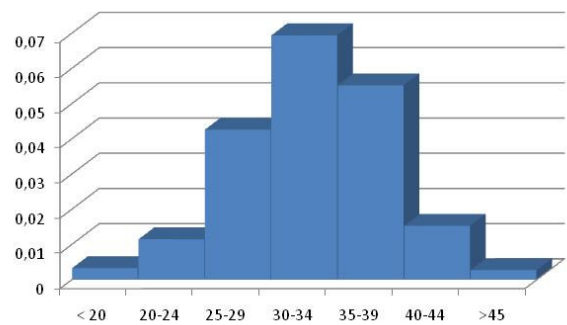
а) Разом поїздів



б) Поїздів у розформування



в) транзитних поїздів



г) поїздів свого формування

Рис 2.6 – Розподілення випадкової величини кількості поїздів по категоріям, що надходять на станцію за одну добу

Отримано диференційні функції розподілу кількості поїздів різних категорій, що прямують по напрямку, в розрізі опорної сортувальної станції:

$$- \text{ в розформування: } f(N) = \frac{1}{5,87 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-31,9)^2}{68,9}} ;$$

$$- \text{ транзитних: } f(N) = \frac{1}{5,54 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-26,3)^2}{61,4}} ;$$

$$- \text{ свого формування } f(N) = \frac{1}{5,67 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-32,5)^2}{64,3}} ;$$

$$- \text{ разом поїздів } f(N) = \frac{1}{11,6 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-118,4)^2}{269,1}} .$$

На пасажиронапруженому напрямку у вузлі Джанкой розподіл кількості одиниць вантажного поїздопотоків також нормальний, коливається в межах 10-15 пар поїздів на добу.

Випадкова величина інтервалів між вантажними поїздами в потоці для транзитних дільниць напрямків розподілена за показниковим розподілом (рис 2.7).

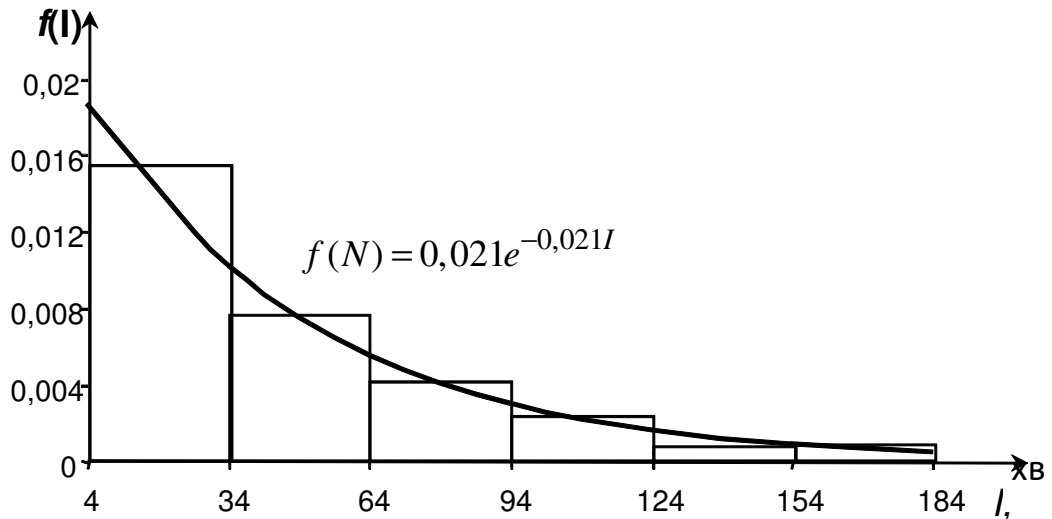


Рис. 2.7 – Розподілення випадкової величини інтервалів між поїздами в потоці

Статистичне значення коефіцієнту варіації інтервалів v зменшується від 0,9-0,93 в середині залізничних напрямків до 0,6-0,7 при дослідженні роботи сортувальних станцій. Розрахунки показали, що відхилення від показникового закону розподілу $f(I) = \lambda e^{-\lambda I}$ не значні і перевірки закону розподілу за критеріями Пірсона або Уїлкоксона підтверджують висунуту гіпотезу про розподілення.

При аналізі інтервалів між одиницями потоку поїздів на залізничних дільницях, де на кінцевих станціях локомотиви прямують завжди по обороту, існує взаємозв'язок між парними та непарними потоками. Він пояснюється технологією роботи залізниць, в якій на локомотивних та дорожніх диспетчерів покладено функцію підв'язки ниток графіку парних та непарних потоків для мінімізації простою поїздів в очікуванні локомотивів і локомотивів в очікуванні поїздів на станціях обороту локомотивів. Для станції П'ятихатки-стикова Придніпровської залізниці було вивчено характер випадкової величини простою локомотивів по обороту. Виявилося, що простій розподілений за законом Ерланга з математичним очікуванням

$M[t]=102$ хв та коефіцієнтом Ерланга $k=5$ (рис 2.8). Тому, при моделюванні потоків поїздів пропонується спочатку моделювати, наприклад, парний потік за показниковим законом розподілу, а потім до моментів прибуття парних поїздів на кінцеву станцію (або до їх математичних очікувань) прив'язувати моменти відправлення непарних поїздів з інтервалами, розподіленими за законом відповідним до закону простою локомотивів по обороту.

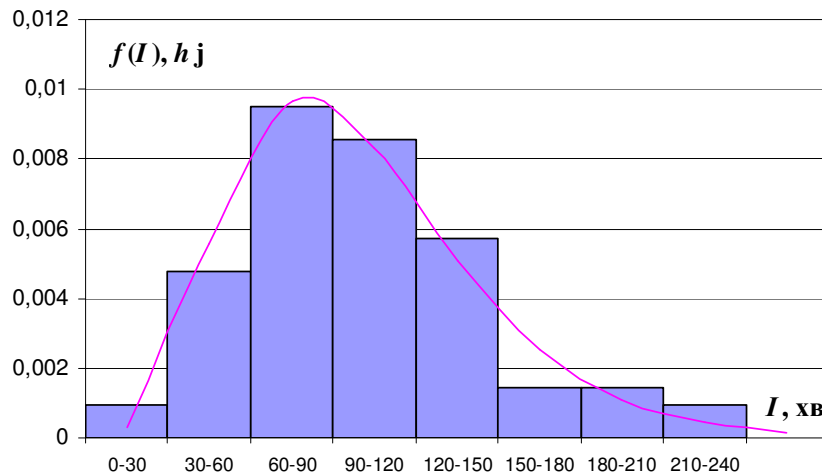


Рис. 2.8 – Розподіл випадкової величини між парними та непарними поїздами в потоці

Параметри поїздів як одиниць потоку можуть суттєво відрізнитися в залежності від напрямку руху. В переважній більшості існуючих залізничних напрямків масових перевезень можна виділити переважно вантажний напрямок та переважно порожній напрямок руху вагонопотоків. Це пояснюється структурою вантажопотоку і породжує окрему категорію порожніх поїздів в потоці.

В переважно вантажному напрямку маса поїздів є випадковою величиною з нормальним законом розподілу (рис 2.9) із математичним очікуванням $M[Q]=4770$ т та середньоквадратичними відхиленням $\sigma[Q]_{д-к}=290$ т і $\sigma[Q]_{кр}=580$ т для вищезазначених напрямків. У порожньому напрямку при аналізі поїздопотоків необхідно розділити порожні та навантажені поїзди із відповідною для напрямку пропорцією. Так для досліджених напрямків частина порожніх поїздів складає 45-50% в переважно порожніх напрямках із Кримського регіону та із центральної

частини України в Донбас із параметрами $M[Q]=1610$ т і $\sigma[Q]_{кр}=300$ т (рис 2.10).

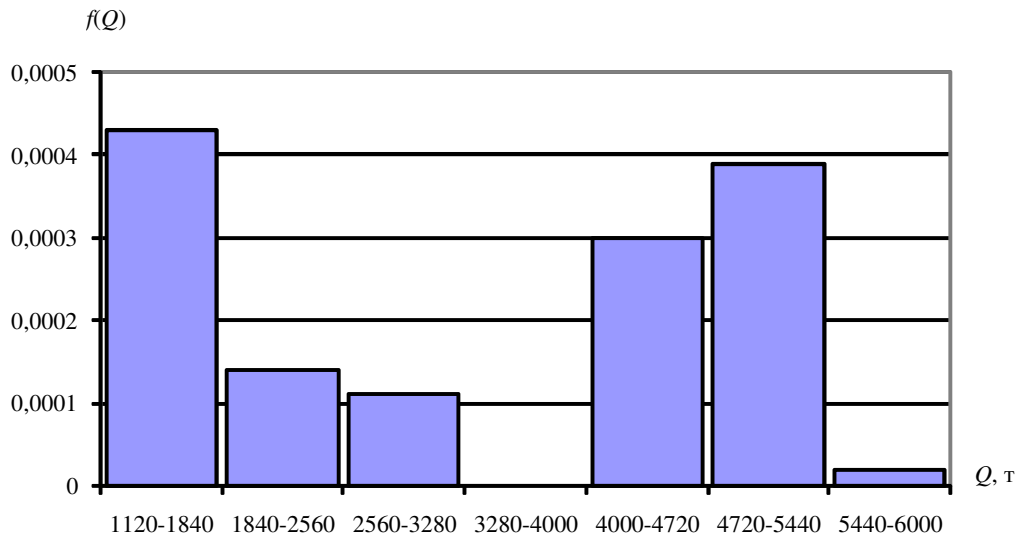


Рис. 2.9 – Розподілення маси поїздів для потоків парного та непарного напрямку

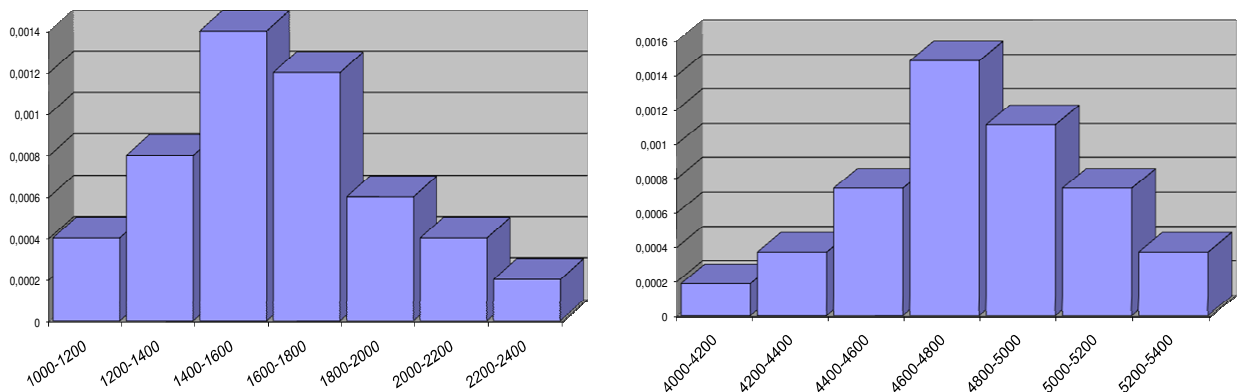


Рис. 2.10 – Розподілення маси поїздів порожнього та навантаженого потоків

Диференційні функції розподілу маси поїздів мають наступний вигляд:

$$- \text{ порожній потік: } f(Q) = \frac{1}{300 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-1610)^2}{180000}} ;$$

$$- \text{ навантажений потік: } f(Q) = \frac{1}{290 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-4770)^2}{168200}} .$$

Довжина составів транзитних поїздів вантажонапруженого напрямку коливається в широких межах від 20 до 100 умовних вагонів або 280-1400м. Розподілення цієї випадкової величини представлено на рис 2.11. Нижня

частина розподілу досягається місцевими поїздами (вивізними та збірними), верхня частина – порожніми поїздопотокками.

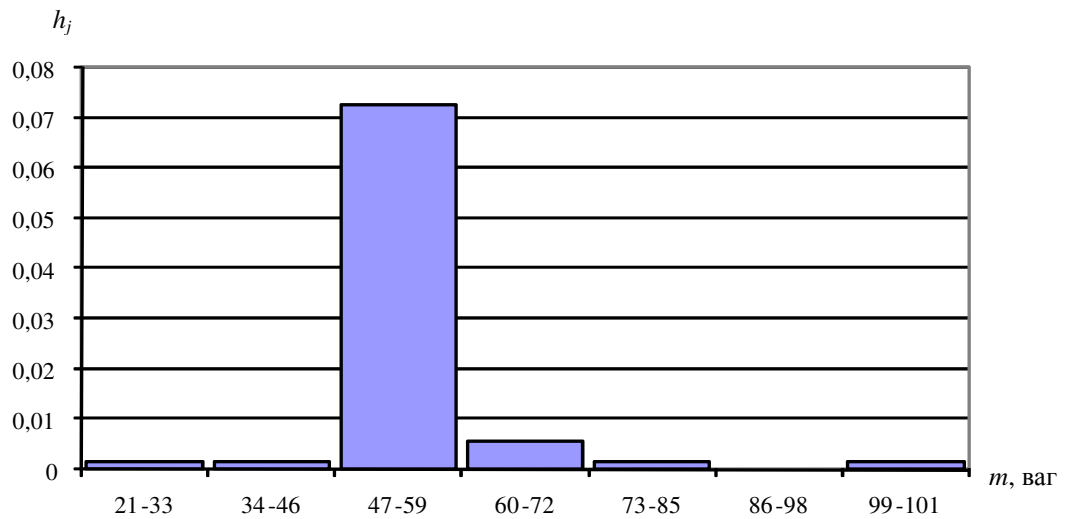


Рис. 2.11 – Гістограма розподілу випадкової величини довжини поїздів

Як видно з розподілу, найбільший інтерес складають ті состави, що мають масовий характер довжини, тобто від 49 до 61 вагону в поїзді (рис. 2.12). Її аналіз показує, що 39% транзитних поїздів мають стандартну довжину прийнятих на напрямку, 9% поїздів прямують підвищеної довжини і 52% поїздів мають запас для збільшення довжини. Це пояснюється тим, що частина з них при формуванні обмежувалась за масою, частина формувалась на станціях, що належать до інших напрямків з іншою стандартною довжиною поїздів.

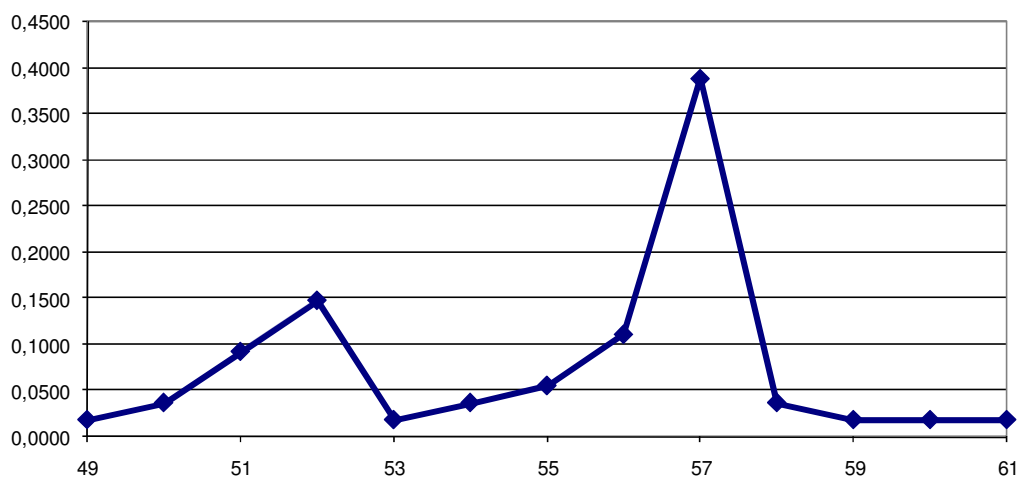


Рис. 2.12 – Багатокутник розподілу випадкової величини найбільш ймовірної довжини поїздів

Довжина составів вантажних поїздів пасажиронапруженого напрямку коливається в межах від 47 до 71 вагону. Розподілення цієї випадкової величини представлено на рис 2.13 а). Поїздопотік має як стандартну довжину прийнятих на напрямку составів (до 57 вагонів), так і практично рівноймовірнісні відхилення довжини в більшу та меншу сторони. В результаті аналізу довжини приймально-відправних колій станцій Кримського напрямку, встановлено, що в експлуатаційній роботі є проблеми із зупинкою поїздів довжиною більше за 61 ум. ваг., тому вони формуються виключно коли диспетчер має можливість без зупинного пропуску довгосоставного поїзду між вузловими станціями напрямку.

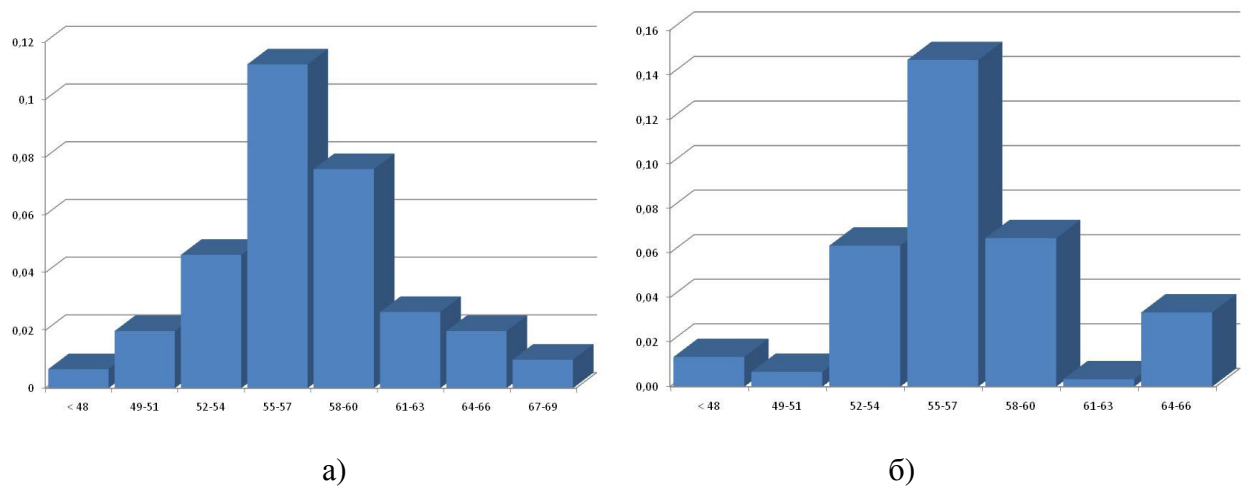


Рис. 2.13 – Гістограма розподілу випадкової величини довжини составів вантажних поїздів пасажиронапруженого напрямку

Аналіз розподілу довжини поїздів, показує, що вона є випадковою величиною із нормальним законом розподілення:

$$f(m) = \frac{1}{5,2 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-57,84)^2}{54,08}}.$$

Що стосується парного, менш завантаженого напрямку, то розподілення є нормальним якщо відкинути порожні подовжені состави (вони складають 10-15% на практиці – рис 2.14 б). Тут спостерігається два піки: більшість поїздів прямує стандартної довжини 57 умовних вагони та подовженою з порожніми поїздопотоками довжиною 64-66 ваг.

В результаті аналізу структури поїздопотоків вантажних поїздів було визначено, що 90% усіх составів складається із завантаженого вагонопотоку див. рис. 2.14 а), і по 5% змішаного та порожнього вагонопотоків для переважно вантажного напрямку. Середньостатистична кількість порожніх вагонів при цьому складала 10 ваг/сост із дисперсією 12 (ваг/сост)^2 .

В оберненому напрямку переважає вже порожній вагонопотік (близько 50%), а на інших проміжках можливої кількості порожніх вагонів у складах поїздів їх кількість практично рівномірна - рис. 2.14 б).

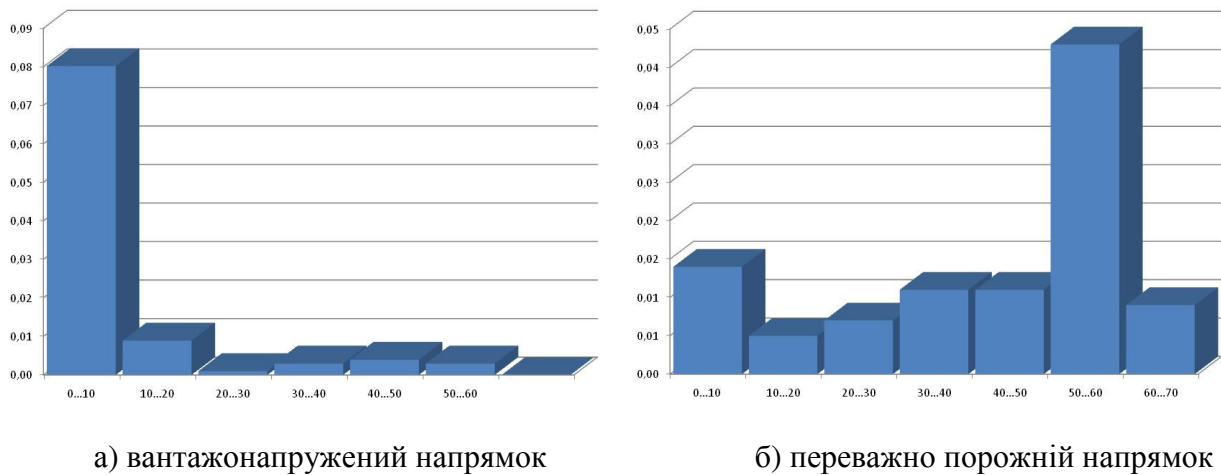


Рис. 2.14 – Гістограма розподілу випадкової величини кількості порожніх вагонів у складах поїздів

Кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів (рис 2.15). Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних напрямках коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку. Функціональний зв'язок між масою та довжиною поїздів встановлено методом мінімальних квадратів [62]. Суть його полягає у знаходженні такої функції $Q=f(m)$, яка б найкращим чином описувала поле точок (m, Q) . Найкращим чином описує поле точок функція, яка має найменшу суму відхилень статистичних і теоретичних значень, що в математичному вигляді відповідає запису:

$$S = \sum_{i=1}^n (f(m_i) - Q_i)^2 \rightarrow \min.$$

Графічне зображення поля точок (рис. 2.15) та отримане значення коефіцієнта кореляції дають підстави для опису залежності лінійною функцією виду $Q=a + bm$. Підставивши цю функцію у вищезазначену формулу, отримаємо цільову функцію

$$S = \sum_{i=1}^n (a + bm_i - Q_i)^2 \rightarrow \min,$$

де a, b – коефіцієнти, які підлягають визначенню.

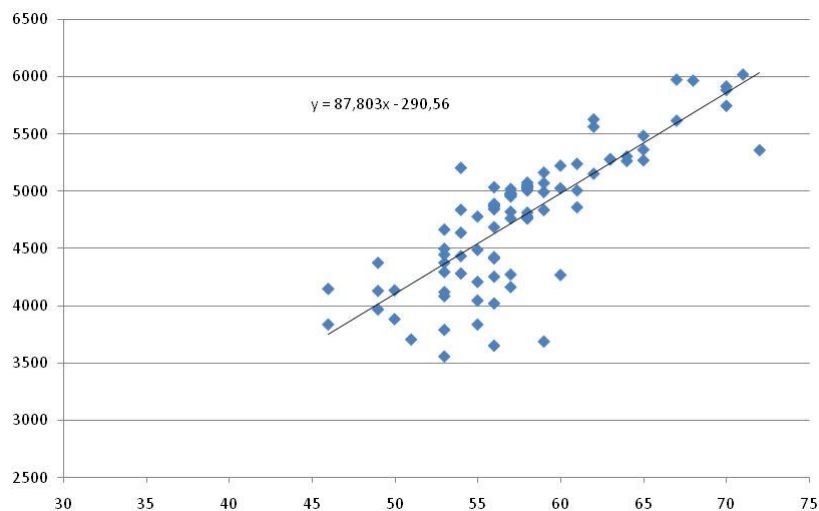


Рис. 2.15 – Поле точок $N(m;Q)$

Для пошуку екстремуму функції знайдені частинні похідні по її аргументам та прирівняні до нуля. В результаті отримано систему лінійних рівнянь із статистичними параметрами розподілу маси та довжини поїздів:

$$\begin{cases} a + bM[m] = M[Q] \\ aM[m] + bM[m^2] = M[mQ] \end{cases}$$

де $M[m]$, $M[Q]$, $M[m^2]$, $M[mQ]$ – математичні очікування величин довжини составів, маси поїздів, квадрату довжини та добутку маси на довжину поїздів.

З цієї системи виходить, що значення коефіцієнту b є відношенням кореляційного моменту випадкових величин маси та довжини до дисперсії довжини:

$$b = \frac{M[mQ] - M[m]M[Q]}{M[m^2] - (M[m])^2} = \frac{K_{mQ}}{D[m]}.$$

В результаті отримано функціональну залежність $Q = 87,803m - 290,56$, що наведена на рис 2.15.

2.5. Висновки

На основі системного аналізу були сформульовані задачі дослідження та обрано методи їх вирішення.

Дослідження мережі УЗ показали, що залізничні напрямки можуть суттєво відрізнятися характером поїздопотоків. Тому в роботі більш детально розглянуто різні за характером вантажонапружений Донбас – Кривбас та Кримський пасажиро-напружений напрямки. Обсяги вантажних поїздопотоків на протязі року мають періодичний характер із виглядом синусоїдальної функції і коливаються в межах 10-20% від свого математичного очікування 118 поїздів в обох напрямках на добу із аналогічною формою по категоріям у вузлах для вантажонапруженого напрямку. Визначено взаємозв'язок по вузловим станціям з оборотним локомотивним депо між парними та непарними потоками, що пояснюється підв'язкою поїзних локомотивів. Визначено, що випадкова величина їх простою у таких вузлах розподілена за законом Ерланга з параметром $k = 5$ та математичним очікуванням 102 хв (ст. П'ятихатки). Кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів. Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних напрямках коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку. Функціональний зв'язок між масою та довжиною поїздів встановлено методом мінімальних квадратів $Q = 87,803m - 290,56$.

Для дослідження впливу людського фактору управління технологічними процесами на залізничних напрямках виконані дослідження показників роботи різних поїзних диспетчерів. Встановлено, що на кількісні показники роботи дільниць їх досвід, кваліфікація, методи управління практично не впливають – коливання статистичних параметрів виконаних показників різних диспетчерів відбуваються в межах 2-3%. Якісні ж

показники роботи суттєво залежать від людини-диспетчера і коливаються в досить широких межах 15-80 % – при практично однаковому значенні математичного очікування дільничної швидкості (30,54 та 31,11 км/год) у двох диспетчерів суттєво відрізняється дисперсія цього показника (10,41 та 1,08 (км/год)²).

РОЗДІЛ 3

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ

В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту важливим фактором забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є адаптація технології до обсягів та структури вантажопотоків та вимог ринку транспортних послуг. Головними критеріями, що визначають вибір виду транспорту для переміщення вантажів, є вартість та тривалість перевезення. Ці критерії є суперечливими і покращення одного з них найчастіше призводить до погіршення іншого. З метою оцінки критеріїв роботи залізниць як функції параметрів поїздопотоків побудовано імітаційну модель залізничного напрямку.

Для мінімізації часу знаходження вагонів на станціях та під час переміщення, залізничні станції та ділянки повинні мати достатній резерв пропускної і перероблювальної спроможності для погашення пікових навантажень, які виникають у насправді відомі моменти часу. Так, наприклад для Кримського напрямку перевезень, таким періодом є червень – серпень кожного року, оскільки на цей час припадає різке збільшення пасажирського поїздопотоків і одночасно збільшуються обсяги місцевої роботи, що пов'язано із навантаженням продукції агропромислового комплексу. З іншого боку, необхідно мінімізувати власні витрати залізниці, скорочуючи витрати на утримання власної інфраструктури, які не залежать від обсягів роботи. Для рішення вказаної складної та суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка конструкції та технології роботи залізничних напрямків. Ефективним засобом аналізу та оцінки показників їх функціонування є імітаційне моделювання процесів перевезення.

3.1. Загальна структура імітаційної моделі роботи залізничного напрямку

Залізничний напрямок представляє собою систему масового обслуговування (СМО), підсистемами якої виступають технічні станції та дільниці. Розроблена система математичних моделей є ієрархічною і включає мікро- та макрорівні.

На мікрорівні об'єктом дослідження є процес переробки транзитних вагонопотоків та формування поїздопотоків на сортувальних і дільничних станціях напрямку. Модель технології формування поїздів дозволяє використовувати різні параметрами маси та довжини. На макрорівні об'єктом дослідження виступає процес пропуску поїздопотоків по залізничному напрямку, що являє собою СМО, окремими фазами якої є станції та дільниці. Тому зміна параметрів вагоно- та поїздопотоків, технології роботи впливає на завантаження залізничних об'єктів та виконавців, на міжопераційні простої та тривалість знаходження рухомого складу в окремих фазах обробки та в СМО взагалі. Суттєвий вплив ці фактори також мають і на експлуатаційні витрати. В зв'язку з цим, в дисертації вирішена задача побудови адекватних функціональних моделей залізничних напрямків для дослідження та оптимізації техніко-експлуатаційних показників їх роботи. Основними методами дослідження є методи імітаційного моделювання, теорія скінченних автоматів та тягові розрахунки.

Імітаційна модель залізничної станції на мікрорівні (рис. 3.1) включає універсальні моделі технологічного процесу станції (МТП), інформаційну модель (ІМ) та модель системи управління (МСУ). При цьому використана технологія ергатичного моделювання залізничних станцій [71-72], що передбачає можливість безпосередньої участі у процесі моделювання особи, яка приймає рішення, для виконання функцій маневрового диспетчера, або чергового по станції. Альтернативою ергатичному моделюванню є модель системи управління, що передбачає усі можливі сценарії технології роботи об'єкту.

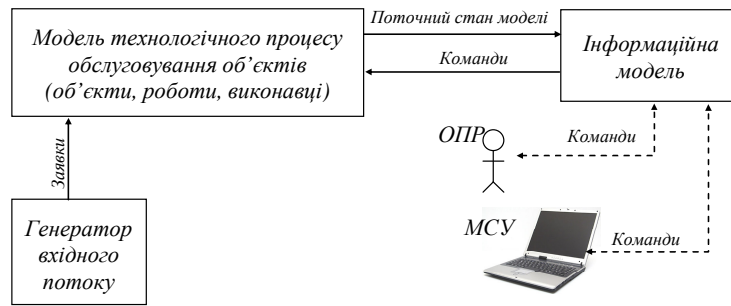


Рис. 3.1 – Загальна структура імітаційної моделі технічної станції

Отримані у другому розділі закони розподілу маси поїздів, параметрів потоку використані для побудови імітаційної моделі залізничного напрямку на макрорівні досліджень. До її складу входять модель технологічного процесу обслуговування об'єктів (МТП) та інформаційна модель (ІМ). Синхронізація МТП та ІМ виконується за командами системного таймера у відповідності з системним часом t_c . Загальний алгоритм моделі зображено на рис. 3.2.

В МТП залізничного напрямку вхідний потік утворюють парні та непарні поїзди, що вимагають пропуску по ділянцям напрямку. Фазами обслуговування поїздів є залізничні перегони та станції, що здійснюють технологічні процеси відповідно до технології роботи дирекції залізничних перевезень та технологічних процесів роботи станцій напрямку. Тривалості обслуговування моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик заявок на обслуговування та об'єктів обслуговування.

В якості об'єктів, що обслуговуються на ділянцях, розглядаються поїзди та поїзні локомотиви. Кожен об'єкт в моделі представляється структурою

$$O_j = \{I_0, a_o, P, s, n_0\}, j = 1, 2, \dots, n_0, \quad (3.1)$$

де I_0 – ідентифікатор об'єкту;

a_o – тип об'єкту;

P – множина параметрів об'єкту;

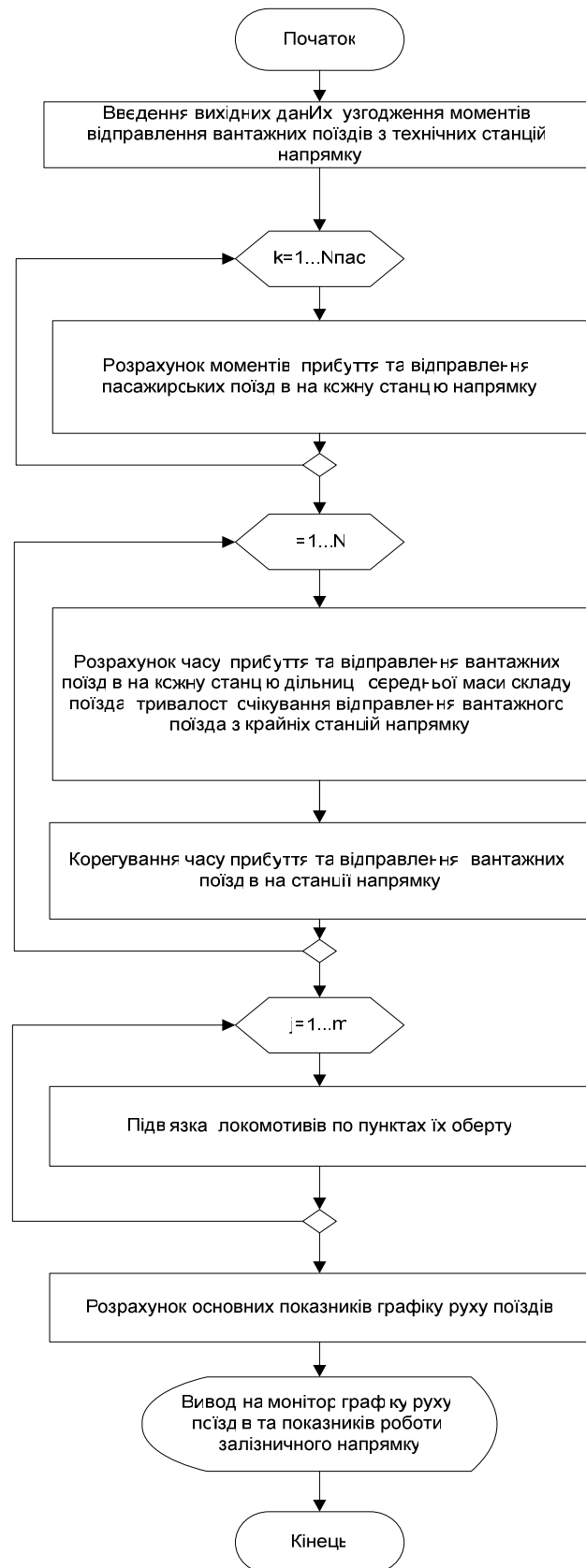


Рис. 3.2 – Загальний алгоритм імітаційної моделі залізничного напрямку

s – поточний стан об'єкту, який визначає фазу технологічного процесу його обслуговування;

n_0 – загальна кількість об'єктів, що обслуговуються в парку.

Згідно технологічного процесу в моделі передбачено можливість поділу поїздів на состави та поїзні локомотиви, що мають різну технологію обслуговування на технічних станціях, де відбувається зміна локомотивів.

3.2. Моделювання вхідного потоку поїздів

Вхідний потік заявок подається в окремому файлі, що характеризується визначеною структурою (додаток Б).

На першому етапі в модель подаються моменти надходження пасажирських поїздів в систему, (код 3 3 33 6 ...) їх номери-ідентифікатори (1525 101) та підхід надходження (1011 1); на другому етапі інформація про вхідний потік вантажних поїздів (код 3 3 33 1 ...) в такому ж ключі; і на третьому етапі – параметри вантажних поїздів (3 3 46 L 3501 4 0 3 25 16 14 6 7), що стосуються напрямку слідування вагонів в процесі розформування составу.

Момент прибуття вантажних поїздів визначається за формулою

$$T_i = T_{i-1} + t_i, \quad (3.2)$$

де t_i – інтервал між поїздами, $T_0 = 0$.

Інтервал між поїздами моделюється за законом Ерланга, згідно досліджень, що виконані в другому розділі. Враховуючи те, що розподіл Ерланга може давати значення інтервалу між поїздами наближені до нуля, що неможливо в реальних умовах через функціонування засобів автоблокування, то для моделювання використано модифікований розподіл Ерланга, при якому величина t_i визначається за допомогою виразу

$$t_i = \frac{I_{\min} - M[t]}{k} \ln \prod_{i=1}^k r_i + I_{\min}, \quad (3.3)$$

де I_{\min} – мінімальний інтервал між поїздами, що встановлюється вимогами автоблокування;

r – випадкове число, що рівномірно розподілене в інтервалі $[0, 1]$.

Рух пасажирських поїздів в моделі відбувається відповідно графіку руху дільниць напрямку.

Моделювання напрямку слідування вагонів вантажних поїздів по напрямках виконується з використанням окремої моделі *SOSTAW*. Вихідними даними є обсяги вагонопотоків по напрямкам, довжина та кількість поїздів, що прямують.

Моделювання кількості груп в складах вантажних поїздів відбувається наступним чином. Під групою m розуміються вагони поїзда які мають одне призначення плану формування, при цьому $2 \leq m \leq k$, де k - кількість призначень плану формування. Для визначення кількості груп в складі поїзда використовується методика статистичного моделювання [90]:

$$m_i = \sum_{j=1}^k Z_j \text{ де } \begin{cases} Z_j = 1, \text{ якщо } r_j < p \\ Z_j = 0, \text{ якщо } r_j \geq p \end{cases} \quad (3.4)$$

де p – ймовірність появи нової групи вагонів у складі;

У випадку якщо $m < 2$ моделювання повторюється з наступним набором випадкових чисел.

Кількість вагонів в групах моделюється як рівномірно розподілена випадкова величина [90]:

$$n_i = N_{\min} + \lfloor (N_{\max} - N_{\min} + 1)r_i \rfloor \quad (3.5)$$

де $\lfloor x \rfloor$ - операція здобуття цілої частини числа x ;

N_{\min} , N_{\max} – відповідно найменше та найбільше значення випадкової величини кількості вагонів в групі.

При $N_{\min}=1$ формула (3.5) спрощується і має вигляд

$$n_i = 1 + \lfloor N_{\max} r_i \rfloor. \quad (3.6)$$

Приклад файлу моделювання напрямку слідування вагонів у складі наведено в додатку Б.

3.3. Модель залізничного напрямку

Модель залізничного напрямку є інструментом дослідження на макрорівні. Мета її створення полягає у визначенні показників роботи залізниці як функції параметрів поїздопотоків. З моделлю мікрорівня вона пов'язана моментами надходження та відправлення поїздів на технічні станції напрямку.

В МТП технологія пропуску поїздів по перегонах представляється структурою:

$$q_j = \{I_w, I_0, p, U_q, F_q, t_q\}, i = 1, 2, \dots, n_q \quad (3.7)$$

де I_w – ідентифікатор шаблону технологічної операції;

I_0 – об'єкт з яким виконується операція;

U_q – список перегонів;

F_q – список умов закінчення технологічної операції;

t_q – момент закінчення виконання технологічної операції.

Шаблони w_i містять інформацію, яка необхідна для параметризації окремих технологічних операцій q :

$$w_i = \{I_w, f_t, \zeta\}, i = 1, 2, \dots, n_w, \quad (3.8)$$

f_t – функція, що визначає тривалість руху поїзда по перегону, визначається відповідно до тягових розрахунків;

ζ – параметр, що вказує на порядок відправлення поїздів на перегон ($\zeta=1$ – поїзд займає перегін, $\zeta=0$ – поїзд зупиняється для обгону поїздом іншої категорії).

Моделювання технологічних операцій виконується в три етапи. Першим етапом ($s_q=0$) є очікування звільнення всіх необхідних виконавців. Перелік таких виконавців визначається шаблоном технологічної операції I_w . По закінченню першого етапу у відповідності з шаблоном I_w розраховується час закінчення технологічної операції t_q . На другому етапі ($s_q=1$) виконується моделювання часу, необхідного для виконання операції. Другий етап

закінчується в момент, коли $t_c > t_q$. Третій етап ($s_q=2$) триває доти, доки не будуть виконані всі умови закінчення технологічної операції F_q .

Прийнято, що кожен елементарну операцію повинні виконувати виконавці певної спеціалізації. В той же час виконавець даної спеціалізації може виконувати декілька різних елементарних операцій. Станційні колії та стрілочні зони розглядаються також як окремі виконавці робіт.

Кожний виконавець, який працює на станції в МТП представляється структурою:

$$E_k = \{I_e, N_e, \gamma, g_e\}, k = 1, 2, \dots, n_e, \quad (3.9)$$

де I_e – ідентифікатор виконавця;

N_e – назва виконавця;

g_e – показник активності виконавця;

n_e – загальна кількість виконавців, які приймають участь в ТП станції.

Виконавець E_k вважається зайнятим, якщо в поточний момент часу він виконує деяку технологічну операцію (знаходиться у списку U_q) або знаходяться в очікуванні виконання наступних операцій з цим же об'єктом (список U_o). Для врахування вільних виконавців в МТП введено динамічний список $U_r = \{I_{e1}, I_{e1}, \dots, I_{em}\}$, де m – загальна кількість вільних виконавців. Він містить в якості елементів ідентифікатори виконавців, що не зайняті виконанням якої-небудь операції в поточний момент системного часу t_c . Список U_r змінюється в процесі моделювання роботи напрямку при зайнятті чи звільненні виконавців. Порядок звільнення виконавців визначається параметром ζ : якщо $\zeta=0$, то виконавець після закінчення технологічної операції очікує виконання наступної операції з цим же об'єктом (ідентифікатор виконавця I_e зі списку U_q заноситься у список U_o відповідного об'єкта); якщо $\zeta=1$, то виконавець після виконання операції звільняється (I_e записується в список U_r). На початку моделювання всі виконавці вважаються вільними ($m = n_e$).

Технологічний процес обслуговування об'єктів кожної категорії (пасажирські поїзди, вантажні поїзди у розформування, транзитні і т.і.)

формалізований на основі відповідного скінченного автомата, який забезпечує виконання з кожним об'єктом всього комплексу технологічних операцій у відповідності з їх взаємною обумовленістю:

$$A = \{X, Z, S, F_z, F_s\}, \quad (3.10)$$

де X, Z – відповідно, вхідний та вихідний алфавіт;

S – множина станів автомата;

F_z, F_s – функції виходів і переходів.

Вхідний алфавіт X автомата включає три підмножини вхідних сигналів:

$$X = \{X_1, X_2, X_3\},$$

X_1 , – зовнішні команди, які поступають від ОПР чи МСУ для ініціалізації певних технологічних операцій з об'єктом;

X_2 – внутрішні сигнали, що надходять від об'єкта після закінчення кожної технологічної операції;

X_3 – внутрішні сигнали, що надходять від об'єкта при виникненні експлуатаційних подій.

Кожному символу z_i вихідного алфавіту Z ставиться у відповідності функція Ψ_i , яка повинна бути виконана в момент надходження в КА вхідного сигналу x_i . Функції Ψ_i включає набори команд двох типів $\Psi_i = \{K_{i1}, K_{i2}\}$,

K_{i1} – список команд ініціалізації окремих технологічних операцій з об'єктом;

K_{i2} – список команд і повідомлень, які повинні бути передані структурним моделям.

Елементами вхідного та вихідного алфавітів кожного СА є зовнішні (від ОПР) та внутрішні (від структурних підсистем МТП) команди.

Кожний стан автомата $s_o \in S$ відповідає певному стану ТП обслуговування об'єкта як і в мережевому плануванні, який характеризується ступенем завершеності усіх технологічних операцій. Обслуговування окремого об'єкта на станції моделюється послідовністю переходів СА з одного стану в інший, по мірі виконання передбачених технологічним процесом операцій. На початку моделювання обслуговування об'єкта

відповідний СА знаходиться в початковому стані s_0 . Після виконання всіх операцій, що передбачені ТП, автомат переходить в кінцевий стан s_k , після чого відповідний об'єкт виключається із системи обслуговування.

Функції виходів F_z і переходів F_s автомата A виконують перетворення вхідної послідовності сигналів $\mathbf{x}_j = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ у відповідну вихідну послідовність $\mathbf{z}_j = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$. Для формалізації різних варіантів технології обслуговування деякого об'єкта використовуються різні вхідні послідовності \mathbf{x}_j , $j = 1 \dots r$, кожна із яких переводить КА із стану s_0 в стан s_k ; вибір послідовності \mathbf{x}_j здійснюється ОПР.

Для ідентифікації необхідного об'єкту дослідження в моделі, перегони напрямку в МТП передаються із окремого файлу у вигляді структури

$$D_j = \{I_j, l_j, t_p, V_{\min}, Sb_j, Se_j\}, \quad (3.11)$$

де I_j – ідентифікатор (назва) перегона,

l_j – його довжина, км,

t_p – тривалість руху на перегоні пасажирських поїздів,

V_{\min} – обмеження швидкості руху поїздів, км/год, якщо відсутнє, то $V_{\min} = 0$,

Sb_j, Se_j – координата початку та кінця дії обмеження швидкості, м.

Вихідні дані для моделі залізничного напрямку знаходяться в текстових файлах «test.dat» і «pas.dat» (додаток В).

3.3.1. Моделювання руху вантажних поїздів по дільниці

Для моделювання руху вантажних поїздів по дільницям напрямку була використана модель руху поїзда з розподіленою масою вздовж поїзда [59, 91-92].

Параметри руху поїзда: швидкість v , тягові характеристики F_m , гальмівна сила B повинні задовольняти рівняння:

$$\frac{d^2 \vec{s}}{dt^2} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{(1 + \gamma)(\vec{F}_m \pm \vec{W}_k - \vec{B})}{Q + P} \quad (3.12)$$

при ряді обмежень, викладених в [59, 91], в тому числі:

$$v \leq v_m(s), \tau_\infty(1 - e^{t/T}) + \tau_0 e^{t/T} \leq T_m \quad (3.13)$$

де Q – маса составу поїзда,

P – маса локомотиву,

τ_0 – різниця між температурою обмоток тягових двигунів і температурою повітря τ_∞ ,

T – значення теплових параметрів, що залежать від величини струму, який використовує тяговий двигун,

T_m – максимально допустима температура нагрівання обмоток тягових двигунів,

γ – коефіцієнт обертових мас поїзда,

\vec{W}_k – сумарна сила опору руху поїзда.

Модель руху поїзда дозволяє враховувати обмеження швидкості руху в кривих, зменшення зчеплення і відповідне зменшення сили тяги в кривих малих радіусів та детально підрахувати витрати пов'язані з рухом поїзда по мережі. Також слід зазначити, що додаткові опори від ухилу і кривих враховуються не в точці, а по усій довжині поїзду.

Параметри розрахунку дозволяють провести дослідження впливу параметрів поїздів на тривалість їх руху на дільниці. В роботі проведено моделювання руху поїздів масою від 1000 до 8500 т на пасажиро-напруженому та вантажонапружених напрямках. В додатку Г наведено приклад результатів розрахунку.

Для апроксимації залежності часу ходу вантажного поїзда по перегону від маси составу і довжини перегону на конкретному напрямку використовується метод мінімальних квадратів, що реалізований у програмі *REGRESS*. Серед запропонованих 58 різних залежностей (див. додаток Д) для подальшого моделювання було обрано варіант з найменшою залишковою дисперсією $D_{\text{ост}} = 0,6912$.

Таким чином, час руху вантажного поїзда по перегону в моделі визначається за формулою:

$$T_x = 0,859 + 1,27 \cdot 10^{-4} Q_j + 8,7 \cdot 10^{-4} L_i, \text{ хв}, \quad (3.14)$$

де Q_j – маса складу j -го поїзда, т;

L_i – довжина i -го перегону, м.

Для перевірки адекватності такої моделі був використаний повний факторний експеримент.

Для того, щоб встановити залежність функції відгуку від двох факторів $\hat{t} = f(Q, L)$ (фактор 1 – маса складу поїзда, Q , фактор 2 – довжина перегону L) необхідно розглянути вплив кожного фактора на двох рівнях, тобто виконати $N = 2^2 = 4$ дослідів.

Загальний вид функції відгука, що залежить від двох факторів наведений нижче:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (3.15)$$

або

$$\hat{t} = b_0 + b_1 \cdot \tilde{X}_1 + b_2 \cdot \tilde{X}_2 + b_{12} \cdot \tilde{X}_1 \cdot \tilde{X}_2, \quad (3.16)$$

Для пошуку коефіцієнтів рівняння (3.14) виконано розрахунки, результати яких представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунки коефіцієнтів функції відгуку

№	t	\tilde{X}_0	\tilde{X}_1	\tilde{X}_2	$\tilde{X}_1 \tilde{X}_2$	$\tilde{X}_0 t$	$\tilde{X}_1 t$	$\tilde{X}_2 t$	$\tilde{X}_1 \tilde{X}_2 t$	\hat{t}
1	4,45	+1	-1	-1	+1	+4,45	-4,45	-4,45	+4,45	4,45
2	5,02	+1	+1	-1	-1	+5,02	+5,02	-5,02	-5,02	5,02
3	18,71	+1	-1	+1	-1	+18,71	-18,71	+18,71	-18,71	18,73
N=4	19,29	+1	+1	+1	+1	+19,29	+19,29	+19,29	+19,29	19,30
Σ		-	-	-	-	47,47	1,14	28,53	0,002	-

В цій таблиці \tilde{X}_1 та \tilde{X}_2 визначають рівні, відповідно, першого та другого факторів, причому при нижньому рівні значення фактора $\tilde{X} = -1$, а при верхньому рівні $\tilde{X} = +1$.

Коефіцієнти рівняння матимуть наступні значення:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{X}_{0i} \cdot t_i}{N} = \frac{47,47}{4} = 11,86,$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{X}_{1i} \cdot t_i}{N} = \frac{1,14}{4} = 0,285,$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{X}_{2i} \cdot t_i}{N} = \frac{28,53}{4} = 7,13,$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N \tilde{X}_{12i} \cdot t_i}{N} = \frac{0,002}{4} = 0,0005.$$

З урахуванням знайдених коефіцієнтів рівняння функції відгуку прийматиме наступний вигляд

$$\tilde{t} = 11,86 + 0,285 \cdot \tilde{X}_1 + 7,13 \cdot \tilde{X}_2 + 0,0005 \tilde{X}_1 \cdot \tilde{X}_2 \quad (3.17)$$

Для перевірки адекватності отриманої залежності визначено тривалість ходу вантажного поїзда при середніх рівнях факторів:

$$T = 0.859 + 0.000127 \cdot 6250 + 0.00087 \cdot 11743 = 11,86 \text{ хв.}$$

Функція відгуку при нульових рівнях двох факторів також дорівнює $\hat{t} = 11,86$ хв. Отже, порівнюючи отримані результати ($11,86 = 11,86$), робимо висновок про адекватність залежності (3.12). Оскільки коефіцієнти b_1 і b_2 додатні, то між функцією відгуку та двома факторами існує прямопропорційний зв'язок, тобто, збільшення будь-якого з факторів приведе до збільшення й функції відгуку $\hat{t} = f(m, l)$. Порівнюючи розраховані коефіцієнти b_1 і b_2 один з іншим, можна відзначити, що коефіцієнт $b_2 = 7,133$ в 35 разів перевищує коефіцієнт $b_1 = 0,28$, з чого слідує, що більший вплив на функцію відгуку має другий фактор, тобто довжина перегону. Проведена вище перевірка адекватності функції відгуку дозволяє, згідно отриманим результатам, говорити про її повну адекватність. Треба зазначити також, що збільшення маси поїздів, наприклад, у 3 рази з 2000 т до 6000 т призводить до збільшення тривалості руху поїзда на перегоні всього на 3-5 %.

3.3.2. Порядок обслуговування об'єктів

На відміну від порядку обслуговування об'єктами в моделі мікрорівня (див п. 3.3.2: першим надійшов – першим обслуговується), організація руху поїздів на дільниці передбачає наявність однозначних пріоритетів. Нитки графіку руху вантажних поїздів можуть перетинатися з нитками руху пасажирських поїздів із-за різниці часу ходу по перегону. Для запобігання цьому модель здійснює перевірку перетинання ниток графіку руху і при необхідності корегує час відправлення зі станції та час прибуття на наступну станцію вантажного поїзда у відповідності до вимог безпеки руху поїздів. Алгоритм здійснення перевірки і коригування часу відправлення та прибуття вантажного поїзда зображено на рис 3.3.

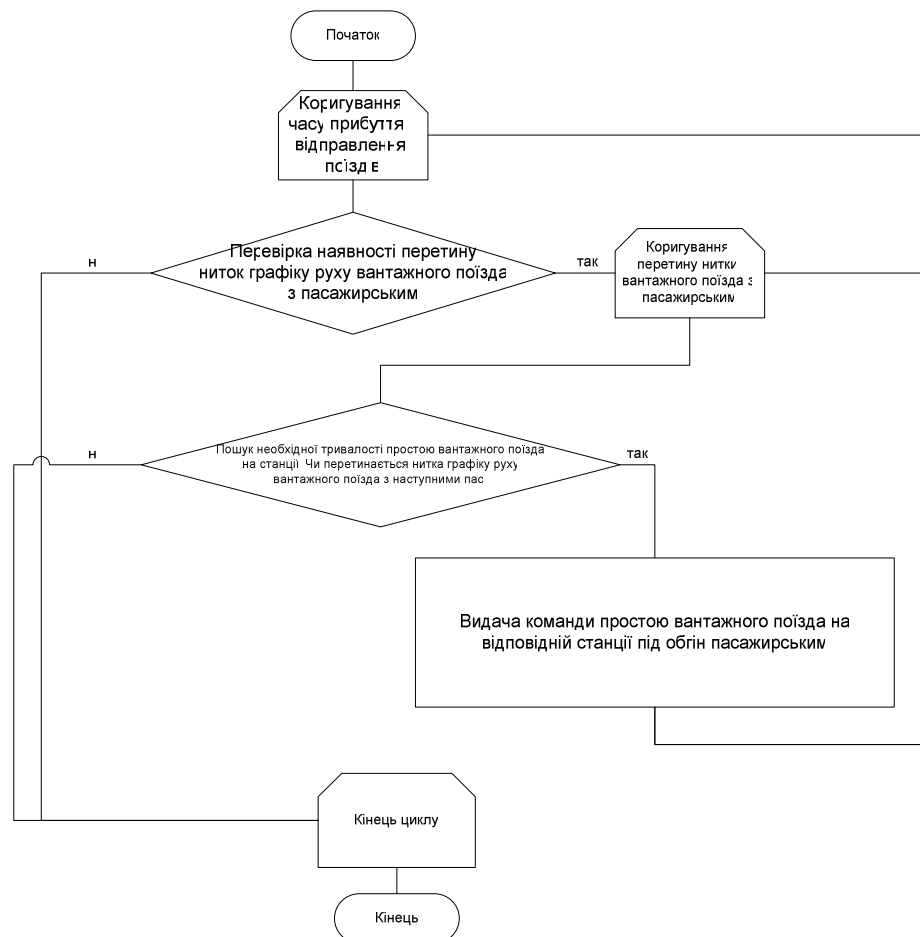


Рис. 3.3 – Алгоритм коригування моменту прибуття та відправлення вантажного поїзда

Для можливості керування процесом обслуговування об'єктів в МТП також організовано динамічний список завдань виконавців **К**, кожен елемент

(перегон) якого описується структурою: $k = \{I_o, I_q, I_e\}$. При виборі виконавця p спеціалізації γ для операції q_i з об'єктом O_j виконується аналіз зайнятості елементів списку **К**. Якщо у списку є завдання, для якого $I_o(k_i)=I_o(o)$, $I_q(k_i)=I_q(q)$, $p(I_e(k_i))=p$, і це завдання k_i є першим елементом списку для виконавця I_e , то виконавець $I_e(k_i)$ призначається для виконання операції q_i з об'єктом O_j . В інших випадках, якщо виконавець I_e зустрічається у списку завдань **К**, то він вважається зайнятим і не може бути використаний для виконання технологічних операцій з іншими об'єктами. В МТП залізничного напрямку виконавцями постають перегони, об'єктами, що займають цих виконавців – поїзди різних категорій.

Момент готовності до відправлення вантажних поїздів з крайніх станцій напрямку, що передається через файли вихідних даних від моделей макрорівнів, може співпадати з відправленням з цієї ж станції пасажирських поїздів, або різниця часу між моментами відправлення пасажирських поїздів до моменту відправлення вантажних поїздів може бути меншою за можливо допустиму засобами СЦБ для забезпечення виконання графіку руху поїздів. В таких випадках вантажні поїзди затримується на станціях на мінімально необхідних час для забезпечення безпеки руху поїздів, в наслідок чого збільшується тривалість простою вагонів на технічних станціях.

В пунктах обороту локомотивів їх узгодження здійснюється на основі пошуку мінімальних простоїв в очікуванні поїздів з урахуванням необхідності виконання ТО-2 та технологій роботи станцій. Цей пошук виконується за допомогою методів лінійного програмування [93].

3.3.3 Інформаційна модель залізничного напрямку

Інформаційна модель на макрорівні призначена для надання інформації про поїзний стан та для відображення показників роботи напрямку (рис 3.4). Вона являє собою зображення графіку руху поїздів напрямку на часовій сітці.

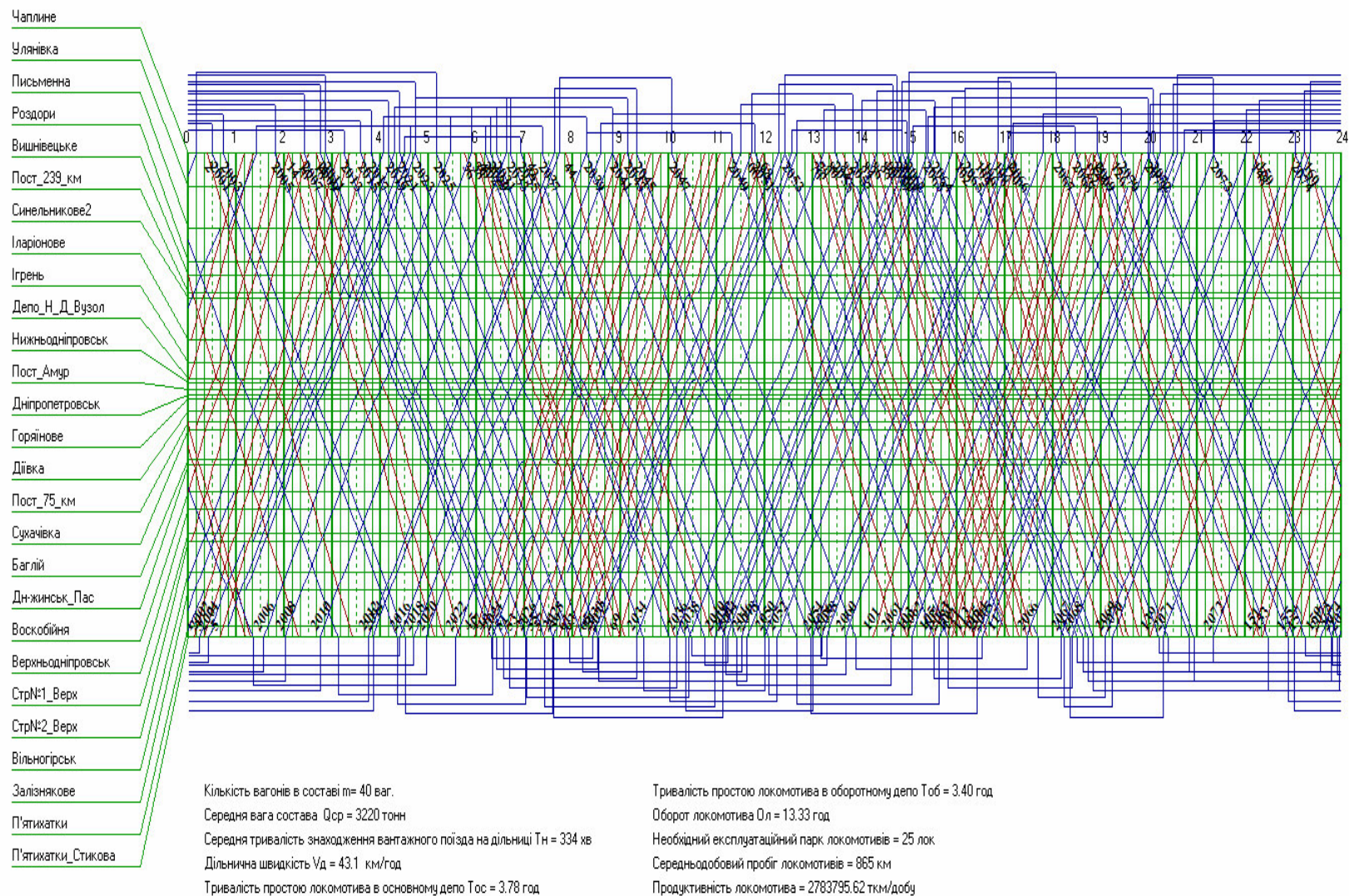


Рис.3.4 – Інформаційна модель залізничного напрямку

Графік руху поїздів зображується у вигляді набору значків s , які відповідають виконаним технологічним операціям з об'єктами. Кожен значок $s \in S$ в пам'яті ЕОМ представляється структурою:

$$s = \{q, c, E_r, t_n, t_k, h, f_{ц}, Y_d\}, \quad (3.18)$$

де q – ідентифікатор зображення значка;

t_n, t_k – відповідно час початку та закінчення технологічної операції, яку зображує значок;

h – висота значка;

$f_{ц}$ – колір значка;

Y_d – вектор додаткових параметрів.

Розроблені моделі реалізовані в середовищі *C++ Builder* та *Visual Studio* та дозволяють визначити показники роботи графіку руху поїздів, локомотивного та вагонного парку. Методика моделювання роботи залізничного напрямку опублікована автором в [6].

3.4. Модель технічної станції

3.4.1. Модель технологічного процесу роботи станції

За основу моделі технологічного процесу (МТП) вхідний потік створюють поїзди, що вимагають обслуговування на станції, при цьому фазами обслуговування виступають окремі технологічні операції. Їх послідовність відповідає технологічному процесу (ТП). Тривалості цих операцій моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик об'єкту, що досліджується. Обслуговуючими пристроями є виконавці технологічних операцій. Приклади вихідних файлів для опису вхідних поїздопотоків та структури технічної станції наведені в додатку Е.

ТП обробки об'єктів O_j на станції являє собою комплекс технологічних операцій q_i , кожна з яких повинна бути виконана у певному порядку перед тим, як об'єкт залишить систему.

В якості об'єктів, що обробляються на станції розглядаються поїзди, локомотиви, маневрові состави та состави, що накопичуються на сортувальних коліях. Кожен об'єкт представляється в моделі за допомогою структури (3.5).

Приклад об'єкту пасажирський поїзд представлений на рис 3.5.

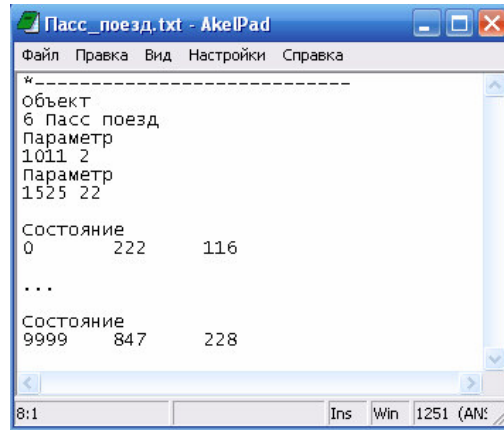


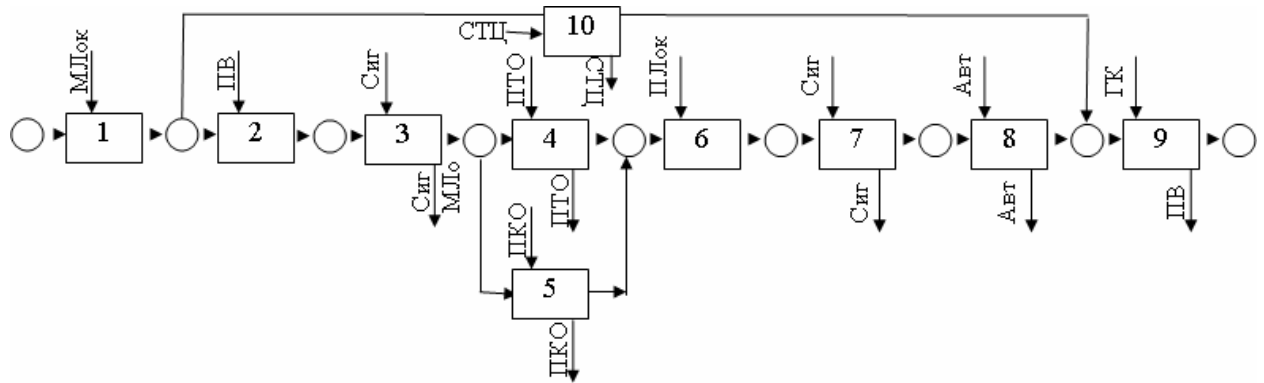
Рис. 3.5 – Об'єкт пасажирський поїзд в моделі

З кожним об'єктом на станції виконуються певні операції, що передбачені технологічним процесом (закріплення, технічний та комерційний огляд составів, випробування автогальм та ін.). В розробленій моделі кожна технологічна операція представляється структурою (3.7). До неї додано ще один параметр s . Він являє собою змінну, що характеризує поточний стан операції q_i для об'єкта O_j . При цьому $s=0$, якщо операція q_i може бути почата з об'єктом O_j , і очікує звільнення виконавця відповідної спеціалізації і $s=1$, якщо операція q_i виконується, $s=2$, якщо виконана умова тривалості операції та робота знаходиться в стані виконання умов її закінчення.

Тривалість виконання кожної операції в МТП розглядається як випадкова величина з відповідним законом розподілу (цілочисельний параметр ρ). Значення ρ , а також параметри $M[t]$, σ_t використовується для моделювання випадкової величини t при кожній реалізації обробки состава.

На рис. 3.6 показано приклад формалізації технологічного процесу формування составів на технічній станції. Об'єкт послідовно проходить фази

ТП, займаючи та звільнюючи виконавців. В додатку Е наведено приклад файлу вихідних даних МТП сортувальної станції Джанкой.



Робота	Найменування	Робота	Найменування
1	Закінчення формування	6	Причеплення локомотива
2	Перестановка складу	7	Прибирання башмаків
3	Закріплення складу	8	Проба автогальм
4	Технічний огляд	9	Відправлення поїзду
5	Комерційний огляд	10	Обробка документів

Скорочення	Виконавець	Скорочення	Виконавець
МЛок	Маневровий локомотив	ПКО	Бригада ПКО
ПВ	Колія парку відправлення	ПЛок	Поїзний локомотив
Сиг	Сигналіст	Авт	Автоматники
ПТО	Бригада ПТО	ГК	Головна колія
СТЦ	Оператор СТЦ		

Рис. 3.6 – Технологічний процес формування складів

3.4.2. Інформаційна модель роботи станції

Інформаційна модель являє собою зображення добового плану-графіка станції на часовій сітці. Вона призначена для надання ОПР інформації про поточний стан технологічного процесу, а також для сприйняття від ОПР керуючих команд і передачі їх в МТП. В пам'яті ЕОМ добовий графік представляється структурою (3.18).

Для побудови сітки добового плану-графіка готується спеціальний файл даних, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.7 (див. додаток Е).

Окремі виконавці робіт $E_r \in E$, $r=1, 2 \dots n_v$ в моделі відповідають рядкам добового графіка. При цьому кожен виконавець представляється у вигляді структури

$$E_r = \{N_e, \mathbf{D}, c, w, a\}, \quad (3.19)$$

де N_e – назва виконавця;

\mathbf{D} – список завдань виконавця;

c – об'єкт, що обробляється виконавцем в поточний момент;

а)

1 1 1 35 Стр #зони
 1 1 2 35 Парк #прийома Пд
 1 1 3 35 Сортувальний парк С
 1 1 4 35 Парк #відправлення О
 1 1 5 35 Стр #зони
 1 3 0 60 101 - Прийом із ...
 1 2 1 20 201 - Стрілочна зона ...
 1 2 0 20 1 - Головна 1...
 1 2 2 20 50 - ПТО
 1 2 2 20 55 - ПКО
 1 2 2 20 70 - Сигналіст
 1 2 2 20 11 5 Приймальна №5Пд
 ...
 1 2 2 20 18 12 Приймальна №12Пд
 1 2 0 20 26 - Гірка
 1 2 0 20 60 - Гірочний локомотив 1
 1 2 3 40 341 11 Сортувальна №11
 ...
 1 2 3 40 322 34 Сортувальна №34
 1 2 0 40 80 - Локомотив формування 1
 1 2 4 20 53 - ПТО
 1 2 4 20 57 - ПКО
 1 2 4 20 75 - Сигналіст
 1 2 4 20 150 - Автоматчик
 1 2 4 20 90 35 Відправна №35
 ...
 1 2 4 20 93 38 Відправна №38
 1 2 0 60 103 - Відправлення на ...

б)

График работы станции		
Прийом із Мамуга		
Прийом із Отрадного		
Прийом із Богемки		
Прийом із 10-го Рз		
Стр зони	Стрілочна зона №1	
	Стрілочна зона №2	
Головна 1		
Головна 2		
Парк прийома Пд	ПТО	
	ПКО	
	Сигналіст	
	Приймальна №5Пд	5
	Приймальна №6Пд	6
	Приймальна №7Пд	7
	Приймальна №8Пд	8
	Приймальна №9Пд	9
	Приймальна №10Пд	10
	Приймальна №11Пд	11
Гірка		
Гірочний локомотив 1		
Сортувальна №33		33
Сортувальна №34		34
Локомотив формування 1		
Парк відправлення О	ПТО	
	ПКО	
	Сигналіст	
	Автоматчик	
	Відправна №35	35
	Відправна №36	36
Відправна №37	37	
Відправна №38	38	
Стр зони	Стрілочна зона №3	
	Стрілочна зона №4	
Відправлення на Мамуг		
Відправлення на Отрадне		

Рис. 3.7 – Формування сітки добового план-графіка

а) код вихідного файлу

б) вигляд сітки в інформаційній моделі

w – ширина рядка, що відповідає виконавцю;

a – показчик активності виконавця;

n_B – кількість виконавців.

Моделювання роботи станції може виконуватись як автоматично, коли порядок обслуговування встановлюється згідно з заданою системою пріоритетів, так і в інтерактивному режимі, коли цей порядок визначає ОПР. Керування процесом моделювання виконується ОПР за допомогою спеціальних елементів управління: команд меню, кнопок, полів завдань виконавців та лінії межі часу моделювання (рис. 3.8 а-б).

а)

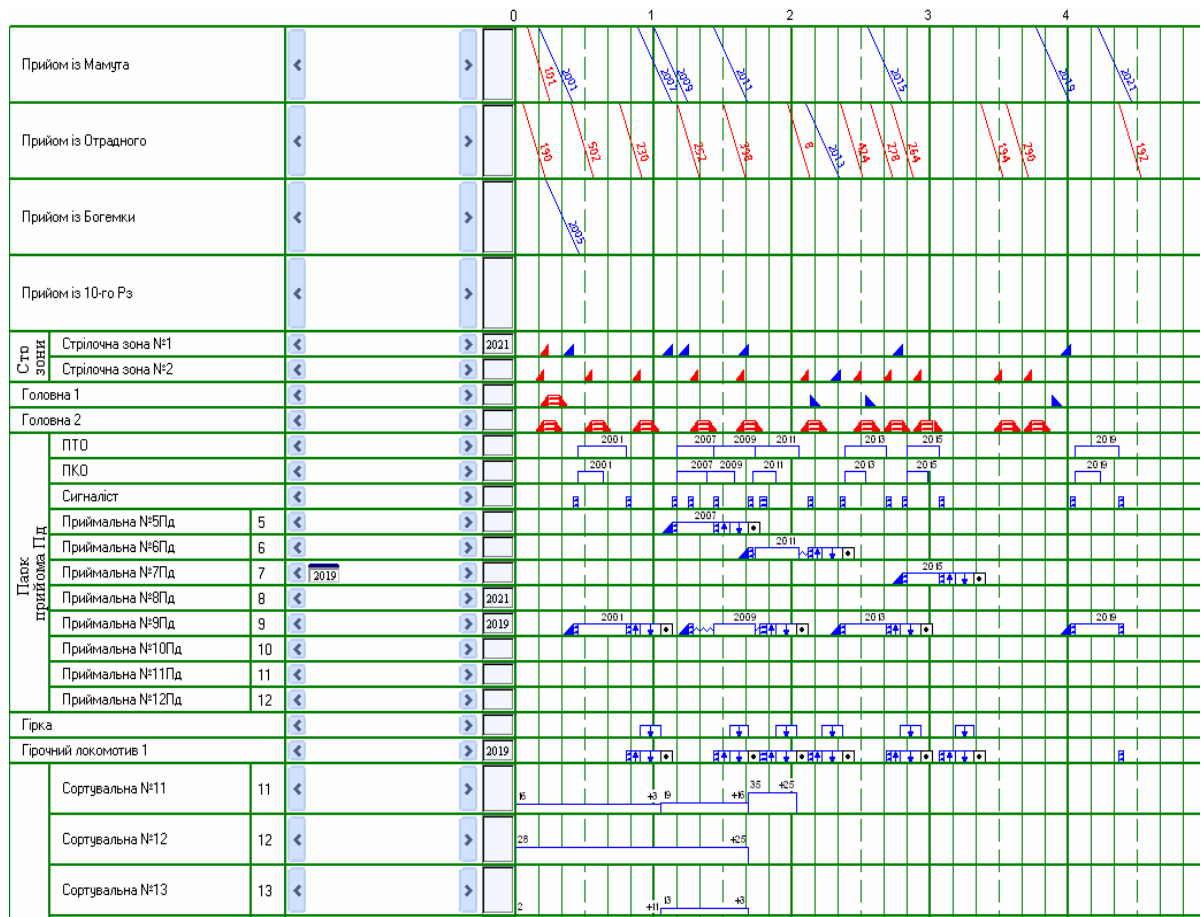


Рис. 3.8 – Загальний вигляд інформаційної моделі станції

б)

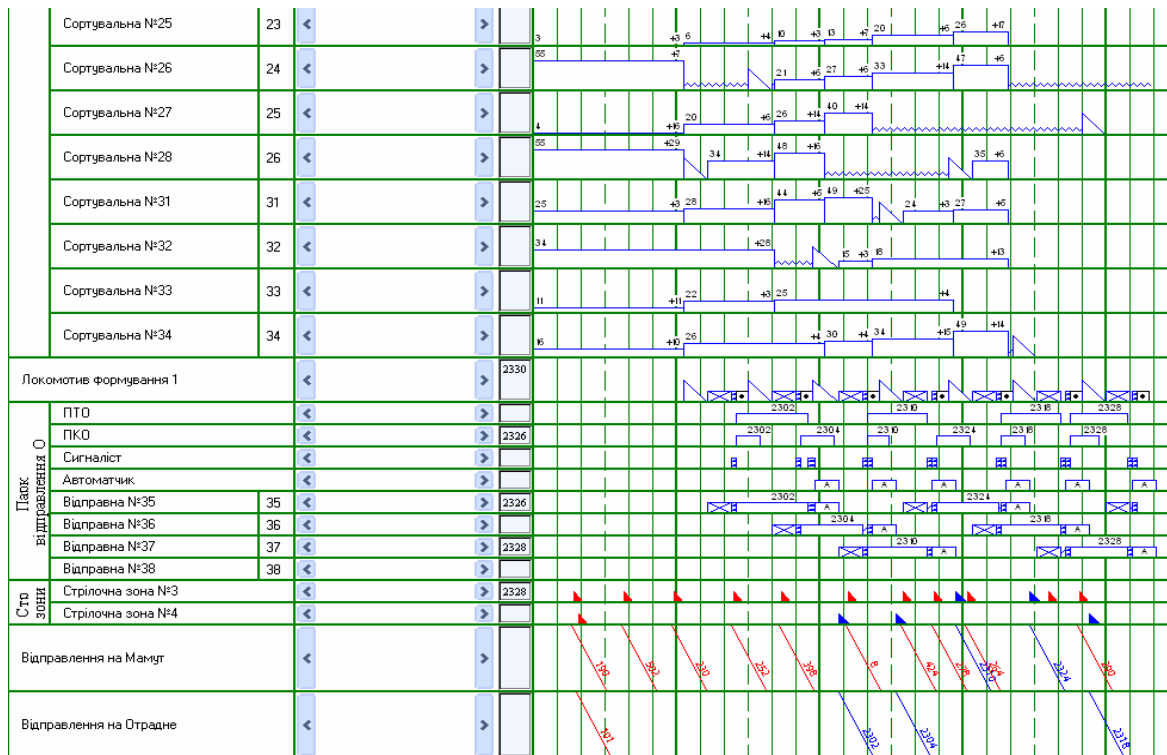


Рис. 3.8 – Загальний вигляд інформаційної моделі станції

а) фрагмент підсистеми розформування сортувальної станції

б) фрагмент підсистеми розформування сортувальної станції

3.5 Перевірка адекватності сполуки моделей мікро- та макрорівнів

Перевірка адекватності розроблених моделей виконана за допомогою критерію Уїлкоксона. *W критерій Уїлкоксона* – це непараметричний аналог парного критерію Стьюдента (t - критерій для залежних вибірок). Цей непараметричний критерій оснований на рангах. Принцип його наступний. Дві виборки досліджуваного параметру впорядковують за абсолютною величиною. Потім рангам надають знак зміни та сумують ці "знакові ранги" - в результаті отримують значення критерію Уїлкоксона W , який порівнюють із максимально допустимим відхиленням. Після цього робиться висновок про відповідність вибірок одна одній. На кафедрі «Станції та вузли» розроблено програмне забезпечення для автоматичного розрахунку (рис 3.9).

Расчет критерия Уилкоксона

Ввод исходных данных

Введите имя файла с данными первой выборки: 101

Введите имя файла с данными второй выборки: 102

Считать данные Расчет критерия Отмена

Результаты

Уровень значимости 0,05

n1 = 120	R1 = 15302	U1 = 8042	U(min) = 6358	Uкр = 6145.96
n2 = 120	R2 = 13618	U2 = 6358		

Вывод

Выборки различаются несущественно

Рис 3.9 – Розрахунок критерію Уілкоксона

Для сполуки моделей макро- і макрорівнів було проведено перевірка адекватності моделей за показниками роботи залізничного напрямку: дільничної та технічної швидкостей, продуктивності роботи локомотивів, середньодобового пробігу локомотивів. На рис 3.10 показано діаграми розподілення випадкової величини дільничної швидкості на Кримському напрямку залізничних перевезень.

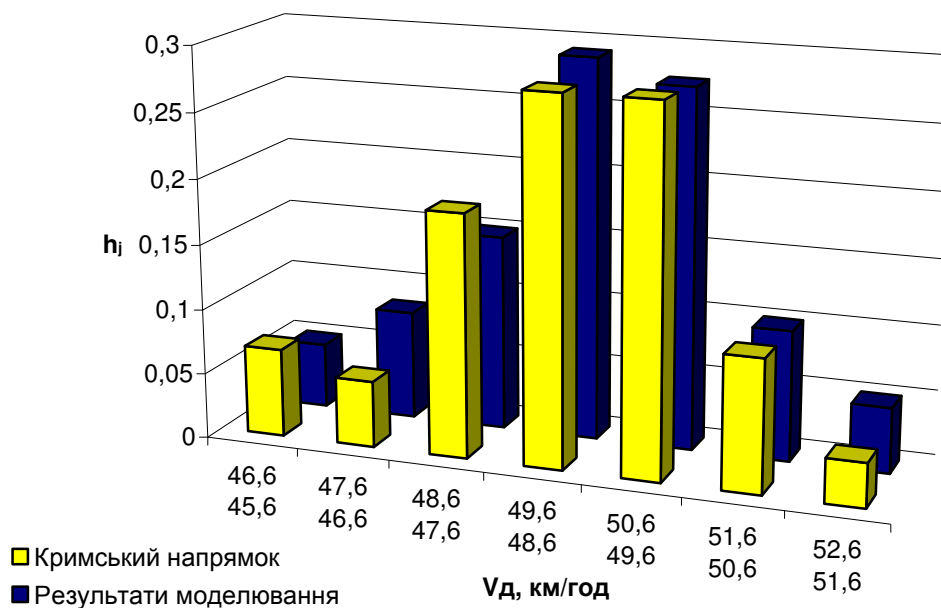


Рис 3.10 – Діаграми розподілення випадкових величин дільничної швидкості на залізничному напрямку та за результатами моделювання

Доведено, що вибірки за показниками роботи залізниці та побудованих моделей відносяться до однієї генеральної сукупності, що вказує на адекватність побудованих моделі залізничного напрямку.

3.6 Висновки

Для дослідження процесів пропуску поїздопотоків на залізничних напрямках побудовано систему імітаційних моделей: на мікрорівні – модель роботи технічних станцій; на макрорівні – модель роботи залізничного напрямку та на метарівні – модель переміщення вантажопотоків в цілому. Розроблені моделі, на відміну від існуючих, надають можливість системно проаналізувати організацію руху поїздів на залізничних напрямках з урахуванням особливостей роботи як роздільних пунктів, так і залізничних ліній. Існує можливість брати участь оперативно-диспетчерському персоналу у процесі прийняття рішень або використовувати модель системи управління, побудовану на основі теорії кінцевих автоматів. Адекватність сполуки моделей була підтверджена за допомогою критерію Уїлкоксона. Розроблені моделі дозволяють встановлювати взаємозв'язки між параметрами поїздопотоків та техніко-експлуатаційними показниками роботи станцій та напрямків.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДІВ НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА НАПРЯМКІВ

В сучасних ринкових умовах важливим чинником підвищення якості і ефективності перевезень є науковий пошук вирішення проблеми надійного і економічного функціонування системи управління перевізним процесом і впровадження цих рішень на мережі залізниць. У роботі була поставлена задача визначення впливу параметрів поїздопотоків, що рухаються по залізничних напрямках, на показники їх роботи та технічних станцій, з метою знаходження раціональних параметрів поїздів для мінімізації експлуатаційних витрат залізниць та витрат клієнтів.

В роботах [95-96] висувалася ідея впровадження жорсткого графіку руху вантажних поїздів для вирішення поставленої задачі, однак в умовах сьогодення практичної реалізації ця ідея не отримала. Хоча в економічно розвинутих країнах, таких як США, Німеччина, Франція, Японія тощо, поставлена проблема вирішується саме вищезазначеним чином.

Дослідження впливу параметрів поїздопотоків та одиниць потоку поїздів на показники роботи залізничних станцій та напрямків дисертації виконувалось з використанням імітаційних моделей технічних станцій та залізничного напрямку, методика побудови яких викладена в [6] та в розділі 3. Об'єктом дослідження були процеси перевезення на двоколієних електрифікованих залізничних напрямках, що складаються з 31 та 19 перегонів загальною довжиною 241 та 265 км відповідно, а також дві сортувальні та одна дільнична станції, що знаходяться в межах цих напрямків. Залізничні напрямки є сумісними для руху і пасажирських і вантажних поїздів, однак відрізняються структурою та обсягами поїздопотоків – перший з них є більш вантажонапруженим, другий – більш

пасажиронапруженим. Аналіз існуючих обсягів роботи, закони розподілу кількості поїздів різних категорій, інтервалів між ними, маси та довжини поїздів представлені в [4, 8] та розділі 2.

4.1. Дослідження роботи технічних станцій

З метою аналізу впливу параметрів вагонопотоків на показники роботи технічних станцій було детально досліджено роботу станцій Нижньодніпровськ-Вузол та Джанкой.

4.1.1. Методика дослідження показників станцій

При неорганізованому підході вагонопотоків до станції процес знаходження вагонів на станції є безперервним, при чому частина вагонів, яка не відправилась з поїздом складає залишок на наступну добу. На рис. 4.1 приведено фрагмент графічного зображення процесу простою вагонів на сортувальній станції. Вхідний потік визначається сукупністю моментів надходження поїздів на станцію, розміри та характеристики (в т.ч. кількістю вагонів в складі поїздів, які надходять в розформування) якого задаються на початку розв'язання поставленої задачі. В результаті моделювання у файлі протоколу зберігаються дані про моменти відправлення поїздів зі станції та кількість вагонів у кожному поїзді, що дозволяє розрахувати тривалість знаходження транзитного вагону з переробкою в цілому по станції.

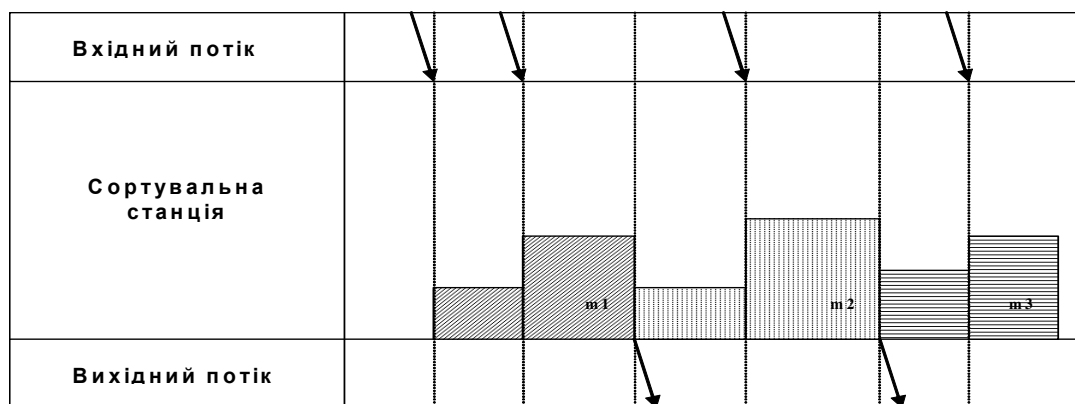


Рис. 4.1 – Графічне зображення процесу простою вагонів на станції

Середня тривалість знаходження транзитного вагону з переробкою на станції розраховується за наступною формулою:

$$t_{np} = \frac{\sum nt}{\sum n}, \quad (4.1)$$

де $\sum nt$ – вагоно-години простою, ваг-год;

$\sum n$ – добовий вагонопотік, ваг.

Результати моделювання роботи технічної станції зберігаються в окремому файлі протоколу (див. додаток Є). Вони представляють собою сукупність моментів подій, які відбулися із окремими поїздами на станції, із відповідним кодом, наприклад:

1 – момент прибуття поїзду;

2 – момент закінчення розформування поїзду;

3 – момент перестановки составу із сортувального парку у парк відправлення;

4 – момент відправлення поїзду.

Обробка протоколу виконується сортуванням моментів подій по категоріям. Наприклад, для визначення середнього часу простою транзитного вагону з переробкою на станції в цілому відбираються із списку коди 1 та 4, сортуються за часом, а далі виконується розрахунок загальних вагоно-хв простою (див. таблицю 4.1). Оскільки зміна стану системи відбувається з моментом зміни кількості вагонів на станції m_j , тобто з прибуттям або відправленням поїздів, то виключно в такі моменти визначається поточна кількість вагонів n_j , що перебувають на станції, та вагоно-години їх простою за даний період часу nt_j , що чисельно дорівнює площі кожного прямокутника. Ці величини розраховуються за формулами:

$$n_j = n_{j-1} \pm m_j \quad \text{або} \quad n_j = n_{j-1} + M_j \cdot m_j, \quad (4.2)$$

$$nt_j = n_j \cdot (T_{j+1} - T_j), \quad (4.3)$$

де $M_j = 1$ мітка при прибутті вагонів на станцію;

$M_j = -1$ мітка при відправленні вагонів зі станції;

T_{j+1}, T_j - суміжні моменти часу, коли змін кількість вагонів в системі «технічна станція».

Таблиця 4.1 – Розрахунок показників роботи станції

Початковий стан		$m = 40$	Кількість вагонів на початок доби: $A = 320$ ваг	
Момент здійснення події	Мітка (+/-)	Поточна кількість вагонів в системі m , ваг	t , хв	nt , ваг-хв
33,1	1	320	33,1	10592
41,1	1	360	8	2880
54,1	1	400	13	5200
110,1	1	440	56	24640
112,15	1	480	2,05	984
115,2	1	520	3,05	1586
131,15	1	560	15,95	8932
142,55	-1	600	11,4	6840
147,6	-1	560	5,05	2828
		520	18,5	9620

В зв'язку з тим, що вхідний потік до системи має випадковий характер, та тривалість обслуговування є випадковою величиною, стан системи змінюється випадковим чином, а це означає, що в системі відбувається випадковий процес.

В середовищі *Visual Basic* для *Microsoft Excel* був реалізований алгоритм (програма «temp») для автоматизованого розрахунку показників роботи технічних станцій та їх підсистем, блок-схема якого наведена в додатку Є.

4.1.2. Аналітичний аналіз впливу довжини поїздів на їх простій на технічних станціях

В існуючих методиках розрахунку оптимальної маси поїздів у витратах, що пов'язані з роботою станцій, враховуються лише витрати на накопичення составів поїздів. В той же час, кількість вагонів у складі поїздів впливає на тривалість технологічних операцій, що виконуються з ними. Також слід відзначити, що в тривалості технологічних операцій є складова, яка пов'язана з об'єктом, що оброблюється в цілому. Нижче наведено

існуючу методику розрахунків тривалості елементів технологічних процесів, що відбуваються у різних підсистемах технічних станцій.

Тривалість прийому поїзда в парк визначається за формулою:

$$t_{np} = t_m + \frac{l''_{bl}}{16,7 \cdot V} + \frac{l'_{bl} + L_{ex}}{16,7 \cdot V_{ex}}, \quad (4.3)$$

де t_m – час готування маршруту й відкриття сигналу;

l'_{bl}, l''_{bl} – довжини блок ділянок;

L_{ex} – відстань від вхідного сигналу до сигналу, що обмежує корисну довжину колії;

V – швидкість руху поїзда по блок ділянці;

V_{ex} – середня швидкість входу поїзда в парк із урахуванням зниження швидкості на стрілках при русі на бокові колії й уповільнення перед зупинкою;

16,7 – перевідний коефіцієнт для переведення значення швидкості, вираженої в км/год, до значень у м/хв.

Час на закріплення состава й зняття закріплення в парку прийому визначається по формулі:

$$t_{зак} = (0,08 + 0,01 \cdot l_{np})n, \quad (4.4)$$

де l_{np} - відстань, яку проходить сигналіст при закріпленні;

n - кількість башмаків, що укладають, розраховується за формулою

$$n = \frac{m \cdot n_{oc} \cdot (1,5 \cdot i + 1)}{200}, \quad (4.5)$$

де m - кількість вагонів у складі поїзда;

n_{oc} - кількість осей, приймається $n_{oc}=4$;

i – ухил приймально-відправних колій, %.

Середня тривалість технічного огляду составу складає

$$t_{TO} = \frac{\tau \cdot m}{x} + a, \quad (4.6)$$

де τ - час огляду одного составу;

x - кількість груп оглядачів в одній бригаді;

a – час на початково-кінцеві операції;

Завантаження бригади технічного огляду

$$\Psi_{BP} = \frac{N_P \cdot t_{TO}}{24}, \quad (4.7)$$

де t_{TO} - середня тривалість технічного огляду,;

Середній час очікування складами поїздів в розформування початку технічного огляду

$$t_{оч}^{TO} = \frac{\Psi_{BP} \cdot (v_{BX}^2 + v_{TO}^2) \cdot t_{TO}}{2 \cdot (1 - \Psi_{BP})}, \quad (4.8)$$

де v_{BX} - коефіцієнт варіації інтервалів між моментами прибуття на станцію поїздів у розформування;

v_{TO} - коефіцієнт варіації інтервалів при технічному огляді складів.

Тривалість елементів процесу розформування також залежать від довжини складу. Тривалість заїзду розраховують за формулою:

$$t_3 = \frac{0,06(l'_3 + l''_3)}{v_3} + t_{ПД}, \quad (4.9)$$

де t_3 - час на заїзд локомотива в кінець складу, що відповідає тривалості напіврейсів проходження локомотива від горба гірки у вхідну горловину парку прийому l'_3 , зворотнього проходження до кінця складу l''_3 із швидкістю v_3 та додаткового часу на зміну напрямку руху локомотива $t_{ПД}$, хв;

$$t_{нас} = a + bm, \quad (4.10)$$

де m – кількість вагонів в маневровому складі;

a, b – норми часу на напіврейси переставлення, які визначаються відповідно до [11].

$$t_p = \frac{0,06 \cdot l_B \cdot m}{v_p} \left(1 - \frac{1}{2 \cdot g_o} \right), \quad (4.11)$$

де t_p - час на розпуск складу з гірки, хв;

l_B - розрахункова довжина вагона;

V_p - середня швидкість розпуску розрахункового складу, [11];

g_0 - кількість відцепів у составі, $g_0 = f(m)$;

$$t_{OC} = 0,06 \cdot m_C, \quad (4.12)$$

де t_{OC} - час на осаджування вагонів у сортувальному парку, що доводиться на один розформований состав, хв.

Технологічний час на закінчення формування одногрупних поїздів при накопиченні вагонів на одній колії

$$T_{O\Phi}^{OD} = T_{ПТЕ} + T_{ПД}, \quad (4.13)$$

де $T_{ПТЕ}$ - технологічний час на виконання операцій, пов'язаних з розставлянням вагонів по ПТЕ, хв;

$$T_{ПТЕ} = B + E \cdot m_{\Phi}, \quad (4.14)$$

$T_{ПД}$ - час на підтягування вагонів з боку витяжної колії для ліквідації «вікон» на сортувальних коліях $T_{ПД} = 0,08 \cdot m_{\Phi}$, хв;

B , E - нормативні коефіцієнти, величини яких залежать від середньої кількості операцій ρ_0 (розчеплення вагонів, що підлягають форматуванню, в місцях неспівпадань подовжніх осей автозчеплення і постановки вагонів прикриття [11];

m_{Φ} - середня кількість вагонів, які входять до составу, що формується.

Технологічний час на закінчення формування групового поїзда, що накопичується на двох коліях

$$T_{O\Phi}^{GP} = T_{ПТЕ}^{XB} + T_{ПТЕ}^{ГОЛ} + T_{ПДТ}, \quad (4.15)$$

де $T_{ПТЕ}^{ГОЛ}$, $T_{ПТЕ}^{XB}$ - тривалість виконання операцій для розстановки вагонів по ПТЕ відповідно хвостовій і головній частини составу, хв.;

$T_{ПДТ}$ - необхідний час для підтягування вагонів з боку витяжних колій сортувального парку, хв;

$$T_{ПТЕ}^{ГОЛ} = B + E \cdot m_{ГОЛ}, \quad (4.16)$$

$m_{ГОЛ}$ - середня кількість вагонів в головній частині;

$$T_{ПТЕ}^{XB} = Ж + И \cdot m_{XB}, \quad (4.17)$$

де Ж, И - нормативні коефіцієнти, значення яких залежать від кількості операцій по розчепленню вагонів [11];

Технологічний час на закінчення формування составу збірної поїзда з вагонів, накопичених на одній колії, при виконанні роботи тепловозом і сортуванню вагонів поштовхами

$$T_{\text{ОФ}}^{\text{СБ}} = T_{\text{С}} + T_{\text{СБ}}, \quad (4.18)$$

де $T_{\text{С}}$ - час на сортування составу, хв;

$T_{\text{СБ}}$ - час на збирання підібраних груп вагонів, хв;

Тривалість сортування накопиченого составу

$$T_{\text{С}} = A \cdot g_{\text{Ф}} + B \cdot m_{\text{Ф}}^{\text{СБ}}, \quad (4.19)$$

де $m_{\text{Ф}}^{\text{СБ}}$ - кількість вагонів в составі поїзда, що формується;

$g_{\text{Ф}}$ - кількість відцепів при сортуванні накопиченого на одній сортувальної колії составу групового поїзда;

А, Б - нормативні коефіцієнти, що залежать від способів сортування, типу локомотива, схилу витяжних колій і стрілочної зони [11].

Технологічний час на збирання вагонів

$$T_{\text{СБ}} = 1,8 \cdot P + 0,3 \cdot n_{\text{сб}} \quad (4.20)$$

де P - кількість колій, з яких переставляються вагони;

$n_{\text{сб}}$ - кількість вагонів, що переставляються на колію збирання составу;

Технологічний час на перестановку составу в парк відправлення

$$T_{\text{пер}} = t_{\text{пер}} + t_{\text{В}}, \quad (4.21)$$

де $t_{\text{пер}}$ - час на перестановку составу з сортувального парку в парк відправлення, хв;

$t_{\text{В}}$ - час на повернення локомотива з парку відправлення в сортувальний парк, хв;

Час виконання технічного огляду і безвідчіпного ремонту в парку відправлення визначається за формулою

$$t_{\text{обр}} = \frac{\pi n}{x} + \alpha t_{\text{рем}} + d \quad (4.22)$$

де $t_{\text{рем}}$ – середня тривалість безвідчіпного ремонту вагонів состава;

α – частка составів (від загальної кількості), що потребують безвідчіпного ремонту вагонів (прийому вагонів або розтягування состава);

d - час підготовчо-заклучних операцій.

В наведеній формулі не враховується вплив кількості вагонів у составі на частку составів, що потребують складного безвідчіпного ремонту. Для врахування цього впливу в подальших розрахунках значення α визначалось за формулою

$$\alpha = \frac{\alpha_n}{m_n} m, \quad (4.23)$$

де α_n – нормативне значення частки составів зі складним безвідчіпним ремонтом, $\alpha_n=0,2$ [54];

m_n - нормативна довжина состава.

При закріпленні групи сортувальних колій до певної витяжної колії і спеціалізації роботи маневрових локомотивів на кожній з витяжних колій сортувальний парк і витяжні колії формування являють собою декілька одно канальних СМО. Тоді завантаження кожного з маневрових локомотивів можна визначити за формулою

$$\psi_{\text{МАН}} = \frac{N_p \cdot \frac{m}{m_{\text{ОТ}}} \cdot t_{\text{ОФ}}}{24 \cdot M_{\text{МАН}}}, \quad (4.24)$$

де $m_{\text{ОТ}}$ - кількість вагонів в поїзді по відправленню;

$t_{\text{ОФ}}$ - середній час обслуговування на витяжних коліях;

$$t_{\text{ОФ}} = T_{\text{ОФ}} + t_{\text{ПЕР}} + t_{\text{В}}, \quad (4.25)$$

$$T_{\text{ОФ}} = \frac{N^{\text{ОД}} \cdot T_{\text{ОФ}}^{\text{ОД}} + N^{\text{ГР}} \cdot T_{\text{ОФ}}^{\text{ГР}} + N^{\text{СБ}} \cdot T_{\text{ОФ}}^{\text{СБ}}}{N^{\text{ОД}} + N^{\text{ГР}} + N^{\text{СБ}}}, \quad (4.26)$$

де $N^{\text{ОД}}, N^{\text{ГР}}, N^{\text{СБ}}$ - відповідно кількість одноступінних, групових, та збірних поїздів, які формуються на витяжних коліях;

$T_{\text{ОФ}}^{\text{ОД}}, T_{\text{ОФ}}^{\text{ГР}}, T_{\text{ОФ}}^{\text{СБ}}$ - відповідно середній час на закінчення формування одноступінних, групових та збірних поїздів;

$t_{\text{ПЕР}}$ - час на перестановку составу з сортувального парку у парк відправлення;

$t_{\text{В}}$ - час на повернення локомотива з парку відправлення на витяжні колії.

Середній час очікування накопиченими складами початку операцій по закінченню формування

$$t_{\text{ОЖ}}^{\text{ОФ}} = \frac{\psi_{\text{МАН}} \cdot (v^2 + v_{\text{ОФ}}^2)}{2 \cdot (1 - \psi_{\text{МАН}})} \cdot t_{\text{ОФ}}, \quad (4.27)$$

де $v_{\text{ОФ}}$ -коефіцієнт варіації тривалості закінчення формування составів;

Завантаження бригад ПТО впливає на середній час очікування складами обробки бригадами ПТО:

$$\psi_{\text{БР}} = \frac{N \cdot t_{\text{ОБР}}}{24 \cdot S}, \quad (4.28)$$

$$t_{\text{ОЖ}}^{\text{ОБР}} = \frac{\psi_{\text{БР}}^2 \cdot (v_{\text{ВХ}}^2 + v_{\text{ОБР}}^2)}{2 \cdot (1 - \psi_{\text{БР}}^2)} \cdot t_{\text{ОБР}}, \quad (4.29)$$

Тривалість випробування автогальм визначається як

$$t_{\text{авт}} = 3 + 0,14m \quad (4.30)$$

Простий вагонів під накопиченням $T_{\text{нак}}$ розраховується за формулою

$$T_{\text{нак}} = cm \quad (4.31)$$

де c - параметр накопичення.

m - кількість вагонів у складі поїздів.

Отже, кількість вагонів у складі поїздів впливає на тривалість технологічних операцій, що виконуються з ними, на технічних станціях, а саме на тривалість закріплення рухомого складу та його зняття, технічного та комерційного огляду поїзда, насуву та розформування составу на сортувальній гірці, осаджування вагонів після розпуску, формування поїздів, випробування автогальм, тощо. В тривалості технологічних операцій є складова, яка пов'язана з об'єктом, що оброблюється в цілому. До таких операцій можна віднести приготування маршрутів, видачу необхідних розпоряджень, заїзд локомотиву під состав, інші. Виконаний аналіз показує,

що тривалість виконання технологічних операцій по обробці поїздів можна визначити за формулою:

$$t = z + f(m), \quad (4.32)$$

де z - тривалість операцій, що відносяться на поїзд в цілому,

$f(m)$ - тривалість операцій, що відносяться на кількість вагонів у составі.

4.1.3. Аналіз результатів моделювання з використанням ергатичної моделі підсистеми розформування технічної станції

Зміна параметрів поїздопотоків впливає на завантаження окремих елементів системи «станція». З метою оцінки впливу довжини поїздів на роботу станцій було проведено дослідження з використанням ергатичної моделі підсистеми розформування сортувальної станції.

Висунута гіпотеза, що завантаження виконавців при зміні параметрів поїздопотоків, а саме чергових по станції (ДСП), значно вплине на показники роботи станцій. Адже із зміною кількості вагонів у составі поїздів при постійному вагонопотоці змінюється кількість поїздів, а це в свою чергу повинно значно вплинути на завантаженість ДСП.

У [97] рекомендовано, щоб завантаження роботою ДСП задовольняло умові:

$$T_3 = (N_{np} + N_{від})(t_{пригот} + t_{пер}) + nKt_{ман} t_m m < 580 - 600, \quad (4.33)$$

де N_{np} - кількість пасажирських та вантажних поїздів, що прибуває на станцію з усіх підходів за зміну;

$N_{від}$ - загальна кількість поїздів, що відправляється зі станції за зміну;

$t_{пригот}$ - витрати часу на приготування одного маршруту, включає вибір колії прийому, приготування маршруту, огляд на табло правильності приготування маршруту;

$t_{ман}$ - витрати часу на приготування одного маневрового маршруту з урахуванням переговорів, пов'язаних з виконанням маневрових операцій (40-

55 сек);

n – кількість сформованих та розформованих поїздів;

K – кількість маневрових переміщень, що приходить на обробку одного поїзда, орієнтовно 12.

m – кількість навантажених та розвантажених вагонів за зміну;

t_m – середній час, що витрачається на обробку одного місцевого вагону (30-40 с) [90].

Результати моделювання по пропуску вагонопотоку через підсистему розформування сортувальної станції в поїздах з кількістю $m = 40$, $m = 50$ та $m = 60$ вагонів представлені в табл. 4.2-4.4.

Таблиця 4.2 – Результати моделювання по пропуску вагонопотоку в поїздах з $m = 40$ вагонів

Початок операції	Кінець операції	Тривалість операції $t_{оп}, c$							$\overline{t_{оп}}, c$
		Порядковий номер поїзда							
		1	2	3	4	5	6	7	
Відправляється	Відправився	39	49	42	133	42	41	54	57,1
Відправився	Прибув	253	253	259	253	253	256	259	255,1
Прибув	Відчеплено локомотив	106	159	131	92	90	376	348	186,0
Відчеплено локомотив	Огляд составу	545	518	523	534	800	689	656	609,3
Огляд составу	Початок розпуску	447	466	410	817	350	2013	851	764,9
Початок розпуску	Состав розформований	73	77	73	77	92	91	86	81,3
ВСЬОГО									1953,7

Таблиця 4.3 – Результати моделювання по пропуску вагонопотоку в поїздах з $m = 50$ вагонів

Початок операції	Кінець операції	Тривалість операції $t_{оп}, c$							$\overline{t_{оп}}, c$
		Порядковий номер поїзда							
		1	2	3	4	5	6	7	
Відправляється	Відправився	41	43	41	45	54	40	44	44,0
Відправився	Прибув	253	253	253	253	253	253	278	256,6
Прибув	Відчеплено локомотив	146	145	206	114	217	124	188	162,9
Відчеплено локомотив	Огляд составу	636	744	727	664	914	1129	1138	850,3
Огляд составу	Початок розпуску	279	253	255	333	270	529	274	313,3
Початок розпуску	Состав розформований	73	80	77	77	92	90	90	82,7
ВСЬОГО									1709,7

Таблиця 4.4 – Результати моделювання по пропуску вагонопотоку в поїздах з $m = 60$ вагонів

Початок операції	Кінець операції	Тривалість операції $t_{оп}, c$							$\overline{t_{оп}}, c$
		Порядковий номер поїзда							
		1	2	3	4	5	6	7	
Відправляється	Відправився	46	43	40	43	45	45	43	43,6
Відправився	Прибув	253	253	253	253	253	298	256	259,9
Прибув	Відчеплено локомотив	144	165	113	115	302	118	155	158,9
Відчеплено локомотив	Огляд составу	780	1010	757	1294	885	1551	1066	1049,0
Огляд составу	Початок розпуску	418	792	623	515	544	416	535	549,0
Початок розпуску	Состав розформований	73	80	73	90	84	73	85	79,7
ВСЬОГО									2140,0

Середня тривалість знаходження состава в парку прийому розрахована як сума середніх тривалостей виконання технологічних операцій. Наприклад, при кількості $m = 40$ вагонів це значення складає 1953,7 с або 32,6 хв.

Результати моделювання представлені на рис. 4.2. На відміну від аналітичних розрахунків, вплив завантаженості виконавців призводить до нелійності функції $t = f(m)$.

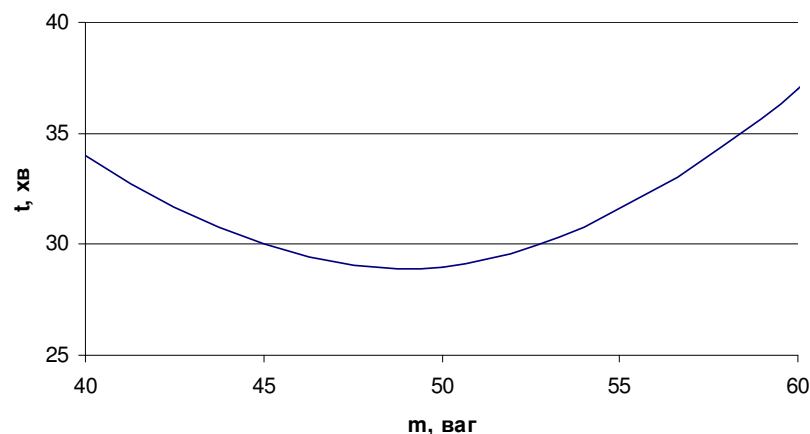


Рис. 4.2. – Залежність тривалості знаходження вагонів в підсистемі розформування від кількості вагонів у составі

4.1.4. Аналіз результатів моделювання, отриманих при використанні МСУ

В дисертації була поставлена задача дослідження впливу довжини поїздів на показники роботи станції в умовах зміни технології та параметрів вхідних та вихідних потоків поїздів.

Результати дослідження впливу кількості вагонів у складі поїздів, що надійшли в розформування та свого формування, на тривалість знаходження транзитного вагону з переробкою при постійному вхідному та вихідному потоці та незмінному вагонопотоці зображені на рис 4.3. Поїзди, що надходять у розформування та свого формування, при моделюванні склалися з постійної величини кількості вагонів: $m = 40$ вагонів для першої групи дослідів, $m = 50$ та $m = 60$ вагонів для другої та третьої відповідно. Моделювання виконувалось при постійному вагонопотоці $M = 3300$ вагонів/добу.

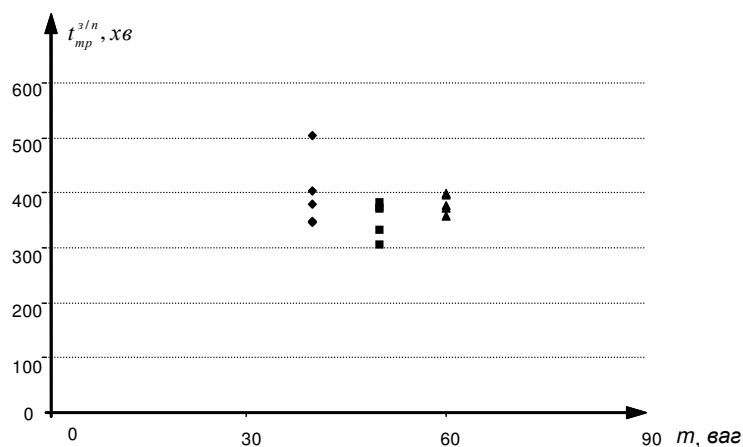


Рис. 4.3 – Множина значень функції $t_{mp}^{3/n}$ при постійному вагонопотоці та постійному вхідному та вихідному потоці

Така параболообразна форма залежності доводить, що існує обмеження знизу по величині кількості вагонів, що призведе до різкого збільшення кількості колій в приймальних парках та безпосередньо

поступового збільшення обороту вагону через перевантаження виконавців та обслуговуючих пристроїв.

Аналогічне дослідження проводилось при зменшенні та збільшенні добового вагонопотоку з метою визначення впливу обсягів роботи на величину $t_{mp}^{-3/n}$. Результати моделювання представлені на рис. 4.4.

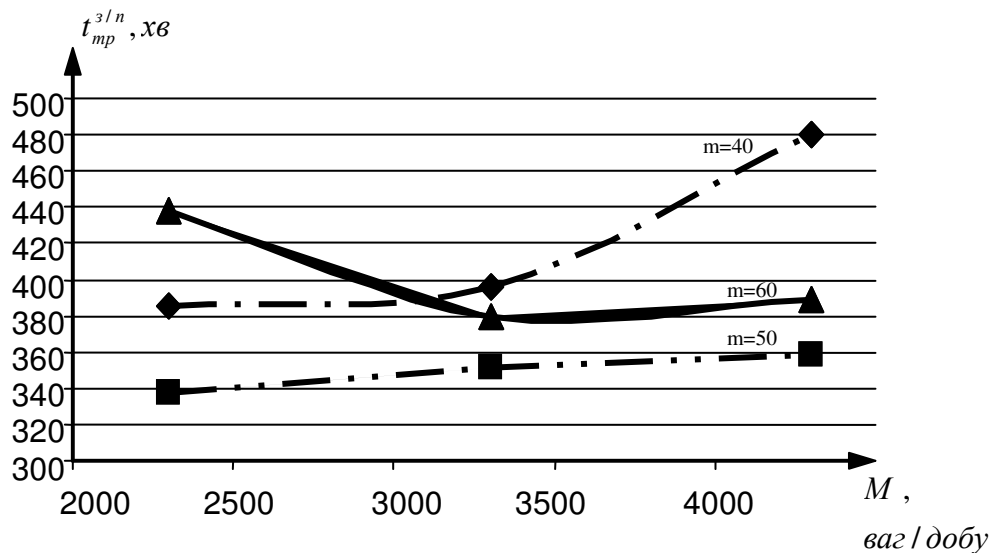


Рис. 4.4 – Вплив вагонопотоку на простій транзитного вагону з переробкою на станції

Таким чином, має місце лінійне збільшення простою при формуванні та розформуванні поїздів з кількістю вагонів $m = 50$ ваг/состав; експоненційні залежності при збільшенні величини кількості вагонів ($m = 60$ ваг/состав та $m = 40$ ваг/состав).

Оскільки існуючі процеси формування вантажних поїздів передбачають накопичення составів за масою або довжиною, то в моделях була реалізована можливість формування составів вантажних поїздів з кількістю вагонів у діапазоні $m \in [m_{\min}; m_{\max}]$, де m_{\min} - норма по накопиченню, m_{\max} - максимальна кількість вагонів у поїзді. Дослідження проводилось за наступних умов:

- 1) при постійному вхідному вагонопотоці та змінному вихідному потоці з $m \in [m_{\min}; m_{\max}]$;
- 2) при змінному вхідному та вихідному потоках.

При постійному добовому вагонопотоці $M = 3300$ вагонів/добу для сортувальної станції та змінному діапазоні кількості вагонів у составі поїздів свого формування в кожному з дослідів $m_{вих} \in [40;50]$, $m_{вих} \in [40;60]$ та $m_{вих} \in [50;60]$ отримані наступні результати (рис. 4.5). Кожна точка на рисунку відповідає проведенню одного досліду на протязі розрахункового періоду 3 доби. Зазначимо, що в діапазоні $m_{вих} \in [50;60]$ простій вагонів на станціях є мінімальним.

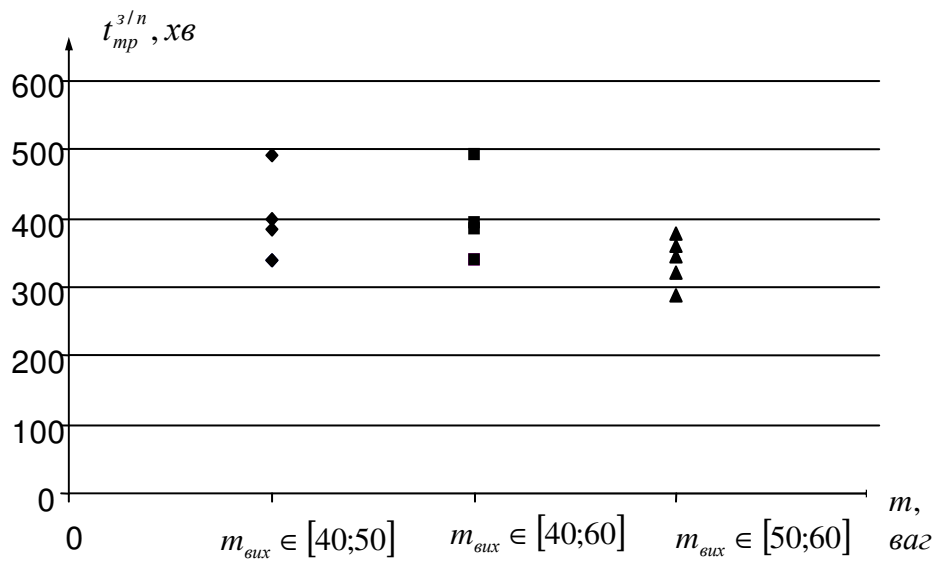


Рис. 4.5 – Множина значень функції $t_{mp}^{3/n}$ при постійному вагонопотоці та змінним діапазоном кількості вагонів у поїздах свого формування

При моделюванні роботи сортувальної станції в умовах, коли як вхідний так і вихідний потік поїздів формується з составів, що складаються з множини в діапазоні $m \in [m_{\min}; m_{\max}]$ тривалість знаходження транзитного вагону на сортувальній станції має незначне відхилення від математичного очікування простою транзитного вагону $M(\bar{t}_{mp}^{3/n})$, яке визначалось на попередньому етапі дослідження (391 проти 387 хв). Це підтверджує припущення про те, що в подальших експериментах вхідний потік можна приймати з постійною кількістю вагонів у составі.

При моделюванні в умовах змінного вихідного потоку та постійного вагопотоку в кожному досліді було отримано сукупність значень кількості вагонів m у складі поїзда. Величина m являє собою випадкову величину дискретного типу. В додатку Ж наведені її статистичні характеристики.

Гістограма розподілу випадкової величини $m_i^* = m_i - 40$, що зміщує величину m_i до початку координат в проміжок $[0;10]$, зображена на рис. 4.6.

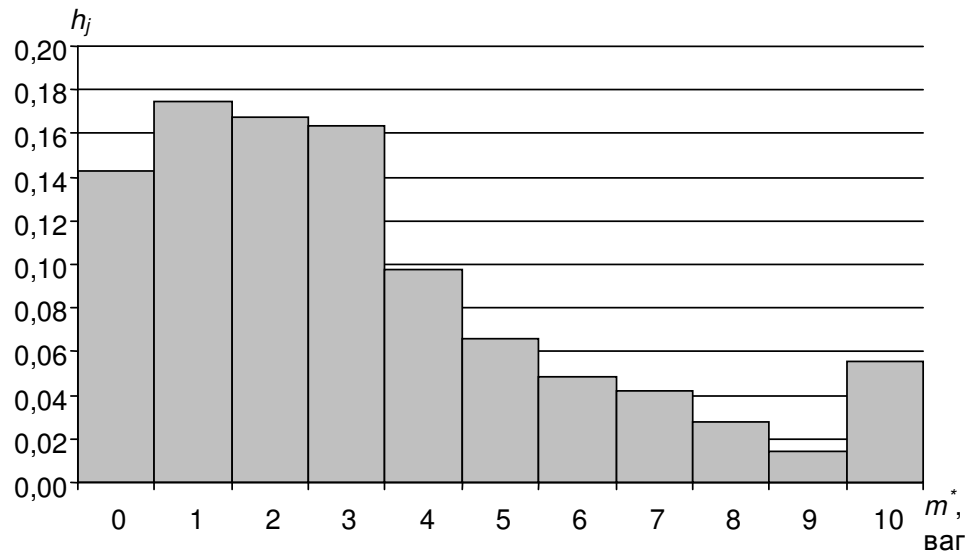


Рис. 4.6 – Гістограма розподілу випадкової величини m_i^*

Була підтверджена гіпотеза про закон розподілення Ерланга з параметром $K = 2$ випадкової величини m_i^* . Враховуючи дискретний характер випадкової величини m передбачалось, що нецілі значення випадкової величини будуть округлені до цілих. Кількісна оцінка розходження теоретичного і статистичного розподілень визначена за допомогою критерію згоди Пірсона χ^2 : при загальній кількості спостережень $n = 287$ $\chi^2 = 11,6$. При ймовірності того, що відхилення теоретичного і статистичного розподілень є чисто випадковими $P = 0,1$ та кількості ступенів вільності $r = 7$, критичне значення $\chi_{\text{табл}}^2 = 12,02$. Таким чином, розрахункове значення χ^2 менше від $\chi_{\text{табл}}^2$ ($11,6 < 12,02$) і гіпотеза про розподіл випадкової величини не суперечить дослідним даним.

4.1.5. Дослідження впливу кількості вагонів у складі поїздів на простій поїздів на технічних станціях на пасажиронапруженому напрямку

Необхідно зазначити, що при дослідженні впливу кількості вагонів у складі поїздів, що надійшли в розформування та свого формування, на тривалість знаходження транзитного вагону з переробкою при незмінному вагонопотоці, вагомим фактором є завантаження ділянок, що примикають до станції. Тому в роботі детально досліджено процес переробки вагонопотоків на сортувальній станції Джанкой, умови функціонування якої значно відрізняються в залежності від періоду року.

Проведене дослідження впливу кількості вагонів m у складі поїздів різних категорій (в розформування, свого формування, транзитних) на тривалість знаходження транзитного вагону t_{mp} на станціях при постійному вагонопотоці. На рис. 4.7 наведені результати при літньому (верхня крива) та не літньому (нижня крива) графіках руху пасажирських поїздів.

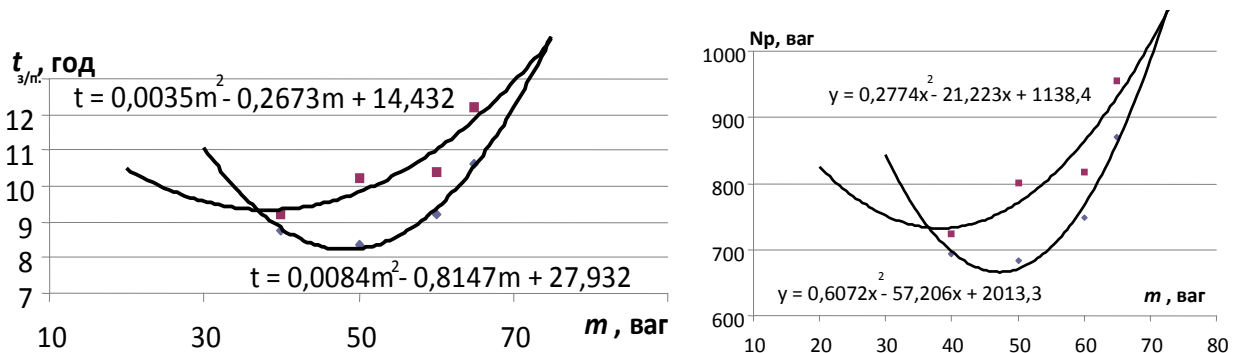


Рис. 4.7 – Залежності простою транзитних вагонів з переробкою на сортувальних станціях та робочого парку вагонів від кількості вагонів у складі поїздів

В результаті була отримана множина значень функції $t_{mp}(m)$, аналіз якої показав збільшення дисперсії показника $t_{mp}^{3/n}$ із зменшенням кількості вагонів у поїзді при нелінійній формі залежності математичного очікування $M[t_{mp}^{3/n}]$ як функції від m . Це доводить, що існує обмеження знизу по величині m , яке призведе до різкого збільшення необхідної кількості колій в парках станцій

та безпосередньо поступового збільшення обороту вагону по причині перевантаження виконавців та обслуговуючих пристроїв.

На рис. 4.8 (а,б) показані залежності простоїв в окремих парках станції від кількості вагонів у складах поїздів та в цілому по станції (рис 4.8, в). Форма залежностей також має параболообразну форму.

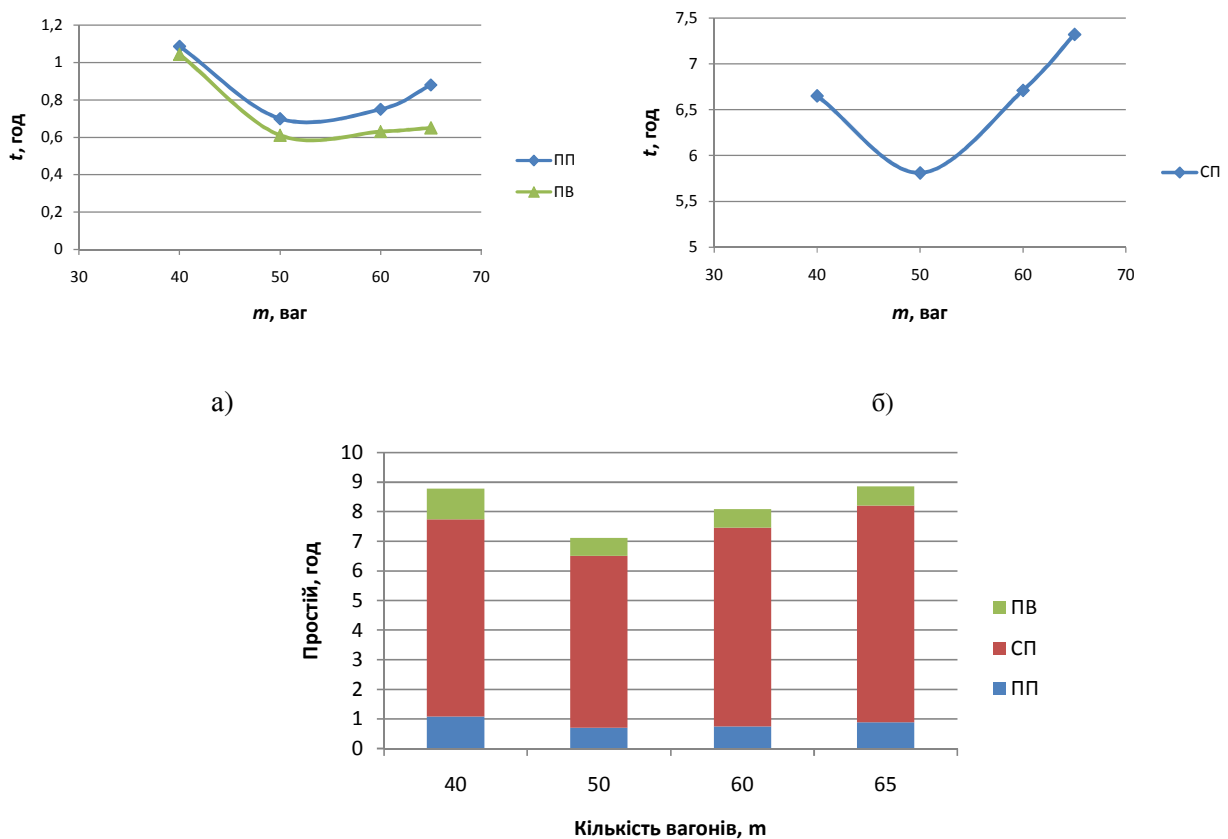


Рис. 4.8 – Залежність простою транзитних вагонів в парках сортувальних станцій від кількості вагонів у їх складі:

а) в парках прийому та відправлення; б) в сортувальному парку;

в) в цілому на станції

Отже, для сортувальних станцій, що працюють в різних режимах завантаження прилеглих ділянок пасажирськими поїздами на протязі року можна використовувати різну технологію в залежності від мети управління вагонопотоками. У випадку необхідності прискорення пропуску вагонопотоків необхідно формувати поїзди довжиною близько 50 вагонів у складі при не літньому графіку руху поїздів та близько 40 вагонів при літньому графіку за наявності необхідної кількості локомотивів та

локомотивних бригад. Якщо метою управління вагонопотоками на напрямку є зменшення експлуатаційних витрат, то формувати необхідно довгосоставні поїзди максимально можливої довжини. Обмеженням довжини виступатиме корисна довжина приймально-відправних колій станцій напрямків формування поїздів та тягові властивості локомотивів поїздів.

4.1.6. Аналіз впливу кількості вагонів у составі поїзда на експлуатаційні витрати станції

У системі одиничних норм витрати визначають в залежності від значного числа характерних вимірювачів, що дозволяє з найбільшою точністю враховувати детальні конкретні особливості варіантів. Витрати C , грн пов'язані з експлуатацією рухомого складу на поїзд, состав або локомотив, визначають із застосуванням так званої розгорнутої формули [98-99], загальної для всіх видів роботи (поїзна, маневрова) та категорій поїздів (вантажні, пасажирські):

$$C = R_l \cdot e_{R_l} + R_{co} \cdot e_{R_{co}} + R_T \cdot e_{R_T} + G \cdot e_G' + Ml \cdot e_{MS} \cdot 10^{-3} + t_{mh} \cdot e_{mh} + t_{mh} \cdot e_{mh} + t_{Nh} \cdot e_{Nh} + m \cdot t_{nn} \cdot e_{nn} \cdot 10^{-3} + ml \cdot e_{ns} \cdot 10^{-3} + (P + Q) \cdot l \cdot e_{pe} \cdot 10^{-6} \quad (4.35)$$

де R_l - механічна робота локомотивів, тис. ткм;

R_{co} - механічна робота сил основного опору, тис. ткм;

R_T - механічна робота сил гальмування, тис. ткм;

G - витрата дизельного палива, т, або електроенергії, тис. кВт-год;

M - число локомотивів на один поїзд;

l - відстань пробігу, км;

t_{mh} - час руху (а також простою) локомотивів, год;

t_{mh} - час роботи локомотивних бригад, год;

t_{Nh} - час роботи бригад складачів, год;

m - число вагонів у составі;

t_{nn} - час руху (а також простою) вагонів, год;

$P + Q$ - маса поїзда брутто, т;

$e_{R_{л}}$ - одинична норма витрат, що відносяться на механічну роботу локомотивів, грн./тис.ткм;

$e_{R_{CO}}, e_{R_T}$ - одиничні норми витрат, що відносяться на механічну роботу сил основного опору та сил гальмування, грн./тис.ткм;

e_G' - витрати на 1 т дизельного палива або на 1000 кВт-год.

На підставі отриманих результатів досліджень, розраховані витрати пов'язані з простоем вагонів та роботою маневрового локомотива для кожного парку окремо.

Для системи розформування витрати $E_{роз}^i$, грн визначені за формулою

$$E_{роз} = E_{ваг} + E_{лок}, \quad (4.36)$$

$E_{ваг}^i$ – витрати пов'язані з простоем вагонів у парку прийому, грн.;

$E_{лок}^i$ – витрати пов'язані з роботою маневрового локомотива, грн.

$$E_{ваг} = B_{роз} c_{ваг}, \quad (4.37)$$

де $B_{роз}$ – вагоно-години простою в парку прийому, отримані в результаті моделювання;

$c_{ваг}$ – витратна норма однієї години простою, грн.

$$E_{лок} = L_{роз} c_{лок}, \quad (4.38)$$

де $L_{роз}$ – локомотиво-години маневрової роботи;

$c_{лок}$ – витратна норма роботи локомотива, грн.

Витрати у сортувальному парку визначені за формулою

$$E_{нак} = B_{нак} c_{ваг}, \quad (4.39)$$

де $B_{нак}$ – вагоно-години простою під накопиченням.

Для парку відправлення витрати визначені за формулою

$$E_{від} = E_{ваг} + E_{лок}, \quad (4.40)$$

$E_{від}$ – сумарні витрати, для формування складу, грн.;

$E_{ваг}$ – витрати пов'язані з простоем вагонів у парку відправлення, грн.;

$E_{лок}$ – витрати пов'язані з роботою маневрового локомотива у парку відправлення, грн.

Загальні витрати для трьох парків визначені за формулою

$$E_{заг} = E_{роз} + E_{нак} + E_{від}. \quad (4.41)$$

На рис. 4.9 наведені витрати на простій вагонів по парках та по станції цілому. Результати розрахунків витрат на локомотиво-години маневрової роботи по парках станції приведені на рис 4.10.

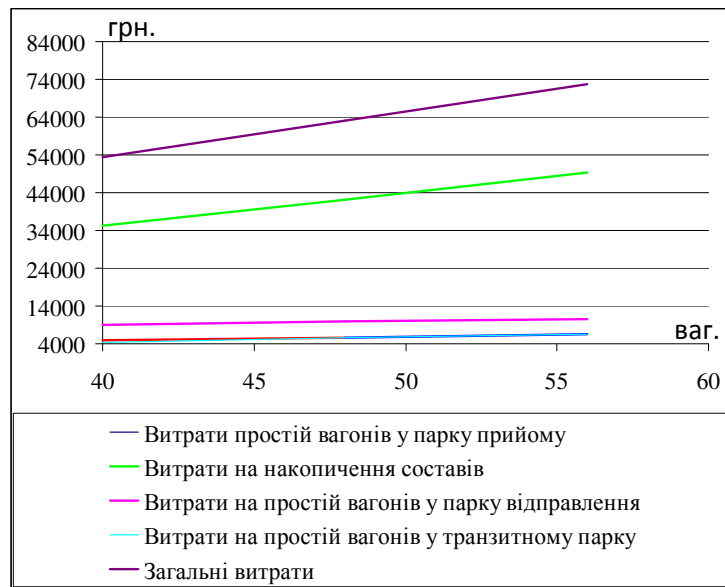


Рис. 4.9 – Витрати на простій вагонів по парках станції

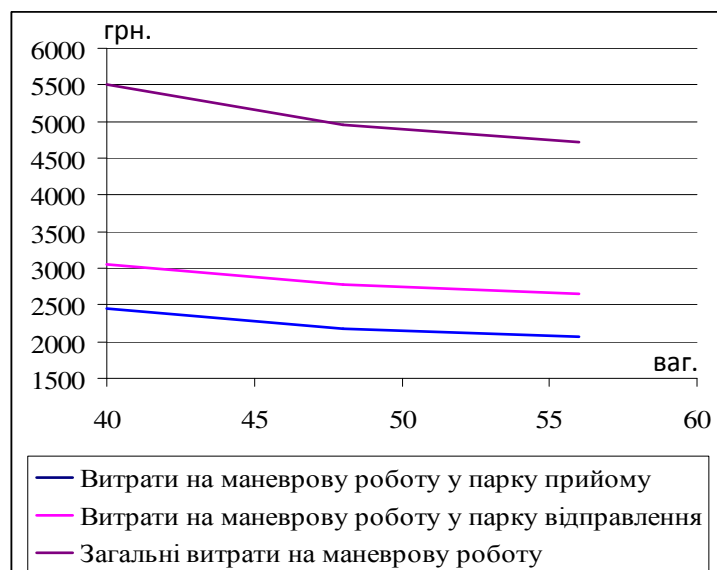


Рис. 4.10 – Витрати на маневрову роботу по парках станції

Залежність загальних витрат по станції у порівнянні з витратами на накопичення вагонів у сортувальному парку наведено на рис. 4.11.

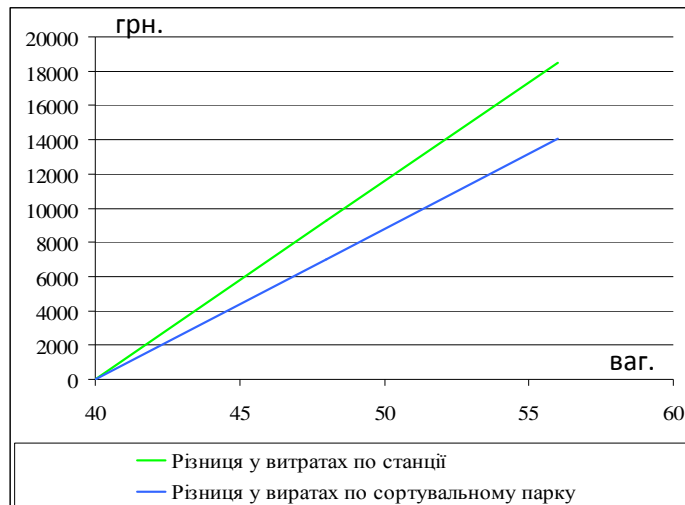


Рис. 4.11 – Залежність загальних витрат по станції від витрат на накопичення составів

Таким чином, виконані техніко-експлуатаційні розрахунки показали, що існуюча спрощена методика оптимізації маси поїздів призводить до зниження експлуатаційних витрат на 10-15% і відповідних похибок в розрахунках.

4.2. Дослідження роботи залізничних напрямків

Для аналізу впливу параметрів поїздів у потоці та обсягу потоку на показники роботи залізниць проведені дослідження з використанням імітаційної моделі залізничного напрямку (розділ 3). В якості вихідних даних розглядалися кількість вагонів у складі вантажного поїзда $m \in \{40; 65\}$, кількість пасажирських поїздів відповідала існуючим розмірам руху в літній та нелітній періоди. Вхідний потік поїздів на станцію та параметри поїздів моделювалися по відповідним законам розподілу, зазначених в [4].

4.2.1. Визначення впливу параметрів поїздів на тривалість знаходження на напрямку

Для визначення тривалості знаходження складу на ділянці T в залежності від числа вагонів у складі m , вагонопотоку A і кількості

пасажирських поїздів N висунуто гіпотезу про лінійну модель. З цією метою виконані експерименти на імітаційній моделі за таких умов:

1) Кількість вагонів x_1 : основний рівень $m_0 = 50$ ваг, крок варіювання $\Delta m = 10$ ваг;

2) Обсяг вагонопотоків x_2 : основний рівень $A_0 = 2000$ ваг, крок варіювання $\Delta A = 1000$ ваг;

3) Кількість пасажирських поїздів x_3 : основний рівень $N_0 = 20$ поїздів, крок варіювання $\Delta N = 10$ поїздів.

4.2.1.1. *Планування експерименту.* Для отримання лінійної моделі $T = f(m, N, A)$ на основі дослідних даних необхідно підготувати план експерименту. Для лінійної моделі, що містить три чинники m , N і A , план повного факторного експерименту включає $N = 2^3 = 8$ дослідів (табл. 4.5).

В таблиці вказані нормовані значення факторів: нижній рівень $x_j = -1$, верхній рівень $x_j = +1$.

Дійсні значення факторів X_j визначають за допомогою формули

$$X_j = X_{0j} + \Delta X_j \cdot x_j, \quad (4.42)$$

де X_{0j} - основний рівень фактора X_j ;

ΔX_j - крок варіювання фактора X_j .

Таблиця 4.5 - Матриця планування експерименту

Номер дослідів	x_1	x_2	x_3	y	A	m	N
1	-1	-1	1	y_1	1000	40	30
2	-1	1	-1	y_2	1000	60	10
3	1	-1	-1	y_3	3000	40	10
4	1	1	1	y_4	3000	60	30
5	-1	-1	-1	y_5	1000	40	10
6	-1	1	1	y_6	1000	60	30
7	1	-1	1	y_7	3000	40	30
8	1	1	-1	y_8	3000	60	10

4.2.1.2. *Перевірка відтворюваності експерименту.* Для перевірки відтворюваності експерименту необхідно визначити оцінки дисперсії S_i^2 в дослідах $i=1, \dots, N$ і виконати аналіз їх однорідності. З цією метою значення $(t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{i11})$ для всіх дослідів записують у табл. 4.6 і знаходять для кожного з них середнє значення часу \bar{t}_i і середнє значення квадрата часу $\overline{t_i^2}$. Далі за цими даними розраховують незміщеності оцінку дисперсії S_i^2 для кожного досвіду за допомогою формули:

$$s_i^2 = \frac{n}{n-1} (\overline{t_i^2} - (\bar{t}_i)^2) \quad (4.43)$$

Таблиця 4.6 - Визначення дисперсій S_i^2

Точки i	Досліди											\bar{t}_i	$\overline{t_i^2}$	S_i^2
	t_{i1}	t_{i2}	t_{i3}	t_{i4}	t_{i5}	t_{i6}	t_{i7}	t_{i8}	t_{i9}	t_{i10}	t_{i11}			
1	401	402	400	400	404	404	399	401	399	402	401	401	160949,5	2,694
2	391	388	388	393	390	392	390	392	390	391	391	391	152528	2,248
3	388	388	388	388	388	388	388	389	388	389	387	388	150614,8	0,264
4	403	404	407	404	403	405	403	407	406	405	406	405	163879,9	2,149
5	389	389	387	388	387	387	386	388	388	388	387	388	150262,7	0,777
6	404	406	403	402	404	403	406	402	403	404	405	404	163070,9	1,785
7	403	402	404	403	401	403	402	404	404	402	404	403	162336,7	0,992
8	390	390	390	390	391	391	390	390	390	390	390	390	152242	0,149
Сума														11,058

Для перевірки гіпотези про однорідність оцінок дисперсій S_i^2 використовуємо критерій Кохрена:

$$G = \frac{\max_i S_i^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \quad (4.44)$$

Необхідно порівняти знайдене значення $G = \frac{2,694}{11,058} = 0,243$ з критичним $G_{кр}$ для

числа ступенів свободи $\nu_{1воч} = n - 1$ і $\nu_{2воч} = N$ при рівні значущості $q_{воч} = 0,05$.

Враховуючи, що числа ступенів свободи $\nu_{1воч} = 9 - 1 = 8$ і $\nu_{2воч} = 8$, критичне значення $G_{кр} = 0,3$. Оскільки отримане значення $G = 0,243 < G_{кр} = 2,8$, то гіпотеза про однорідність вибірових дисперсій не суперечить

спостереженнями. При цьому всю групу вибірових дисперсій S_i^2 можна вважати оцінками однієї і тієї ж генеральної дисперсії σ^2 відтворюваності експерименту. Тоді оцінку дисперсії відтворюваності експерименту визначають як:

$$s_{\text{вос}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i^2 \quad (4.45)$$

$$s_{\text{вос}}^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,058 = 1,382$$

Зазначена оцінка буде використана для перевірки адекватності моделі об'єкту дослідження.

4.2.1.3. *Отримання математичної моделі тривалості руху поїздів на напрямку.*

Функція відгуку при трьох факторах має вигляд

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3, \quad (4.46)$$

або, для умов поставленої задачі

$$t = a_0 + a_1m + a_2A + a_3N + a_{12}mA + a_{13}mN + a_{23}AN + a_{123}mAN \quad (4.47)$$

У виразі (4.46) дійсні значення змінних перетворені в нормовані відповідно до формули:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i} = \pm 1, \quad (4.48)$$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння представлено в таблиці 4.7.

Використовуючи дані табл. 4.7, визначено коефіцієнти рівняння (4.46):

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_{0i}t_i}{N} = 396,15, \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N x_{1i}t_i}{N} = 0,35, \quad b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_{2i}t_i}{N} = 1,19,$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=1}^N x_{3i}t_i}{N} = 7,03 \quad b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{1i}x_{2i}t_i}{N} = -0,19, \quad b_{13} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{1i}x_{3i}t_i}{N} = -0,06,$$

$$b_{23} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{2i}x_{3i}t_i}{N} = 0,33, \quad b_{123} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{1i}x_{2i}x_{3i}t_i}{N} = 0,01.$$

Таблиця 4.7 – Розрахунок коефіцієнтів рівняння

Дослід	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	t
1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	401
2	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	391
3	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	388
4	1	1	1	1	1	1	1	1	405
5	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	388
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	404
7	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	403
8	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	390
Дослід	$x_0 t$	$x_1 t$	$x_2 t$	$x_3 t$	$x_1 x_2 t$	$x_1 x_3 t$	$x_2 x_3 t$	$x_1 x_2 x_3 t$	
1	401,2	-401,2	-401,2	401,2	401,2	-401,2	-401,2	401,2	
2	390,5	-390,5	390,5	-390,5	-390,5	-390,5	390,5	390,5	
3	388,1	388,1	-388,1	-388,1	-388,1	388,1	-388,1	388,1	
4	404,8	404,8	404,8	404,8	404,8	404,8	404,8	404,8	
5	387,6	-387,6	-387,6	-387,6	387,6	387,6	387,6	-387,6	
6	403,8	-403,8	403,8	403,8	-403,8	403,8	-403,8	-403,8	
7	402,9	402,9	-402,9	402,9	-402,9	-402,9	402,9	-402,9	
8	390,2	390,2	390,2	-390,2	390,2	-390,2	-390,2	-390,2	
Разом	3169,2	2,8	9,5	56,3	-1,5	-0,5	2,6	0,1	

З урахуванням знайдених коефіцієнтів рівняння функції відгуку буде мати наступний вигляд:

$$t = 396,15 + 0,35x_1 + 1,19x_2 + 7,03x_3 - 0,19x_1x_2 - 0,06x_1x_3 + 0,33x_2x_3 - 0,01x_1x_2x_3. \quad (4.49)$$

Після визначення оцінок коефіцієнтів b_j моделі, виконана перевірка гіпотези про їх значущість. Для цього потрібно знайти дисперсію оцінки коефіцієнта b_j , яка однакова для всіх коефіцієнтів:

$$S_b^2 = \frac{S_{\text{вос}}^2}{Nn} = \frac{1,382}{8 \cdot 9} = 0,019$$

Довірчий інтервал для коефіцієнта b_j можна знайти за допомогою критерію Стьюдента [62, 88]:

$$\Delta b_j = t_{v,q} S_b \quad (4.50)$$

де $t_{v,q}$ - табличне значення критерію Стюдента, що визначається при числі ступенів свободи $v_{zn} = N(n-1)$ і рівні значущості q_{zn} . При $v_{zn} = 8(9-1) = 64$ і рівні значущості $q_{zn} = 0,05$ значення $t_{v,q} = 1,993$. Тоді довірчий інтервал для коефіцієнтів b_j дорівнює:

$$\Delta b_j = 1,993 \sqrt{0,019} = 0,276.$$

В результаті порівняння всі знайдені коефіцієнти з довірчим інтервалом $\Delta b_j = 0,276$, у випадках коли $|b_j| < \Delta b_j$, коефіцієнт відкидають, вважаючи його незначним; інакше коефіцієнт b_j є значимим і його включають у модель.

У результаті обробки даних експерименту отримано коефіцієнти: $b_0 = 396,15$; $b_1 = 0,35$; $b_2 = 1,19$; $b_3 = 7,03$; $b_{12} = -0,19$; $b_{13} = -0,06$; $b_{23} = 0,33$; $b_{123} = 0,01$. Як видно, перші чотири коефіцієнти є значущими і їх включають у модель. Остаточна отримана модель має вигляд

$$t = 375,795 + 0,35 \cdot 10^{-3} A + 0,119m + 0,703N. \quad (4.51)$$

4.2.1.4. *Перевірка адекватності моделі.* Для перевірки адекватності моделі необхідно порівняти значення функції відгуку t_i , отримані за допомогою моделі, з дослідними даними \bar{t}_i у всіх точках експерименту ($i = 1, \dots, N$). Розсіяння результатів дослідів навколо отриманого рівняння регресії (моделі об'єкта дослідження), можна охарактеризувати за допомогою дисперсії адекватності

$$S_{ад}^2 = \frac{n}{N-d} \sum_{i=1}^N (\bar{t}_i - t_i)^2 \quad (4.52)$$

де d – число членів рівняння регресії ($d = 2$).

$$S_{ад}^2 = \frac{11}{8-2} \cdot 1,19 = 2,189.$$

Значення дисперсії адекватності визначені в таблиці 4.8.

Перевірку гіпотези про адекватність моделі виконують за допомогою F -критерію Фішера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{вос}^2}. \quad (4.53)$$

$$F = \frac{2,189}{1,382} = 1,584.$$

Таблиця 4.8 – Розрахунок дисперсії адекватності $S_{ад}^2$

Дослід	t	t_i	$t-t_i$	$(t-t_i)^2$
1	401	401,6	-0,5	0,2
2	391	390,0	0,6	0,3
3	388	388,3	-0,2	0,0
4	405	404,7	0,1	0,0
5	388	387,6	0,1	0,0
6	404	404,0	-0,2	0,0
7	403	402,3	0,6	0,3
8	390	390,7	-0,5	0,2
Сума				1,19

Для перевірки гіпотези виконане порівняння табличного значення $F_{кр}$ критерію Фішера при ступенях свободи $\nu_{ад} = N - d$ та $\nu_{вос} = N(n-1)$. Значення $F_{кр}$ залежить також від прийнятого рівня значущості $q_{ад}$ (прийнято 0,05). Число ступенів свободи $\nu_{ад} = N - d = 8 - 2 = 6$, $\nu_{вос} = N(n-1) = 8(11-1) = 80$; тоді при рівні значущості $q_{ад} = 0,05$ значення критерію Фішера $F_{кр} = 2,21$. Оскільки обчислене за результатами спостережень емпіричне значення критерію $F = 1,584 < F_{кр} = 2,21$, то гіпотеза про адекватність моделі досвідченим даним не суперечить спостереженнями.

4.2.2. Розрахунок показників роботи залізничного напрямку

За допомогою моделі технологічного процесу (розділ 3) по результатам моделювання розраховані наступні показники роботи залізничного напрямку.

Середня маса поїзда брутто розраховується за формулою

$$Q_{сеп} = \sum_{i=1}^N Q_i / N, \text{ т} \quad (4.54)$$

де Q_i – маса i -го поїзду, т;

N – загальна кількість вантажних поїздів.

Середня тривалість знаходження поїзда на напрямку

$$T_{\text{н}} = \frac{\sum_{i=1}^N (T_{\text{вих}i} - T_{\text{вх}i})}{N}, \text{ хв} \quad (4.55)$$

де $T_{\text{вх}}$ та $T_{\text{вих}}$ - моменти входу та виходу поїздів на напрямок.

Дільнична швидкість є одним з головних якісних показників роботи залізниці. Для її визначення модель розраховує середній час знаходження вантажного поїзда на напрямку $T_{\text{н}}$ на основі визначених раніше моментів відправлення поїздів з першої станції ділянки та моментів їх прибуття на кінцеву станцію та повної довжини ділянки. Дільнична швидкість в моделі розраховується за наступною формулою

$$V_{\text{д}} = \frac{\sum NL}{60T_{\text{н}}}, \quad (4.56)$$

де $\sum NL$ - сумарні поїздо-години.

Середній простій локомотива в основному депо

$$T_{\text{ос}} = \frac{\sum_{j=1}^m (T_{\text{від}j} - T_{\text{пр}j})}{M_{\text{е}}}. \quad (4.57)$$

Середній простій локомотива в оборотному депо

$$T_{\text{об}} = \frac{\sum_{j=1}^m (T_{\text{від}j} - T_{\text{пр}j})}{M_{\text{е}}}, \quad (4.58)$$

де $T_{\text{від}j}$ - момент відправлення j -го локомотива із пункту обороту;

$T_{\text{пр}j}$ - момент прибуття j -го локомотива в пункт обороту;

$M_{\text{е}}$ – кількість локомотивів.

Оборот локомотива

$$O_{\text{л}} = \frac{2L}{V_{\text{д}}} + T_{\text{ос}} + T_{\text{об}} \quad (4.59)$$

Необхідний експлуатаційний парк локомотивів

$$M_e = \frac{O_{\text{л}} N}{24} . \quad (4.60)$$

Середньодобовий пробіг локомотива

$$S_{\text{л}} = \frac{2LN}{M_e} \quad (4.61)$$

Продуктивність локомотива

$$W_{\text{л}} = S_{\text{л}} Q_{\text{сер}} . \quad (4.62)$$

На рис. 4.12 а-г показані залежності показників локомотивного парку від обсягів вагонопотоку на напрямку. Із збільшенням обсягів роботи зменшується оборот локомотивів. Це пояснюється зменшенням простоїв локомотивів в оборотному та основному депо в очікуванні поїздів. Необхідний локомотивний парк збільшується практично пропорційно кількості поїздів на напрямку.

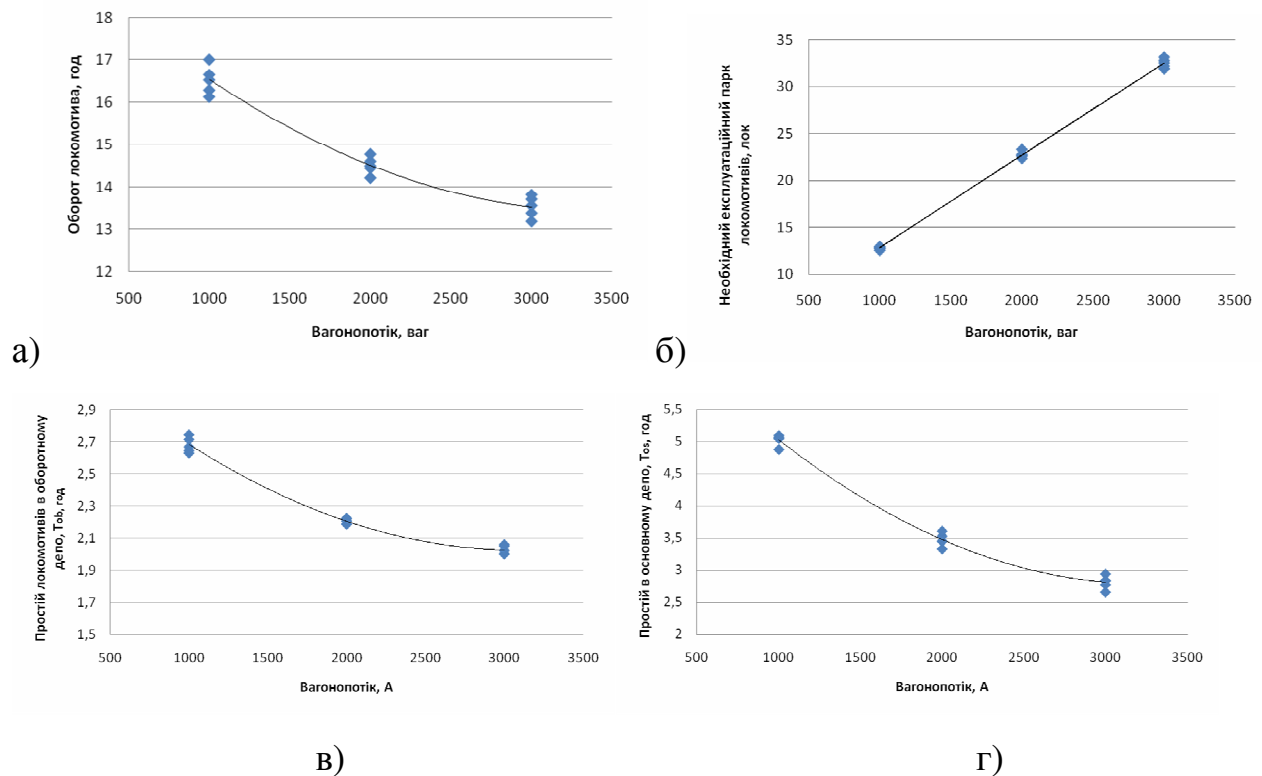


Рис. 4.12 – Залежність показників роботи залізничного напрямку від обсягів вагонопотоку

На рис. 4.13 показано вплив зміни довжини (відповідно і маси) поїздів на показники роботи напрямку. Із збільшенням довжини поїздів збільшується їх тривалість знаходження на дільниці, зменшується дільнична швидкість і відповідно збільшується оборот локомотиву та зменшується їх середньодобовий пробіг. Коефіцієнти кореляції між середньою тривалістю знаходження вагону на напрямку без врахування простою на технічних станціях, між дільничною швидкістю поїздів та середньою кількістю вагонів у составі складають відповідно 0,76 та - 0,79 (рис. 4.13 а, в).

При збільшенні кількості пасажирських поїздів, що прямують на напрямку (рис. 4.13 б,г), збільшується його завантаження, при практично постійному коефіцієнті зняття вантажних поїздів пасажирськими і, як наслідок, зменшується дільнична швидкість. При наближенні коефіцієнту завантаження до 1, можуть виникати нелінійні зміщення функції як в більшу так і меншу сторону [50].

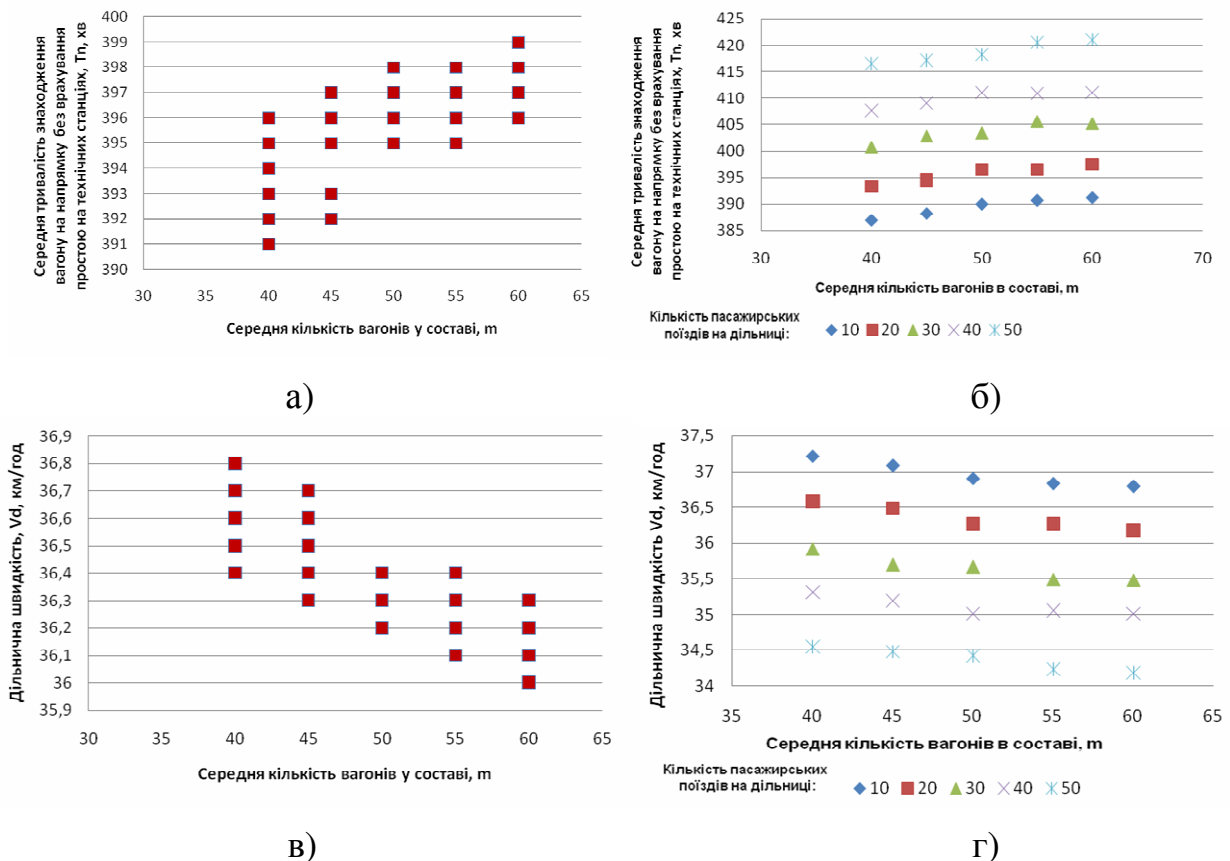


Рис. 4.13 – Залежність показників роботи залізничного напрямку від довжини поїздів

Із збільшенням кількості вагонів у складі поїздів необхідна кількість локомотивів експлуатаційного парку зменшується (рис. 4.14 а). При більшій завантаженості напрямку необхідний локомотивний парк збільшується на 5-10%. Середньодобовий пробіг локомотивів та їх оборот є функцією кількості поїздів на напрямку (рис. 4.14 б,в). При постійному вагонопотоці перший показник буде зменшуватись із збільшенням довжини та маси поїздів, а другий буде прямо пропорційно збільшуватись.

Представлена модель також дозволяє визначити взаємозв'язок між показниками роботи залізниць. Наприклад, на рис. 4.14 г показано, що продуктивність роботи локомотивного парку зменшується по мірі збільшення мінімально необхідного експлуатаційного парку локомотивів для виконання заданого обсягу роботи.

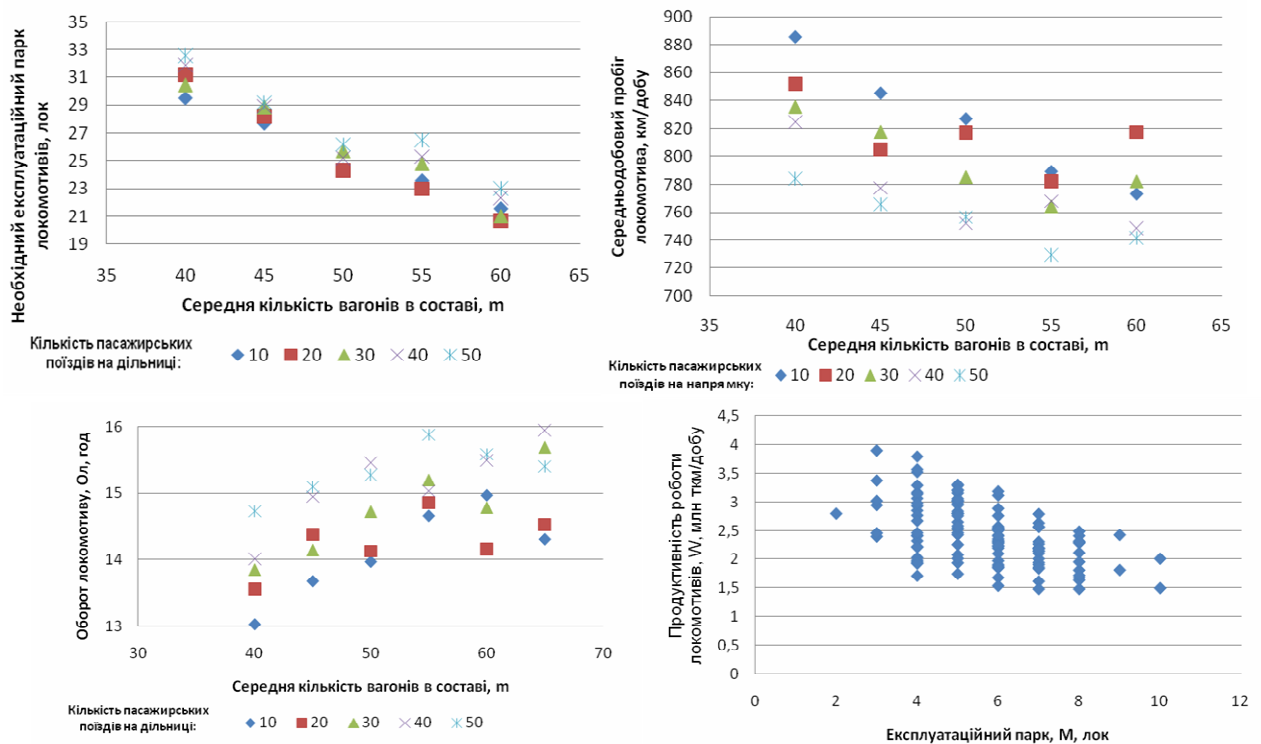


Рис. 4.14 – Показники роботи локомотивного парку

Оскільки швидкість просування вагонопотоків по напрямкам значно залежить від простою вагонів на технічних станціях: близько 12-15% часу вагон знаходиться в русі, близько 35-40% - на технічних станціях в процесі доставки (не під вантажними операціями) [100], то для остаточних висновків

щодо вибору раціональної технології необхідно показники роботи станцій та напрямків розглянути в комплексі як єдину синергетичну систему.

4.3. Результати розрахунків експлуатаційних витрат по просуванню вагонопотоку

Для вибору раціональних параметрів поїздів на залізничному напрямку з метою мінімізації загальних витрат залізниць на просування вагонопотоку розглянемо складники цих витрат: витрати на електроенергію чи дизельне паливо, на утримання локомотивів та локомотивних бригад, на експлуатацію та простій рухомого складу:

$$E = E_{проб} + E_{лок} + E_{лок-бр} + E_{ваг} \quad (4.62)$$

де $E_{проб}$ - витрати на пробіг поїздів заданої маси та довжини;

$E_{лок}$ - витрати на локомотиво-години роботи для пропуску заданого вагонопотоку;

$E_{лок-бр}$ - витрати на утримання локомотивних бригад;

$E_{ваг}$ - витрати на знаходження вагонопотоку в межах напрямку (з урахуванням технічних станцій).

Результати розрахунків витрат для вагонопотоку 700 ваг/добу та не літнього графіку руху пасажирських поїздів, отримані на основі імітаційного моделювання, представлені на рис. 4.15-4.17.

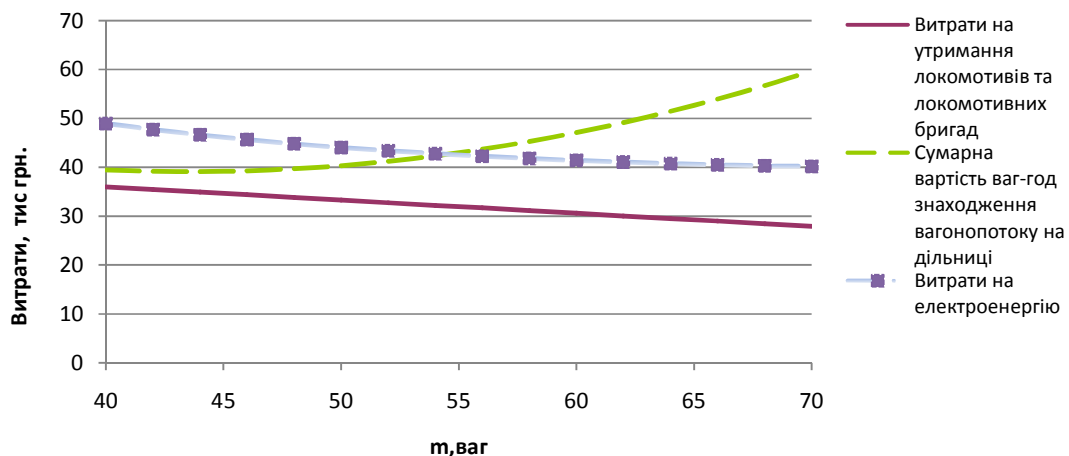


Рис. 4.15 – Залежність витрат від кількості вагонів у складі поїзда

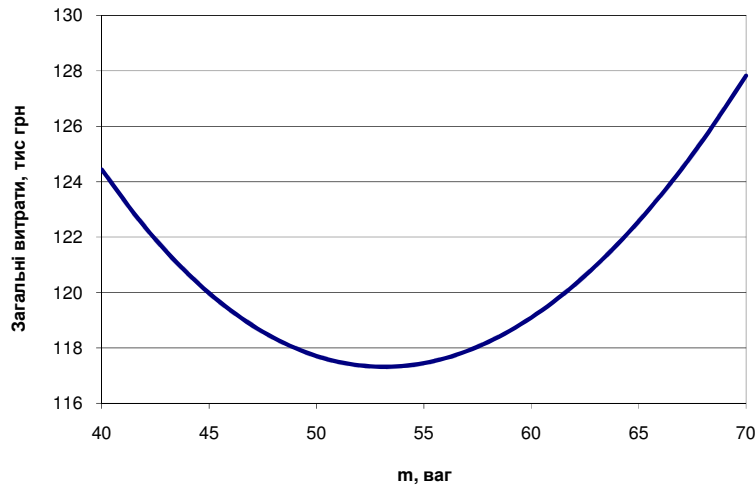


Рис. 4.16 – Залежність загальних витрат від кількості вагонів у составі поїзда

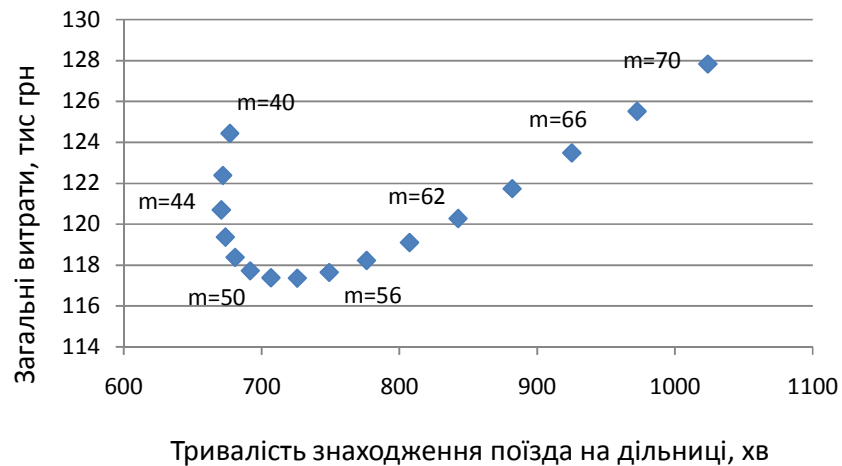


Рис. 4.17 – Залежність загальних витрат від тривалості знаходження поїздів на напрямку

Отже, для прискорення пропуску вагонопотоків на залізничних напрямках із нормальною завантаженістю дільниць необхідно формувати поїзди довжиною 44-46 вагонів масою в межах 3000-3500 т. Мінімізація загальних витрат має місце при формуванні поїздів довжиною 50-54 вагони. Також інтерес викликає вивчення залежності окремо експлуатаційних витрат за рахунок зменшення швидкості просування вагонопотоку по напрямку (рис. 4.18). Аналіз результатів показує необхідність формування довгосоставних поїздів підвищеної маси (60-70 ваг, 4200-5000 т).

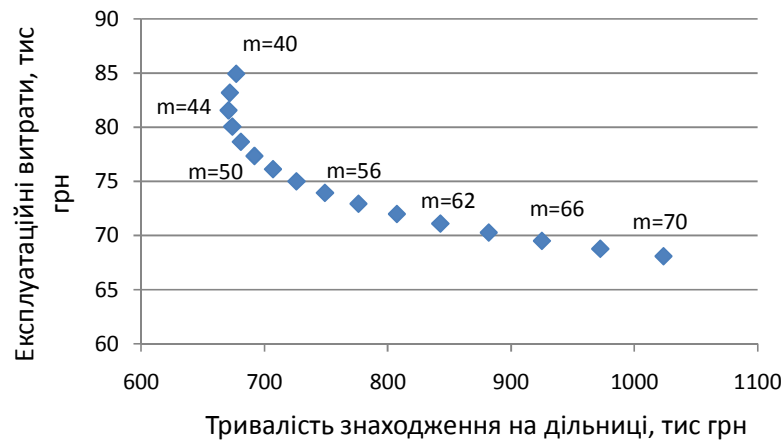


Рис. 4.18 – Залежність експлуатаційних витрат від тривалості знаходження поїздів на напрямку

При значній завантаженості дільниць напрямку, наприклад при літньому розкладі графіку руху пасажирських поїздів, доцільним стає формування неповносоставних неповновагових вантажних поїздів для прискорення пропуску вагонопотоків на напрямку. При цьому мінімум експлуатаційних витрат також має місце при формуванні довгосоставних поїздів (рис 4.19-4.21).

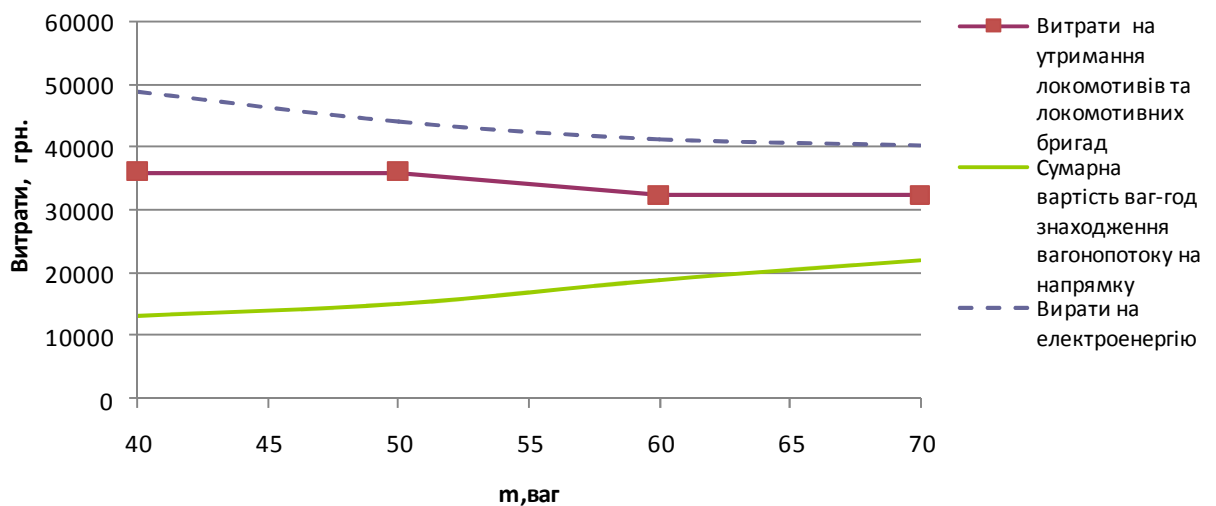


Рис. 4.19 – Залежність витрат від кількості вагонів у составі поїзда при завантажених дільницях напрямку

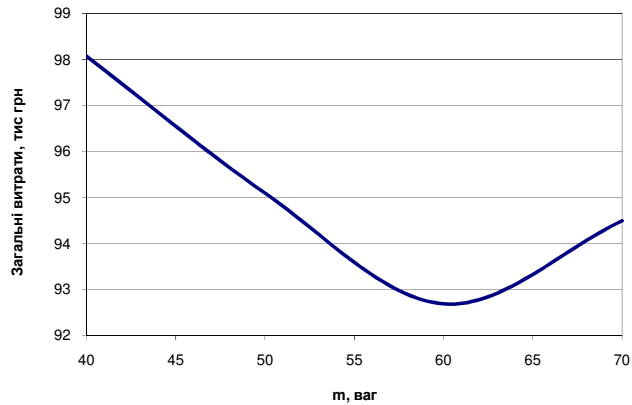


Рис. 4.20 – Залежність загальних витрат від кількості вагонів у составі поїзда при завантажених дільницях напрямку

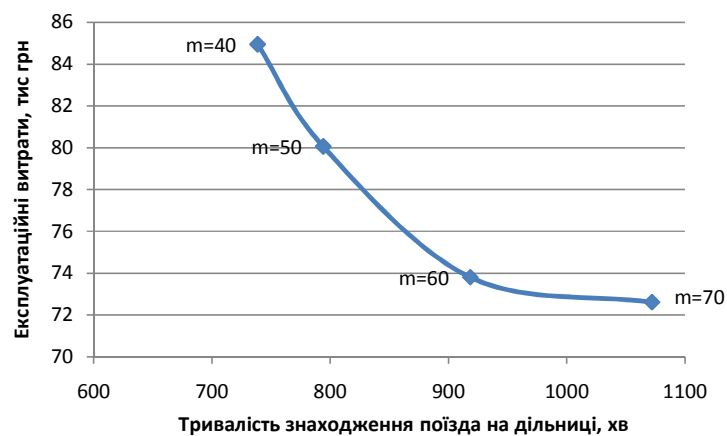


Рис. 4.21 – Залежність експлуатаційних витрат від тривалості знаходження поїздів на напрямку при завантажених дільницях

Інша тенденція спостерігається на пасажиронапружених і одночасно завантажених напрямках. Тривалість пропуску вагонопотоку значно збільшується із зростанням кількості вагонів у составах поїздів та їх маси. Мінімум загальних витрат з урахуванням використання рухомого складу досягається при довжині составів близько 60 вагонів, а експлуатаційні витрати поступово зменшуються на всьому проміжку можливих значень довжини поїздів. Обмеженням зменшення експлуатаційних витрат може виступати довжина приймально-відправних колій технічних та проміжних станцій напрямку.

4.4. Висновки

На мікрорівні ергатичне моделювання показало, що не можна знехтувати завантаженістю виконавців, оперативно-диспетчерського апарату та елементів, що приймають участь у технологічних процесах. Було встановлено, що тривалість знаходження поїздів в приймально-відправних та транзитних парках станцій можна представити у вигляді функції двох змінних $t = f(m, N)$, тобто частина часу знаходження припадає на кількість вагонів у поїздах m , а частина на кількість самих поїздів N . Не врахування впливу кількості вагонів у поїзді на роботу приймально-відправних та транзитних парків станцій напрямку призводить до заниження експлуатаційних витрат на 10-15% і відповідних похибок при оптимізації маси поїздів.

Результати моделювання на макрорівні дозволили визначити взаємозв'язок між параметрами поїздопотоків та основними експлуатаційними показниками роботи залізничних напрямків. Так, із збільшенням обсягів роботи поступово зменшується оборот локомотивів, що пояснюється зменшенням простоїв локомотивів в оборотному та основному депо в очікуванні поїздів. Необхідний локомотивний парк збільшується пропорційно кількості поїздів на напрямку. Із збільшенням маси та довжини поїздів збільшується тривалість їх знаходження на напрямку, оборот локомотиву, зменшується дільнична швидкість. Отримано нелінійну залежність тривалості знаходження поїздів на напрямку від їх довжини та маси.

Для техніко-економічної оцінки раціональних параметрів поїздопотоків використано методи факторних експериментів та регресійного аналізу. Отримано залежності, що враховують витрати на енергоресурси, використання локомотивного та вагонного парку. Встановлено, що збільшення маси поїздів призводить до зменшення витрат залізниці, що

пов'язані з пропуском поїздопотоків у відношенні 3-5 : 1 в залежності від профілю діляниць.

РОЗДІЛ 5

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ

Проведений аналітичний огляд літератури показав, що визначення раціональних параметрів поїздопотоків є складною оптимізаційною задачею. З масою та довжиною поїздів пов'язані наявна провізна і пропускна спроможність залізничних ліній, швидкість доставки вантажів, потреба у вагонному і локомотивному парках, і як результат, витрати залізниці на переміщення вагонопотоків. Існуюча технологія перевезення вантажопотоків на українських залізницях передбачає близько 50 % часу обігу вантажних вагонів у стані переміщення між станціями призначення та відправлення і 50 % у стані навантаження-розвантаження та порожнього пробігу. Зміна параметрів поїздопотоків може вплинути на першу частину часових витрат, тобто частково прискорити або сповільнити пропуск вантажопотоків і відповідно вплинути на обіг вантажних вагонів.

В наукових роботах використовувалися різні методи рішення зазначеної задачі та різні критерії оптимальності. Як показав аналіз, такими критеріями можуть виступати прямі експлуатаційні витрати при заданому рівні технічного використання локомотивів, критерій, виражений в приведених вагоно-годинах, що враховує витрати локомотиво-годин та енергії через коефіцієнти приведення, формування переважно повносоставних та повновагових поїздів, тощо. При оптимізації параметрів поїздопотоків на напрямках використовувались й інші підходи щодо визначення критерію оптимізації, окрім власне витрат залізниці. В умовах конкуренції залізниці з іншими видами транспорту, в роботах [101-103] наводиться обґрунтування зменшення маси та довжини поїздів для прискорення пропуску контейнерних або контрейлерних поїздів, чи окремих вантажних відправок за додаткову плату. Недоліками цих методів є

відсутність системного аналізу проблеми з точки зору інтересів обох учасників процесу перевезень.

5.1. Математична постановка задачі

Задача визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках розглядається як оптимізаційна задача із двома невідомими – масою Q (т) та довжиною поїздів m (ваг). Критеріями оптимізації виступають витрати учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків:

$$\left[\begin{array}{l} C_3 = E_3(m, Q) \rightarrow \min \\ C_{кл} = E_{вант}(m, Q) + E_{зб}(m, Q) \rightarrow \min, \end{array} \right] \quad (5.1)$$

де E_3 - витрати залізниці на переміщення поїздопотоків на напрямку;

$E_{вант}$ - витрати вантажовласників на закупівлю вантажів, що постійно знаходяться в русі під час перевезень;

$E_{зб}$ - витрати на зберігання вантажів на складах відправників та одержувачів.

Всі вищезазначені витрати розглядаються як функції двох параметрів m та Q при постійних значеннях інших параметрів, таких як добовий вагонопотік по напрямку A ваг/добу, наявна пропускна спроможність N_n , максимальна довжина приймально-відправних колій $l_{кол}$, максимальна маса поїздів на дільницях напрямку при існуючих поїзних локомотивах Q_{max} , т, добовий вантажопотік на напрямку $P_{вант}$ т/добу, доля порожнього вагонопотоку в переважно порожньому напрямку $\alpha_{пор}$, обсяги пасажирського руху при літньому та не літньому графіку руху поїздів $N_{пас}$, поїздів/добу, середня тара вагонів, q_t , т, середня вантажопідйомність вагонів, $q_{ваг}$, т/ваг, локомотивний парк W_d .

Витрати Укрзалізниці на пропуск поїздопотоків складаються із наступних складових:

$$E_3 = E_{проб} + E_{лок} + E_{лок-бр}, \quad (5.2)$$

де $E_{проб}$ - витрати на пробіг поїздів заданої маси та довжини, що припадають на витрати електроенергії чи дизельного палива;

$E_{лок}$ - витрати, що припадають на локомотиво-години роботи для пропуску заданого вагонопотоку;

$E_{лок-бр}$ - витрати на утримання локомотивних бригад.

Витрати клієнтів на закупівлю вантажів розраховуються за формулою:

$$C_v = A \alpha_{нав} q c_m d_{см} t_{досм} \left(1 + \frac{t_{напр}^*}{t_{напр}}\right), \quad (5.3)$$

де A – добовий вагонопотік в одному напрямку;

$\alpha_{нав}$ - доля навантажених вагонів від загального вагонопотоку;

q - середнє навантаження вагону на напрямку;

c_m - середньозважена вартість однієї тонни вантажу;

$d_{см}$ - дисконтна ставка;

$t_{досм}$ - середня тривалість знаходження вантажу в русі від станції завантаження до станції призначення;

$t_{напр}^*$ - тривалість знаходження вантажу на напрямку при змінених параметрах поїздопотоків;

$t_{напр}$ - тривалість знаходження вантажу на напрямку при існуючих параметрах поїздопотоків.

Витрати на зберігання вантажу змінюються пропорційно величинам партій доставок m (рис. 5.1), що відповідає кількості вагонів у складах поїздів. Розрахувати ці витрати для окремого состава можна за формулою:

$$E_{зб} = 0,5 m c_s T \quad (5.4)$$

де c_s – середні витрати на зберігання вантажу, грн/год;

T – середня тривалість споживання однієї партії вантажу, год. Очевидно, що цей параметр пропорційний величині партії m .

Система обмежень параметрів функції складається з наступних рівнянь та нерівностей.

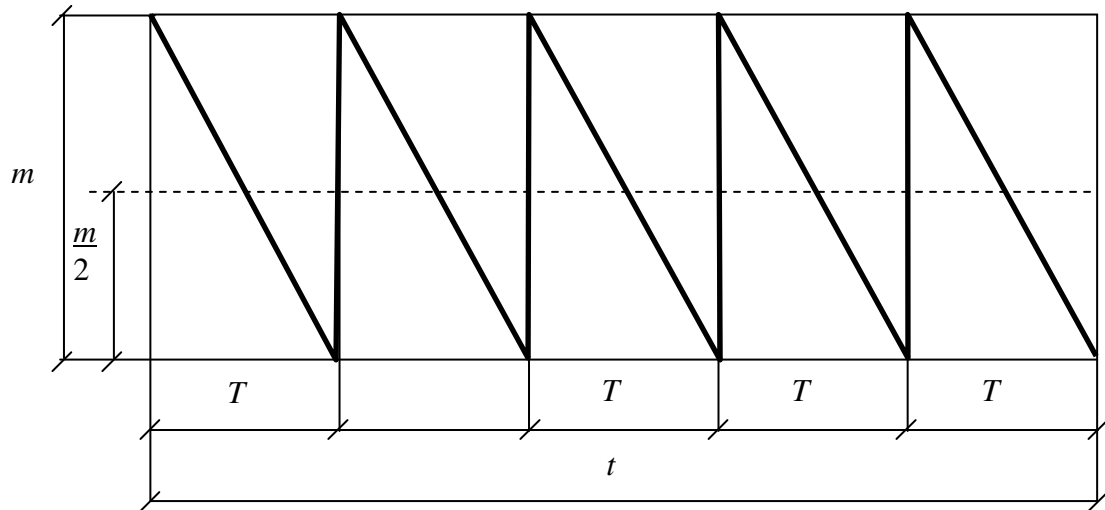


Рис. 5.1 – Графік функції обсягів вантажу, що зберігається

Обмеження по наявній пропускній спроможності дільниць напрямку:

$$N_n \geq N_{вант j} + N_{пас j} \cdot \varepsilon_{пас} + N_{зб j} (\varepsilon_{зб} - 1) \quad (5.5)$$

де $N_{вант j}$, $N_{пас j}$, $N_{зб j}$ - кількість вантажних, пасажирських та збірних поїздів на j -му напрямку;

$\varepsilon_{пас}$, $\varepsilon_{зб}$ - коефіцієнти зняття вантажних поїздів пасажирськими та збірними відповідно.

Коефіцієнти зйому в свою чергу також залежать від параметрів поїздопотоків. Відповідно до [104-105] для двоколіїних дільниць з пасажирським рухом до 60 пар поїздів на добу

$$\varepsilon_{пас} = \frac{t_{ван} (1 - \Delta)(0,8 - 0,005n_{nc})}{I} + 1,3 \quad (5.6)$$

та при більш значних розмірах руху пасажирських поїздів

$$\varepsilon_{пас} = \frac{t_{ван} (1 - \Delta)(0,8 - 0,005n_{nc})}{I} + \frac{1,5}{n_{nc}} + 1 \quad (5.7)$$

де $t_{ван}$ - тривалість руху вантажного поїзду через обмежуючий перегін, хв.;

Δ - співвідношення чистого часу руху пасажирських та вантажних поїздів на розрахунковій дільниці;

n_{nc} - загальна кількість пасажирських поїздів на дільниці;

I – розрахунковий міжпоїзний інтервал на дільниці, хв.

Параметр I залежить від [104] тривалості руху поїздів по розрахунковим блок-ділянкам $t_{\bar{o}li}, i = \{1..4\}$, їх довжини $l_{\bar{o}li}$ та довжини l_{n1} та l_{n2} суміжних поїздів, що рухаються по перегону:

$$I = t_{\bar{o}l1} \frac{l_{n1}}{l_{\bar{o}l1}} + t_{\bar{o}l2} + t_{\bar{o}l3} + t_{\bar{o}l4} \frac{l_{n2}}{l_{\bar{o}l4}} \quad (5.8)$$

Для аналізу форми області допустимих значень ОДЗ параметрів поїздопотоків проведено факторний експеримент. При цьому для визначення $t_{\bar{o}li} = f(Q, m)$ використовувались тягові розрахунки на одній з ділянок напрямку перевезень.

Наступним обмеженням виступає відповідність добового обсягу вагонопотоків добовому поїздопотокі

$$A = mN_{\text{вант}} \cdot \quad (5.9)$$

Обмеження по довжині приймально-відправних колій

$$l_{\text{лок}} + m \cdot l_{\text{ваг}} + a \leq l_{\text{кол}}, \quad (5.10)$$

де $l_{\text{лок}}$ - довжина поїзного локомотиву на напрямку, м;

$l_{\text{ваг}}$ - середня довжина вагону, м;

a - допуск на неточність зупинки поїзда, м.

Обмеження по силі тяги поїзних локомотивів

$$Q_{\bar{o}p} = \frac{F_{\text{кр}} - P(\omega_0' + i_p)}{\omega_0'' + i_p} \geq Q \quad (5.11)$$

$F_{\text{кр}}$ - розрахункова сила тяги локомотива, кгс;

ω_0' - основний питомий опір руху локомотива, кгс/тс;

i_p - керівний ухил, ‰;

P - розрахункова маса локомотива, тс;

ω_0'' - основний питомий опір руху вантажних вагонів, кгс/тс.

Обмеження по обсягам перевезених вантажів

$$(1 - \alpha_{\text{нор}}) N_{\text{вант } j} (Q - m q_m) = P_{\text{вант } j} \quad (5.12)$$

Обмеження по вантажопідйомності вагонів

$$0 \leq \frac{Q}{m} - q_m \leq q_{ваг} \quad (5.13)$$

Обмеження по локомотивному парку

$$\frac{N_{вагт} O_l}{24} \leq W_l, \quad (5.14)$$

де O_l - оборот локомотиву.

5.2. Методика і результати досліджень

Визначення раціональних параметрів поїздопотоків проведено на основі кримського пасажиронапруженого напрямку залізничних перевезень з урахуванням різного стану його завантаження в літній та нелітній період. На рис. 5.2 побудована область допустимих значень параметрів поїздопотоків.

Обмеження (5[^]) та (5^{^^}) відповідають не літнім та літнім розмірам руху пасажирських поїздів на напрямку. Конус, утворений обмеженнями (5.12)-(5.13), пояснюється співвідношенням випадкових параметрів m та Q . Величина кута при вершині пропорційна долі порожнього вагонопотоку на напрямку. Обмеження (5.14) паралельне обмеженням (5.5) та коливається в межах між (5[^]) та (5^{^^}), оскільки локомотивний парк напрямку може використовуватись на суміжних напрямках, бути доповнений локомотивами інших депо. І, як показали дослідження, оборот локомотиву не може бути прийнятий постійною величиною, оскільки він залежить від параметрів та обсягів поїздопотоків.

Дослідження впливу параметрів поїздопотоків на витрати залізниці для Кримського пасажиронапруженого напрямку проведено з використанням моделі роботи залізничного напрямку [6]. В моделі він розглядається як багатоканальна багатофазна система масового обслуговування СМО. Вхідний потік СМО утворюють парні та непарні поїзди, що вимагають пропуску по дільницям напрямку, закони розподілу та параметри якого представлені в [4]. Фазами обслуговування поїздів є залізничні перегони та станції, що здійснюють технологічні процеси відповідно до прийнятої технології роботи дирекції залізничних перевезень та технологічних процесів

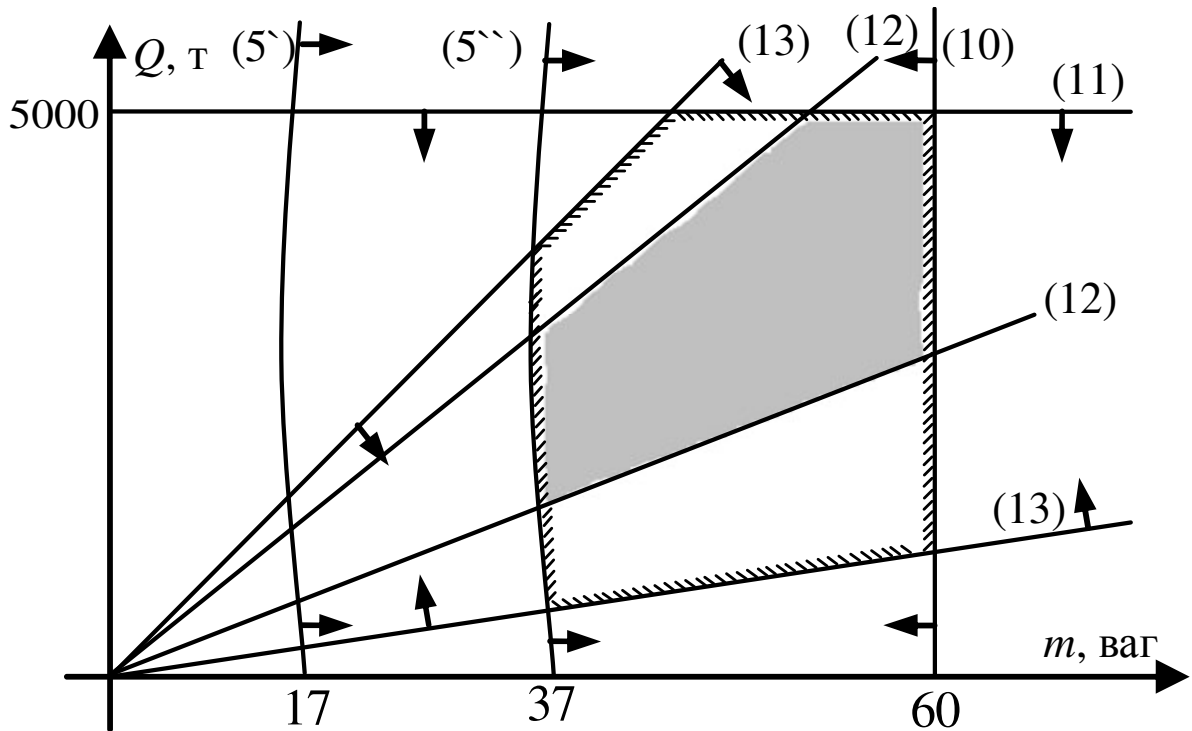


Рис. 5.2 – Область допустимих значень параметрів поїздопотоків

роботи станцій напрямку. Тривалості обслуговування моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик заявок на обслуговування та об'єктів обслуговування.

Результати досліджень показали, що із збільшенням довжини та маси поїздів на напрямку, витрати залізниці зменшуються (рис. 5.3) і одночасно з ними збільшується тривалість знаходження вагонопотоків на напрямку.

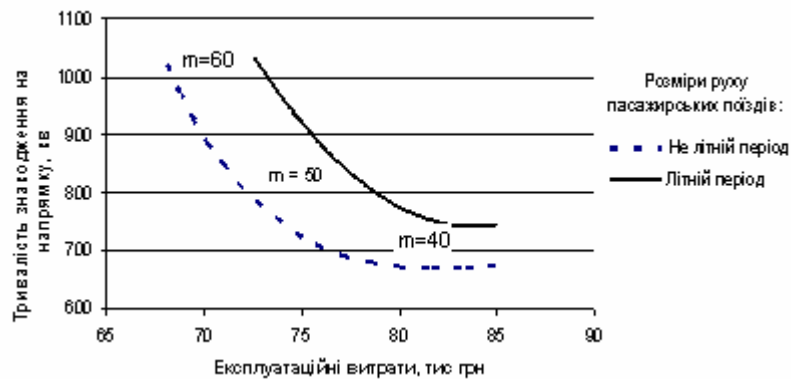


Рис. 5.3 – Залежність експлуатаційних витрат від тривалості знаходження поїздів на напрямку

Для визначення витрат $E_{вант}$ та $E_{зб}$ виконано статистичний збір інформації про структуру, обсяги та вартість вантажопотоків, що перевозились Укрзалізницею за останні роки [106]. На рис. 5.4 наведено розподіл вантажопотоків по роду вантажів. Переважну частину вантажів складають масові перевезення видобувної, металургійної, будівельної та аграрної промисловості.

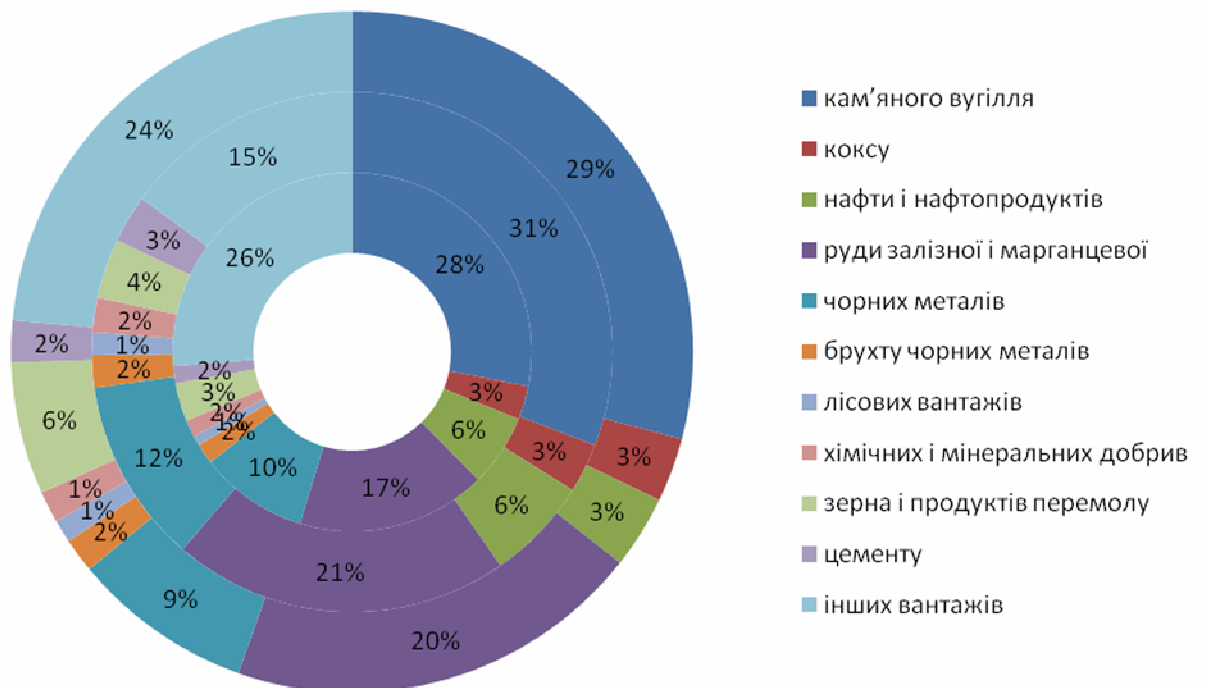


Рис. 5.4 – Діаграма зміни структури вантажопотоків залізниць України за 2002, 2005 та 2010 р.

Діаграми зміни структури вантажопотоків у 2002, 2005 та 2010 р., що в останнє десятиріччя відбувається зміна кон'юнктури ринку вантажних перевезень. Одночасно з цим змінювався попит та пропозиція на окремі товари, що перевозилися залізницями України, деякі групи вантажів стали транспортуватись іншими видами транспорту або перевозитись шляхами в обхід території України (рис. 5.5).

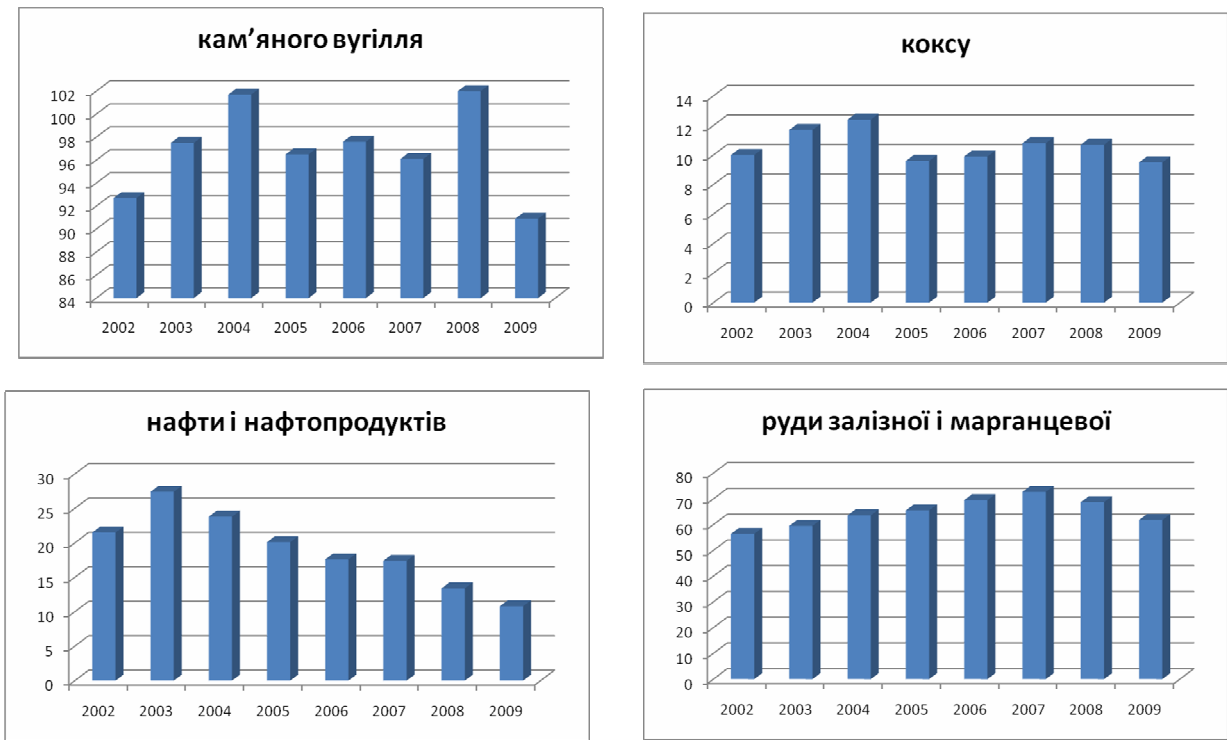


Рис. 5.5 – Діаграма зміни обсягів вантажопотоків залізниць України за родом вантажів

Все це вплинуло на собівартість самих вантажів (рис. 5.6). Середньозважена вартість однієї тонни вантажу визначена за формулою:

$$C_a = \sum_{j=1}^k \alpha_j c_{вантj}, \quad (5.15)$$

де j – род вантажів;

α_j - доля вантажів j -го роду від загального обсягу вантажопотоку;

$c_{вантj}$ - середня вартість j -го вантажу протягом року.

Аналіз зміни вартості масових вантажів, що перевозилися залізницями з 2002 по 2010 р., показав значні коливання, що пояснюються зміною попиту та обсягів споживання тих чи інших вантажів на ринку України. Між середньозваженою вартістю та обсягами перевезень було встановлено тісний кореляційний зв'язок $R_{c_a \sum Q} = 0,77$.

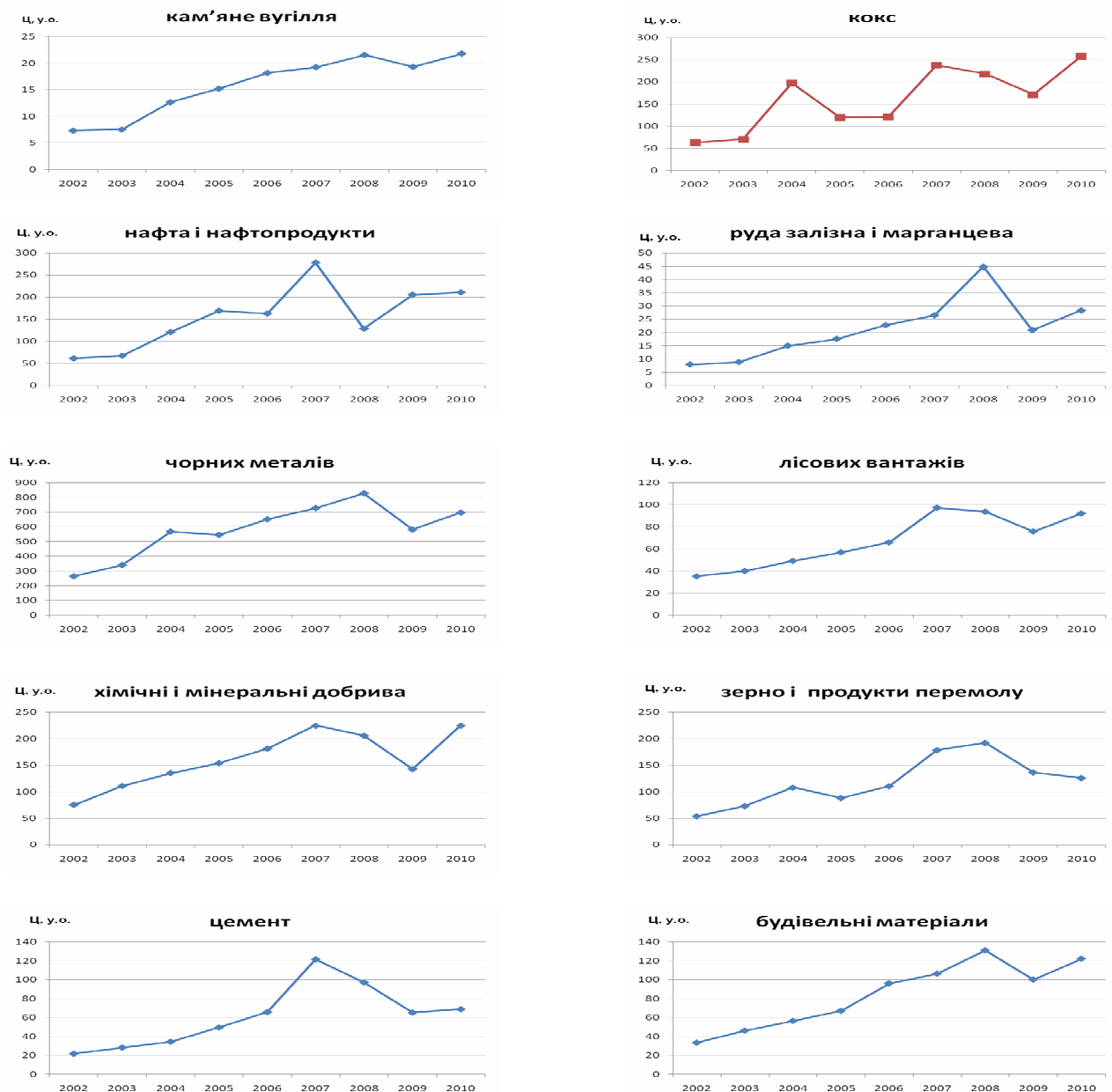


Рис. 5.6 – Зміна вартості масових вантажів, що перевозилися залізницями протягом 2002 – 2010 р.

Для визначення параметрів поїздопотоків, що задовольняють умову (5.1), була побудована поверхня $E = f(m; c_g)$ (рис. 5.7 а). Для наочності виконані розтини поверхні площинами при деяких постійних значеннях параметру c_g (рис. 5.7, б), з яких видно, що загальні витрати учасників процесу перевезень досягають мінімального значення при зменшенні довжини поїздів до 48-54 вагонів у складі в залежності від співвідношення витрат на перевезення та вартості перевезених вантажів.

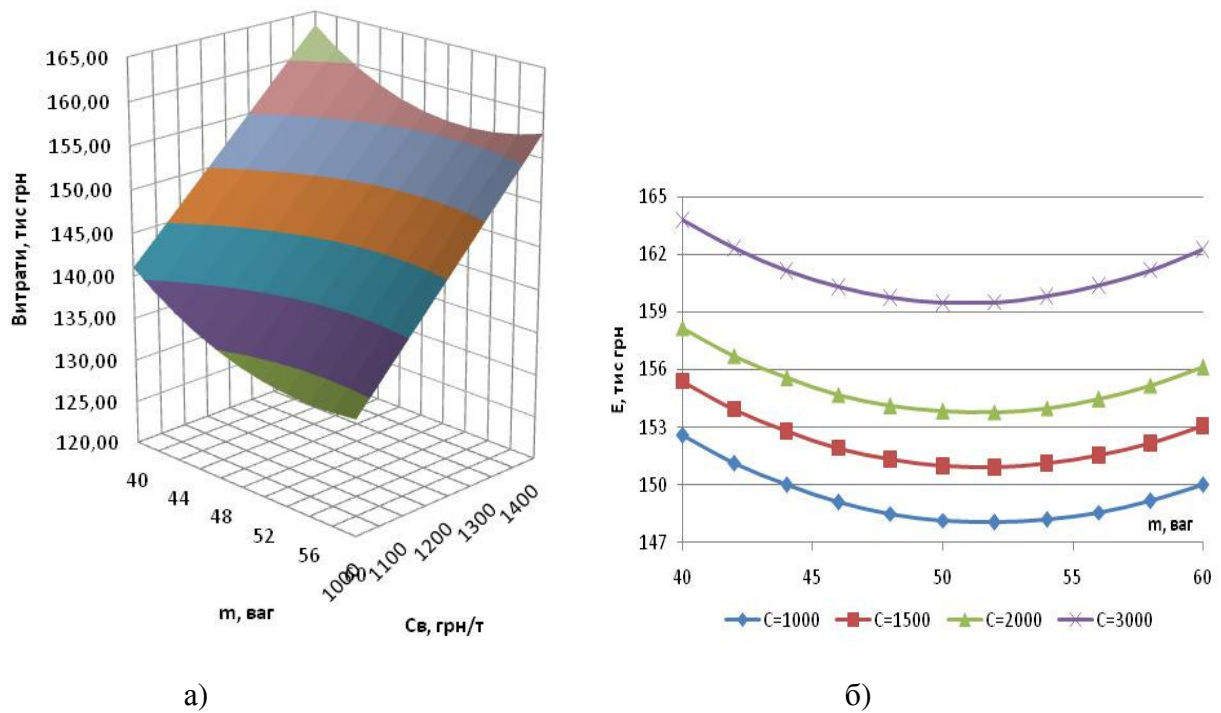


Рис. 5.7 – Поверхня $E = f(m; c_e)$ (а) та її розтини (б)

В подальшому задачу визначення раціональних параметрів поїздопотоків вирішено як задачу векторної оптимізації. Розв'язок такої задачі полягає у пошуку усіх пар параметрів поїздопотоків, які задовольняють умові (5.1) при будь якому співвідношенні витрат між собою $t = \frac{C_з}{C_{кл}}$. Функції витрат залізниці та її клієнтів представлені на рис. 5.8. При двох невідомих значеннях m та Q , вони повинні задовольняти наступну систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial C_з(m, Q)}{\partial m} + t \frac{\partial C_{кл}(m, Q)}{\partial m} = 0, \\ \frac{\partial C_з(m, Q)}{\partial Q} + t \frac{\partial C_{кл}(m, Q)}{\partial Q} = 0, \end{cases} \quad (5.16)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь для функцій витрат кримського напрямку залізничних перевезень отримано з використанням програмного засобу *Maple 7* (рис. 5.9).

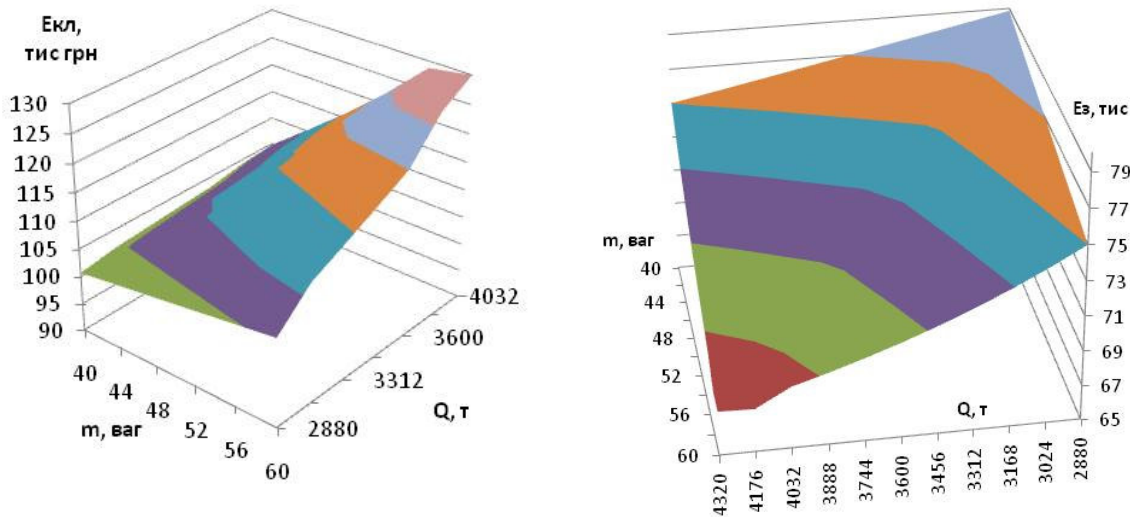


Рис. 5.8 – Поверхні $E_{кл} = f(m; Q)$ та $E_з = f(m; Q)$

Так, при $t \in \{1,58; 4,42\}$ значення оптимальних параметрів поїздопотоків знаходяться на границі ОДЗ, при $\forall t \in \{1,58; 4,42\}$ рішення буде мати вигляд деякої кривої (рис. 5.10, а). Необхідно зазначити, що пошук виконувався відносно стандартних параметрів поїздопотоків, що задавалися б в тих чи інших випадках на напрямку, а справжні експлуатаційні значення \tilde{m} та \tilde{Q} незначно коливалися один від одного в будь-якій точці отриманої функції $Q = f(m) \forall t \in \{1,58; 4,42\}$ (рис 5.10, б).

```

Maple 7 - [Задача вект оптимиз+ mws - [Server 1]]
File Edit View Insert Format Spreadsheet Options Window Help
[Icons]
> restart:with(linalg):with(plots):
> F1:=x->1/(0.002535 + 0.15356/x[1] + 11.4467/x[2]);
      F1 := x -> 1 / (0.002535 + 0.15356 / x1 + 11.4467 / x2)
> F2 :=x->48.5045*exp(10.371/x[1])*exp(714.445/x[2]);
      F2 := x -> 48.5045 e (10.371 / x1) (714.445 / x2)
> n:=2;
> g1:= [seq(diff(F1(x), x[i]), i=1..n)];
> g2:= [seq(diff(F2(x), x[i]), i=1..n)];
> s:= {seq(g1[i]+t*g2[i]=0, i=1..n)};
> Rs:=solve(s, {seq(x[i], i=1..n)});
> u:=op(1, op(1, op(1, Rs)));
> if u=1 then x[1]:=op(2, op(1, Rs)):x[2]:=op(2, op(2, Rs)) else
x[1]:=op(2, op(2, Rs)):x[2]:=op(2, op(1, Rs)) end if;
      n:=2

```

Рис. 5.9 – Фрагмент вікна програмного засобу Maple 7

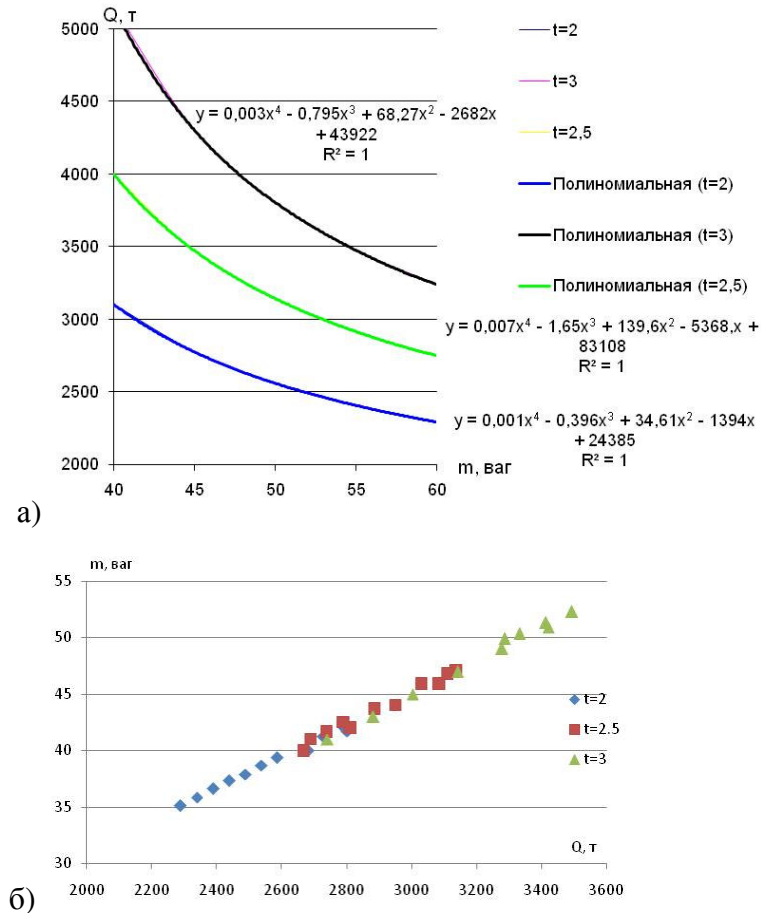


Рис. 5.10 – Розв'язок задачі векторної оптимізації

Таким чином, при зменшенні обсягів перевезень на залізниці виникає проблема прискорення руху поїздопотоків в зв'язку із збільшенням тривалості простою вагонів на технічних станціях під накопиченням для запобігання виплати штрафів за несвоєчасну доставку вантажів клієнтам. Насправді ж, в цей період часу відбувається зменшення вартості вантажної маси, що знаходиться в русі, і тому її перевезення може бути виконано в більш довші строки із максимально можливим збільшенням довжини та маси поїздів та відповідним зменшенням експлуатаційних витрат залізниці. При збільшенні обсягів перевезення відбувається поступове збільшення вартості вантажів, тому в цей час раціональним стає зменшення маси та довжини поїздів, що призведе до прискорення просування поїздопотоків по напрямках з організацією руху неповносоставних поїздів довжиною 42-50 вагонів в залежності від роду вантажопотоків на напрямку та їх обсягу.

5.3. Висновки

Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках показав, що в сучасних умовах відсутній комплексний підхід до розв'язання задачі вибору маси та довжини поїздів. В існуючих наукових роботах вплив параметрів поїздопотоків розглядається в аспектах експлуатаційної роботи станцій та дільниць, а клієнти залізниці при цьому знаходяться поза межами системи перевезень і ніяким чином не можуть вплинути на строки доставки вантажів, окрім збільшення партій відправок. Для розв'язання вказаної задачі побудовані математичні моделі технологічних процесів роботи залізничних станцій та напрямків і розроблено методику техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки вибору параметрів поїздопотоків.

При зменшенні обсягів перевезень на залізниці виникає проблема прискорення руху поїздопотоків в зв'язку із збільшенням тривалості простою вагонів на технічних станціях під накопиченням для запобігання виплати штрафів за несвоєчасну доставку вантажів клієнтам. Насправді ж, в цей період часу відбувається зменшення вартості вантажної маси, що знаходиться в русі, і тому її перевезення може бути виконано в більш довші строки із максимально можливим збільшенням довжини та маси поїздів та відповідним зменшенням як експлуатаційних витрат залізниці, так і тарифів на перевезення. При збільшенні обсягів перевезення відбувається поступове збільшення вартості вантажів, тому в цей час раціональним стає зменшення маси та довжини поїздів, що призведе до прискорення просування поїздопотоків по напрямках з організацією руху неповносоставних поїздів довжиною 42-50 вагонів в залежності від роду вантажопотоків на напрямку та їх обсягу. Значний вплив на вибір параметрів поїздопотоків будуть вже мати обмеження за наявною кількістю локомотивів, завантаженість дільниць та елементів станцій. Збільшення експлуатаційних витрат на пропуск поїздопотоків при цьому можна покласти на клієнтів, відповідно збільшивши тарифні ставки. Для кримського напрямку, збільшивши власні витрати на

4000 грн/добу, витрати клієнтів на утримання вантажної маси в русі скорочуються на 15000 грн. Отже, частково розподіливши скорочення загальних витрат системи між її учасниками, можна отримати економічний ефект в розмірі 4 млн грн/рік лише на напрямку довжиною 200-250 км, які частково направити на реновацію локомотивного парку для усунення обмеження по парку локомотивів.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують **науково-практичну задачу вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках**. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції:

1. Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі вибору раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках показав, що в сучасних умовах відсутній комплексний підхід до розв'язання задачі вибору маси та довжини поїздів. В існуючих наукових роботах вплив параметрів поїздопотоків розглядається в аспектах експлуатаційної роботи станцій та дільниць, а клієнти залізниці при цьому знаходяться поза межами системи перевезень і ніяким чином не можуть вплинути на строки доставки вантажів, окрім збільшення партій відправок. Для розв'язання вказаної задачі необхідна *побудова адекватних математичних моделей технологічних процесів роботи залізничних станцій та напрямків і розробка методів техніко-експлуатаційної та техніко-економічної оцінки вибору параметрів поїздопотоків*.

2. Дослідження мережі УЗ показали, що залізничні напрямки можуть суттєво відрізнятися характером поїздопотоків. Тому в роботі більш детально розглянуто вантажонапружений Донбас – Кривбас та Кримський пасажиронапружений напрямки. Встановлено взаємозв'язок по вузловим станціям з оборотним локомотивним депо між парними та непарними потоками, що пояснюється підв'язкою поїзних локомотивів. Визначено, що випадкова величина їх простою у таких вузлах розподілена за законом Ерланга з параметром $k = 5$ та математичним очікуванням 102 хв (ст. П'ятихатки). Кількість вагонів у складі поїздів має зміщений закон Ерланга і тісно пов'язана із масою поїздів. Коефіцієнт кореляції між масою та довжиною поїздів на різних напрямках коливається від 0,64 до 0,81 для переважно навантаженого потоку. Функціональний зв'язок між масою та довжиною

поїздів встановлено методом мінімальних квадратів $Q = 87,803m - 290,56$ при $m \geq 5$.

3. Для дослідження впливу людського фактору управління технологічними процесами на залізничних напрямках виконані дослідження показників роботи різних поїзних диспетчерів. Встановлено, що на кількісні показники роботи дільниць їх досвід, кваліфікація, методи управління практично не впливають – коливання статистичних параметрів виконаних показників різних диспетчерів відбуваються в межах 2-3%. Якісні ж показники роботи суттєво залежать від людини-диспетчера і коливаються в досить широких межах 15-80 % – при практично однаковому значенні математичного очікування дільничної швидкості (30,54 та 31,11 км/год) у двох диспетчерів суттєво відрізняється дисперсія цього показника (10,41 та 1,08 (км/год)²).

4. Для дослідження процесів пропуску поїздопотоків на залізничних напрямках побудовано систему імітаційних моделей: на мікрорівні – модель роботи технічних станцій; на макрорівні – модель роботи залізничного напрямку та на метарівні – модель переміщення вантажопотоків в цілому. Розроблені моделі, на відміну від існуючих, надають можливість системно проаналізувати організацію руху поїздів на залізничних напрямках з урахуванням особливостей роботи як роздільних пунктів, так і залізничних ліній. Існує можливість брати участь оперативно-диспетчерському персоналу у процесі прийняття рішень або використовувати модель системи управління, побудовану на основі теорії кінцевих автоматів. Адекватність моделей була підтверджена за допомогою критерію Уїлкоксона порівнянням результируючих показників, таких як дільнична швидкість, оборот локомотиву, середня маса поїзда тощо, отриманих за результатами моделювання та на реальних об'єктах. Розроблені моделі дозволяють встановлювати взаємозв'язки між параметрами поїздопотоків та техніко-експлуатаційними показниками роботи станцій та напрямків.

5. На мікрорівні ергатичне моделювання показало, що не можна знехтувати завантаженістю виконавців, оперативно-диспетчерського апарату та елементів, що приймають участь у технологічних процесах. Було встановлено, що тривалість знаходження поїздів в приймально-відправних та транзитних парках станцій можна представити у вигляді функції двох змінних $t = f(m, N)$, тобто частина часу знаходження припадає на кількість вагонів у поїздах m , а частина на кількість самих поїздів N . Не врахування впливу кількості вагонів у поїзді на роботу приймально-відправних та транзитних парків станцій напрямку призводить до заниження експлуатаційних витрат на 10-15% і відповідних похибок при оптимізації маси поїздів. На макрорівні отримано нелінійну залежність тривалості знаходження поїздів на напрямку від їх довжини та маси.

6. Для техніко-економічної оцінки раціональних параметрів поїздопотоків використано методи факторних експериментів та регресійного аналізу. Отримано залежності, що враховують витрати на енергоресурси, використання локомотивного та вагонного парку. Встановлено, що збільшення маси поїздів призводить до зменшення витрат залізниці, які пов'язані з пропуском поїздопотоків у відношенні 3-5 : 1 в залежності від профілю дільниць.

7. Для вирішення задачі вибору раціональних параметрів поїздопотоків на метарівні проведено аналіз зміни обсягів роботи УЗ в цілому та по родам вантажу, визначено наявність кореляційного зв'язку між обсягами роботи та середньою вартістю 1 т вантажу, що перевозиться: $k = 0,77$. На метарівні логістичний ланцюг вантажопотоків представлений сукупністю залізничних напрямків, а УЗ з її клієнтами розглянуто як єдину синергетичну систему.

8. Задача вибору раціональних параметрів поїздопотоків повинна вирішуватись за критерієм мінімізації витрат учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків на відміну від існуючих критеріїв натуральних показників роботи залізниць. При зменшенні обсягів перевезень на залізниці виникає необхідність прискорення руху поїздопотоків в зв'язку із

збільшенням тривалості простою вагонів на технічних станціях під накопиченням для запобігання виплати штрафів за несвоєчасну доставку вантажів клієнтам. Визначено, що в цей період часу відбувається зменшення вартості вантажної маси, що знаходиться в русі, і тому її перевезення може бути виконано із максимально можливим збільшенням довжини та маси поїздів і відповідним зменшенням експлуатаційних витрат залізниці. При збільшенні обсягів перевезення відбувається поступове збільшення вартості вантажів, тому в цей час раціональним стає зменшення маси та довжини поїздів, що призведе до прискорення просування поїздопотоків по напрямках з організацією руху неповносоставних поїздів довжиною 42-50 вагонів в залежності від роду вантажопотоків на напрямку та їх обсягу. Значний вплив на вибір параметрів поїздопотоків будуть вже мати обмеження за наявною кількістю локомотивів, завантаженість діляниць та елементів станцій. Збільшення експлуатаційних витрат на пропуск поїздопотоків при цьому можна покласти на клієнтів, відповідно збільшивши тарифні ставки. Для Кримського напрямку, збільшивши власні витрати на 4000 грн/добу, витрати клієнтів на утримання вантажної маси в русі скорочуються на 15000 грн. Отже, частково розподіливши скорочення загальних витрат системи між її учасниками, можна отримати економічний ефект в розмірі 4 млн грн./рік лише на напрямку довжиною 200-250 км, які частково направити на реновацію локомотивного парку для усунення обмеження по парку локомотивів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України про транспорт від 10.11.1994 р., Київ. № 232/94-ВР.
2. Постанова «Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки» від 16 грудня 2009 р. № 1390, Київ.
3. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 155-р.
4. Козаченко Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2010. № 3/5 (45). - С. 17-21.
5. Мозолевич Г. Я. Аналіз показників роботи поїзних диспетчерів / Г. Я. Мозолевич // Вісник ДНУЗТ. Д.: ДІТ, 2007. – Вип. 18. - С. 151-153.
6. Козаченко Д. М. Моделювання роботи залізничного напрямку / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Вісник ДНУЗТ. – Д.: ДІТ, 2009. – Вип. 28. – С. 143-148.
7. Козаченко Д. М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. О. Мазуренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - № 2/3 (50). - С. 40-45.
8. Мозолевич Г. Я. Дослідження поїздопотоків Дніпроперовського залізничного вузла / Г. Я. Мозолевич, Ю. В. Чибісов // Вісник НТУ «ХП». - Х.: ХП, 2011. – Вип. 9. - С. 72 - 78.
9. Інструкція зі складання графіку руху поїздів на залізницях України. – К.: Транспорт України, 2002.
10. Каретников О. Д. График движения поездов / О. Д. Каретников, М. А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1979. - 55с.

11. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железнодорожных дорог: Учеб. Пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И.Б. Сотников – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.

12. Кочнев Ф. П. Организация движения на железнодорожном транспорте / Кочнев Ф. П., Акулиничев В. М., Макарович А. М. — М.: Транспорт, 1979. – 156 с.

13. Форд Л. Р. Потоки в сетях / Л. Р. Форд, Д.Р. Фалкерсон - М.. «Мир», 1966. - 372 с. – (Перевод с англ.).

14. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт, М.: - Изд-во «Мир», 1966. – 223 с. – (Перевод с англ.).

15. Черномордик Г. И. Вес грузовых поездов и полезные длины станционных путей при электрической и тепловозной тяге. Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды МИИТа. / Г. И. Черномордик - Вып. 86. – М.: Трансжелдориздат. – 1957. - 424 с.

16. Пейсахзон Б. Э. Вес и скорость грузовых поездов: Труды ЦНИИ МПС / Б. Э. Пейсахзон – М.: Трансжелдориздат, 1957. - Вып. 141. - 202 с.

17. Максимович Б. М. О влиянии веса поезда на простой вагонов под накоплением и в переработке. Вопросы организации вагонопотоков, графика движения и пропускной способности железных дорог: Труды МИИТа / Б. М. Максимович - Вып. 203. - М.: Транспорт. - 1965. - с.5-15.

18. Фельдман Э. Д. Унификация весовых норм и ее эффективность. Вопросы унификации весовых норм и маршрутизации грузовых перевозок: Труды ЦНИИ МПС / Э. Д. Фельдман - Вып. 186. - М.: Трансжелдориздат. - 1960. - С. 4-84.

19. Тихонов К. К. Теоретические основы выбора оптимальных весовых норм грузовых поездов / К. К. Тихонов - М.: Транспорт, 1970. - 200 с.

20. Тихонов К. К. Выбор оптимальной длины участков обращения локомотивов. Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды МИИТа / К. К. Тихонов - Вып.168. - М.: Транспорт. - 1963. - С. 211-220.

21. Тихонов К. К. Расчет оптимальных весовых норм передаточных поездов в узлах: Метод. записка к курс. и диплом. Проектированию / К. К. Тихонов - М.: МИИТ, 1960. – С. 1-26.
22. Тихонов К. К. Выбор весовых норм грузовых поездов / К. К. Тихонов - М.: Транспорт, 1967. – 260 с.
23. Тихонов К. К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог / К. К.Тихонов - М.: Транспорт, 1974. – 192 с.
24. Тихонов К. К. Проблема веса и скорости грузовых поездов / К. К. Тихонов - М.: ВИНТИ АН СССР, 1960. – 91 с.
25. Макаровичин А. М. Оптимальные длины станционных путей однопутных линий при тепловозной тяге в условиях растущего грузопотока / А. М. Макаровичин – Труды МИИТ, вып. 161, М., «Высшая школа», 1957. – С. 130–144.
26. Макаровичин А. М. Сферы выгоды сочетаний способов усиления провозной способности однопутных линий в условиях растущего грузопотока при тепловозной тяге / А. М. Макаровичин — Труды МИИТ, вып. 137, М., 1961. – с. 144—168.
27. Орлов В. Н. Основные принципы определения влияния на себестоимость перевозок качественных показателей работы железных дорог. — В кн.: Себестоимость железнодорожных перевозок. Под общей ред. В. Н. Орлова. М., 1965, гл. V, § 19, С. 129–132.
28. Савенко А. С., Музыка Г. И. Оптимизация массы грузовых поездов на участках // Транспорт: Сб. науч. Тр. – Вып. 8 – Днепропетровск: ДИИТ. – 2001, С. – 93-97.
29. Правила тяговых расчетов для поездной работы. — М.: Транспорт, 1985.
30. Крапивный, В.А. Вес поезда. Ориентиры, проблемы, опыт. На основе развития инфраструктуры магистрали / В.А. Крапивный, В.А. Анисимов // Железнодорожный транспорт. - 2005. - № 3. – С. 30-36.

31. Некрашевич В. И. Особенности оперативного регулирования локомотивного парка при стабилизации грузового движения / Совершенствование эксплуатационной работы на основе графика движения поездов: Сб. науч. тр. під ред. А. Д. Чернюгова. М: Транспорт, 1984. – С. 32...49.

32. Некрашевич В. И., Бодюль В. И., Бородин А. Ф. График грузового движения: надежность и экономичность // Железнодорожный транспорт. 1993. № 11. – С. 12-18.

33. Тихомиров И.Г. и др. Организация движения на железнодорожном транспорте / И. Г. Тихомиров // Минск: Высшая школа, 1979.

34. Козаченко Д. М. Дослідження впливу маси поїздів на роботу сортувальних станцій / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: тези доп. IV Міжнар. науково-практ. конф.- К.: ДЕДУТ, 2008. – с. 132-133.

35. Мозолевич Г. Я. Дослідження впливу кількості вагонів у складі на показники роботи сортувальної станції / Г. Я. Мозолевич, Г. В. Лиска // Науково – технічний прогрес на залізничному транспорті: тези доп. 68 науково - техніч. конф. студентів та аспірантів – Д.: ДІТ. – 2008. – с. 119.

36. Мироненко В. К. Концепція побудови логістичної системи на залізничному транспорті України / В. К. Мироненко // Удосконалення технологій перевізного процесу - Д.: ДНУЗТ. – 2004.- С. 64-66.

37. Оптимальная норма состава поезда [Электронный ресурс] / В. В. Волчанинов, В. М. Кутумов, А. С. Рящиков. З джерела: www.tvp.ru/conferen/vsppm05s/kipso259.pdf

38. Гетьман Г. К. Оценка взаимосвязи массы, длины состава и продолжительности процесса его формирования / Г. К. Гетьман // Залізн. трансп. України. - 1999. - № 2. - С. 10-12.

39. Федорец В. А. Методика определения оптимального веса поезда с учетом времени его формирования / В. А. Федорец, Д. В. Бобырь //

Улучшение конструкции и обслуживания подвижного состава железных дорог : Межвуз. сб. науч. тр. / ДГТУЖТ. - Днепропетровск : "Січ", 1997. - С. 44-47.

40. Анализ существующего парка электровозов и разработка технических требований на вновь проектируемые электровозы Украины: Отчет о НИР (заключительный) / Днепр, гос. техн. ун-т ж.-д. тр-та. № Г.Р. 0194 У002462; Инв. № 03940001408. — К., 1993. — 20 с.

41. Лакин И. К. Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта / И. К. Лакин – «Наука и транспорт», 2007. – С. 60-63.

42. Тулупов Л. П. Управление перевозками на участках и направлениях / Л. П. Тулупов // Ж.-д. трансп. - 2003. - №4. – С. 50-54.

43. Бутько Т. В., Удосконалення методології розрахунку параметрів формування складів, до складу яких входять порожні вагони / Т. В. Бутько, В. М. Чеклова, Є. В. Чеклова, О. І. Шеховцов // Залізн. трансп. України. - 2008. - № 2. - С. 23-24.

44. Логинов М. В. На основе системного подхода / М. В. Логинов, М. Н. Букин // Ж.-д. трансп. - 2004. - №7. – С. 16-20.

45. Кравчук, В. В. Повышение безопасности движения поездов повышенной массы и длины / В.В. Кравчук, И. И. Доронина, Е. А. Харин // Вісник ДНУЗТ. - Дніпропетровськ, 2007. - Вип. 14. - С. 136-141.

46. Могила В. П. Влияние веса, длины и скорости грузовых поездов на безопасность движения / В. П. Могила // Ж.-д. трансп. - 2007. - №6. – С. 49-52.

47. Мугинштей Л. А. Техническое и эксплуатационное обеспечение движения тяжеловесных поездов / Л. А. Мугинштей // Железнодорожный транспорт. – 2005. - № 2. – С. 61-63.

48. Набойченко И. О. Возможности развития тяжеловесного движения на дороге / И.О. Набойченко // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 7.

49. David Forsyth. Longest freight train in the U.S. 3 джерела: <http://www.recordholders.org/en/news/news024.html>.

50. Левин Д. Ю. Оптимизация потоков поездов / Д. Ю. Левин – М.: Транспорт, 1998. – 175 с.
51. Дмитренко А. В. Организация поезной работы в условиях высокой грузонапряженности / А. В. Дмитренко - М.: Транспорт, 1985. – 40 с.
52. Быкадоров С. А. Управление затратами железных дорог в условиях информатизации отрасли : Дис. д-ра экон. наук : 08.00.05 : Москва, 2002.- 281 с.
53. Козлов В. Е. Влияние всплесков транспортного потока на пропускную способность железнодорожных линий / Межвузовский сборник научных работ ВНИИЖТа, вып.123 / В. Е. Козлов - М.: 1984. С. 4-23.
54. Сотников И. Б. Эксплуатация железных дорог в примерах и задачах / И. Б. Сотников - М.: Транспорт, 1990. – 232 с.
55. Волков В. А. Совершенствования эксплуатации железных дорог / Волков В. А., Левин Д. Ю., Лерман В. Д. – М.: 1984. – С. 80-87.
56. Нагорный Е. В. Моделирование технологического процесса обработки вагонов, информации и перевозочных документов экспортно-импортного вагонопотока по прибытию на передаточных пограничных станциях // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті / Нагорный Е. В., Бутько Т. В., Титов Н. Ф. - Міжвуз. зб. наук, праць / ХарДАЗТ, 1998. – Вип. 33. – С. 125-129.
57. Персианов В. А. Моделирование транспортных систем / Персианов В. А., Скалов К. Ю., Усков Н. С. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
58. Левин Д. Ю. Оптимизация перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Д. Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1985. – 57 с.
59. Шпакович Р. Ідентифікація параметрів моделі руху поїзда / Р. Шпакович // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". - Львів, 2008. - № 616 : Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 105-110.
60. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука / Р. Шеннон - М.: «Мир». 1978. – 414 с.

61. Персианов В. А. Системотехнические расчеты транспортных сооружений на ЭВМ методом моделирования / В. А. Персианов, Н. С. Усков // Труды Союз-дорНИИ, вып. 36. Балашиха, изд. ДорНИИпроекта (ротапринт), 1968.

62. Козлов Т. П. Курс общей теории статистики / Т. П. Козлов, В. Е. Овсиенко и др. – М.: Статистика, 1995.

63. Лещинский Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте / Е. Лещинский. Пер. с польск. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.

64. Шабалин И.Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях / И. Н. Шабалин // Железнодорожный транспорт. – 1971. – № 5. – С. 64-66.

65. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций / Е. А. Сотников – М.: Транспорт, 1979. – 239 с.

66. Железнодорожные станции и узлы промышленного транспорта: Учебник для ВУЗов / В.М. Акулиничев, Л.П. Колодий, Н.Г. Мищенко, В.А. Сидяков / Под ред. В.М. Акулиничева. – М.: Транспорт, 1986. – 352 с.

67. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов – М.: Транспорт, 1985. – 214 с.

68. Нагорный Е. В. Моделирование функционирования комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки " с помощью сетей Петри // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский - 2000. – № 2. – С. 98-103.

69. Нагорный Є. В. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу "Сортувальна станція – прилеглі ділянки" // 36. наук, праць ХарДАЗТ – Вип. 42. / Е. В. Нагорний, Е. С. Алешинский – 2000. – С. 51-57.

70. Нагорный Е. В. Экономико-математическая модель функционирования логистической цепи транспортного комплекса "Сортировочная станция - прилегающие участки". Часть 2. Методика

определения параметров целевой функции // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский – 2000. – №6. – С. 30-42.

71. Бобровский В. И. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно - диспетчерского персонала // Математичне моделювання / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора – 2004. – №6. – С. 17-21.

72. Бобровский В. И. Техничко-економическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора – 2000. – №6. – С. 30-42.

73. Поттгофф Г. Теория транспортных потоков / Г. Поттгофф - Берлин. На нем. яз., 618 с.

74. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

75. Сотников Е. А. История развития системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (отечественный и зарубежный опыт) / Е. А. Сотников, Д. Ю. Левин, Г. А. Алексеев - М.: Техинформ, 2007. – 237 с.

76. Visualizing Railroad Operations: A Tool for Planning and Monitoring Railroad Traffic , U.S. Department of Transportation. Administration Federal Railroad.

77. Berkeley Simulation Software, LLC <http://www.berkeleysimulation.com/> .

78. OpenTrack Railway Technology. 3 джерела: <http://www.opentrack.ch/opentrack/>
[opentrack_e/opentrack_e.html](http://www.opentrack_e/opentrack_e.html)

79. Railsim. 3 джерела: <http://www.railsim.com/>

80. CFlex Movement Planner. З джерела: <http://cflex.com.br/site/en/menu/products-and-services/movement-planner/>
81. Trainplan seminar maker. З джерела: <http://www.trainplan.de/>
82. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн. / За заг. ред, М. Ф.Дмитриченко. – К.: Знання України. 2005 - Кн. I: Основи теорії систем і управління / Е. В. Гаврилов. М. Ф.Дмитриченко, В. К. Доля та ін. – 344 с.
83. Орловський П. Н. Системный анализ (Основные понятия, принципы, методология) / П. Н. Орловський – Киев, 1996. – 281 с.
84. Давыдов Б. И. Подсистема информирования поездного диспетчера о потребленной энергии на тягу поездов / Информационные технологии на ж. д. транспорте: Аннотации докладов 5-й международной науч.-техн. конференции «Инфотранс-2000» / Б. И. Давыдов, С. В. Логинов, В. В. Шаталов - 2000. – С. 28-29.
85. Технологічний процес роботи Кримської дирекції залізничних перевезень Придніпровської залізниці.
86. Технологічний процес роботи Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень Придніпровської залізниці.
87. Правила технічної експлуатації залізниць України. – Київ, 2003.
88. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь — М.: Физматлит, 2006. – С. 457-458.
89. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: «Мир», 1966.
90. Зайченко Ю. П. Исследование операций: Учеб. пособие для студентов вузов / Ю. П. Зайченко – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Главное изд-во, 1979. – 392 с.
91. Деев В. В. Тяга поездов / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин – М.: Транспорт, 1989. – 264 с.
92. Афанасьев В. Н. Математическая теория конструирования систем управления / В. Н. Афанасьев – М.: Высш. Школа, 2003. – 614 с.

93. Банди Б. Основы линейного программирования / Б. Банди – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
94. Бобровский В.И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. Вип. 38. – Харків: ХарДАЗТ, 1999. – с. 35-42.
95. Буянов В. А. Жесткий график движения поездов в среде информационных технологий организации перевозок // Вестник ВНИИЖТ / В. А. Буянов, Н. В. Кондрахина – 2001. № 4. – С. 3 – 7.
96. Некрашевич В. И. Проблема адаптации графика движения грузовых поездов к колебаниям вагонопотоков // Вестник ВНИИЖТ / В. И. Некрашевич -2006. № 4. – С. 8-15.
97. Инструкция по организации поездной работы при отправлении грузовых поездов по твердым ниткам графика. Утв. ЦД 19.12.2005.53 с. ВНИИАС, м. Москва.
98. Мандрикова М.Е. Затраты на грузовые перевозки по участкам железных дорог. / Под ред. М.Е. Мандрикова. — М.: Транспорт. 1991. – 222 с.
99. Математическое моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте / Под ред. А. Б. Каплана – М.: Транспорт. 1984. – 256 с.
100. Музикіна Г. І. Аналіз величини обороту вантажного вагону // Тези 68 міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвуановська – Дніпропетровськ, 2008. – С. 49-50.
101. Савенко А. С. Экономическая эффективность контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна / А. С. Савенко, Г. І. Музыкина, П. В. Бех - 2005. – Вип. 9. – С. 226-228.

102. Музикіна Г. І. Проблема управління вантажними перевезеннями в умовах впливу економічних факторів // Вісник Академії митної служби України / Г. І. Музикіна, А. С. Савенко, П. В. Бех - 2005. - № 1 (25). – С. 51-57.
103. Левицкий, И.Е. Сроки доставки грузов, план формирования поездов и материальная ответственность / И.Е. Левицкий, // Транспорт: 36. наук. пр. №12 – Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. – 2002. – с.102-105.
104. Інструкція з визначення станційних і міжпоїзних інтервалів. – К.: Транспорт України, 2001.
105. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України. – К.: Транспорт України, 2001.
106. Державний комітет статистики. З джерела: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
107. Технологический процесс работы станции Джанкой. – Джанкой, 2008. – 180 с.
108. Технологический процесс работы станции Нижнеднепровск - Узел. – Д., 2010. – 202 с.
109. Інструкція з руху поїздів та маневрової роботи. – К.: Транспорт України, 1995.
110. Типовой технологический процесс работы сортировочной станции. - М.: Транспорт, 1988 г.
111. Козаченко Д. М. Компьютерний тренажер поїзного диспетчера / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, Ю. В. Чибісов // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXVI Міжнар. науково–практ. конф. – Д.: ДІТ, 2006. – С. 169–170.
112. Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, Ю.В. Чибісов . Звіт з науково-дослідної роботи «Розробка тренажера поїзного диспетчера», – 2006 р.
113. Мозолевич Г. Я. Дослідження експлуатаційної надійності витяжок формування / Г. Я. Мозолевич, С. В. Бондаренко // Науково-

технічний прогрес на залізничному транспорті: тези доп. 67 науково-техніч. конф. студентів та аспірантів. – Д.: ДПТ, 2007. – С. 71-72.

114. Козаченко Д.М. Розробка ергатичної моделі диспетчерської дільниці / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, Д. І. Вовк // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXVII Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДПТ, 2007. – С.131–132.

115. Козаченко Д. М. Дослідження впливу маси поїздів на роботу сортувальних станцій /Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: тези доп. IV Міжнар. науково-практ. конф. – К.: ДЕДУТ, 2008. – С. 132–133.

116. Мозолевич Г. Я. Дослідження впливу кількості вагонів у складі на показники роботи сортувальної станції / Г. Я. Мозолевич, Г. В. Лиска // Науково-технічний прогрес на залізничному транспорті: тези доп. 68 науково-техніч. конф. студентів та аспірантів. – Д.: ДПТ. – 2008. – С. 119.

117. Козаченко Д. М. Дослідження впливу параметрів поїздів на показники роботи сортувальної станції / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, Г. В. Лиска // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXVIII Міжнар. науково–практ. конф. – Д.: ДПТ, 2008. – С. 32.

118. Mozolevich G. Y. Research of Train Parameter Influence on Characteristics of Railroad Station Functioning / G. Y. Mozolevich, A. V. Lyska // Engineer of the 3-rd Millennium, student scientific conferens. – D. DNURT, 2008. – P. 54–55.

119. Мозолевич Г. Я. Дослідження способів формування та відправлення поїздів на показники роботи залізничних станцій та напрямів / Г. Я. Мозолевич // Вдосконалення експлуатаційної роботи: матеріали семінару. – Д.: ДПТ, 2009. – С. 45–49.

120. Мозолевич Г. Я. Дослідження впливу способів формування та відправлення поїздів на показники роботи залізничних станцій та напрямків / Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Науково-технічний прогрес на залізничному

транспорті: тези доп. 69 науково-техніч. конф. студентів та аспірантів. – Д.: ДІТ, 2009. – С. 90–91.

121. Козаченко Д. М. Дослідження організації руху поїздів на залізничному напрямку / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXIX Міжнар. науково–практ. конф. – Д.: ДІТ, 2009. – С. 78-79.

122. Мозолевич Г. Я. Аналіз впливу параметрів поїздів на експлуатаційні витрати по просуванню вагонопотоку на залізничному напрямку / Г. Я. Мозолевич, Г. В. Мураховська, Б. Р. Дяків // Проблеми економіки транспорту: тези доп. VIII міжнар. наук. конф. – Д.: ДНУЗТ, 2009. – С. 57.

123. Козаченко Д. М. Дослідження впливу організації руху поїздів на показники роботи залізничних станцій та напрямків // Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Интеграция Украины в международную транспортную систему: тези доп. I міжнар. научно-практ. конф. – Д.: ДНУЖТ, 2009. – С. 27–28.

124. Козаченко Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. LXX Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДІТ, 2010.

125. Мозолевич Г. Я. Розподілення сфер обслуговування між виробництвами, розташованими на лінії / Г. Я. Мозолевич, О. І. Петросенко // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте ЭКУЖТ 2010: тези доп. V міжнар. научно-практ. конф. – Д. ДНУЖТ, 2010. – С. 75–76.

126. Козаченко Д. М. Енергозбереження за рахунок розподілу поїздопотоків по паралельним ланкам залізничної мережі / Д. М. Козаченко Г. Я. Мозолевич // Энергосбережение на железнодорожном транспорте. 1-я Международная научно-практическая конференция. – Мисхор.: ДНУЖТ, 2010. – С. 7.

127. Мозолевич Г. Я. Системи керування рухом поїздів на залізницях України та світу / Г.Я. Мозолевич // Інноваційні технології на залізничному транспорті. – Красний Лиман. – 2010 р. – С. 86-87.

128. Козаченко Д. М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків методом векторної оптимізації / Д. М. Козаченко Г. Я. Мозолевич, О. І. Петросенко // Тези доп. 73 Міжнар. науково-техн. конф. кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн. – Харків.: УкрДАЗТ. –2011 р.

129. Козаченко Д. М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доп. LXXI Міжнар. науково-практ. конф. – Д.: ДІТ. – 2011 р. – С. 135-136.

130. Мозолевич Г. Я. Оцінка динаміки питомої вартості та структури вантажопотоків на залізницях України / Г. Я. Мозолевич, К. Ю. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. Тези доп. LXXI Міжнар. науково–практ. конф. – Д.: ДІТ. – 2011 р. – С. 141-142.

ДОДАТОК А

Техніко-експлуатаційна характеристика станцій напрямків

До складу двоколійного електрифікованого напрямку Д-М входить 11 роздільних пунктів (станцій і роз'їздів), у тому числі одна сортувальна станція, дві дільничні та 8 проміжних. Головною розпорядчою станцією є сортувальна станція Джанкой. Вона виконує роботу по формуванню, розформуванню поїздів на ряд напрямків. Для виконання сортувальної роботи станція обладнана сортувальною механізованою гіркою з пристроями ГАЦ.

На станції Джанкой є три послідовно розташовані парки:

- а) південний парк (12 колій) по своїй спеціалізації призначений:
- для прийому пасажирських, вантажних транзитних поїздів з переробкою і без переробки і відправлення їх на всі напрямки;
 - виставки сформованих поїздів із сортувального парку;
 - переформування пасажирських поїздів;
 - відчеплення і причеплення окремих пасажирських вагонів.
- б) Північний парк (8 колій) по своїй спеціалізації призначений:
- для прийому і відправлення пасажирських поїздів;
 - для пропуску вантажних поїздів;
 - для пропуску локомотивів, маневрових составів і для прийому, відправлення одиночних локомотивів і господарських поїздів;
 - для відстою вагонів, спеціального рухомого складу, електропоїздів, дефектоскопічних вагонів, стоянки пожежного і відбудовного поїздів.
- в) Сортувальний парк (24 колії) по своїй спеціалізації призначений:
- для накопичення вагонів;
 - формування і відправлення поїздів;
 - підбирання місцевих вагонів.

Станція виконує роботу по пропуску транзитного потоку без переробки; по пропуску пасажирських поїздів, по переробці вагонопотоку,

що надходить у розформування з усіх напрямків, по переробці місцевого вантажу.

Станція Новоолексіївка є дільничною II класу. Має дві головні колії і п'ять приймально-відправних. Корисна довжина приймально-відправних колій коливається в межах від 548 до 987 м або від 37 до 69 умовних вагони. Під обгін вантажні поїзди приймаються в основному на 3 та 5 колії довжиною 59 та 60 ум. ваг. відповідно.

Станція Мелітополь є дільничною із основним локомотивним депо. Основним її завданням на мережі залізниць є пропуск та обслуговування транзитного пасажирського та вантажного поїздопотоків кримського напрямку. Станція має три послідовно розташованих парки – Північний, Південний та пасажирський. Північний парк призначений для обробки парного вантажного поїздопотоків із зміною поїзних локомотивів. Південний парк станції М призначений для обслуговування непарного вантажного поїздопотоків. Пасажирський парк призначений для обслуговування пасажирських поїздів кримського напрямку.

До складу двоколійного електрифікованого напрямку Ч-II входить 32 роздільних пункти (станцій і роз'їздів), у тому числі 1 сортувальна станція, 4 дільничні, 7 вантажних, 2 пасажирських та 9 проміжних.

Основною станцією переробки вагонопотоків є станція Нижньодніпровськ-Вузол. Середньодобова переробка станції складає близько 4000 вагонів. Сортувальна станція складається з двох систем: парної та непарної, обслуговує і переробляє транзитні вагонопотоки із переробкою та без переробки. Має дві сортувальні гірки: великої та середньої потужності [34]. Сортувальні парки налічують 45 сортувальних колій.

Станція виконує роботу по пропуску транзитного потоку без переробки; по пропуску пасажирських поїздів; по переробці вагонопотоків, що надходить у розформування з усіх напрямків; по переробці місцевого вантажу.

Станції Верхівцеве, Чаплине та Синельникове-2 є дільничними I та II класу. Мають окрім головних колій 13, 11 та 7 приймально-відправних відповідно. Обладнані сортувальними гірками середньої та малої потужностей. Оборотні локомотивні депо .

Станція С-2 є дільничною II класу. Має 5 головних колій і 7 приймально-відправних. Обладнана сортувальною гіркою малої потужності. Станція С є дільничною III класу. Має 3 головних колії та 9 приймально-відправних. Станції Г, Б, Н є вантажними I класу. Мають 3, 2, 4 головних та 3, 10,9 приймально-відправних колії відповідно. Станції Б та Н обладнані гірками малої потужності. Станція І є вантажною II класу. Має 2 головних, 4 приймально-відправних колії загальною ємністю 231 ум. ваг. Станції Д, Вд, Вг є вантажними III класу. Мають 3, 3, 2 головних та 8, 5, 3 приймально-відправних колії відповідно. Станція Д є позакласною пасажирською станцією. Має 5 головних, 18 приймально-відправних колій. Обладнана гіркою малої потужності, має 6 сортувальних колій. Станція Дж-П є пасажирською II класу. Має 2 головних та 1 приймально-відправну колію. Вантажна робота на станції не виконується.

Колійний розвиток проміжних станцій використовується для обгону пасажирськими поїздами вантажних або пасажирськими – пасажирських менш швидкісних, а також на деяких станціях виконуються вантажні роботи.

ДОДАТОК Б

Фрагменти файлів з інформаційним масивом, що описує вхідний потік поїздів та моделювання напрямку слідування вагонів у составі

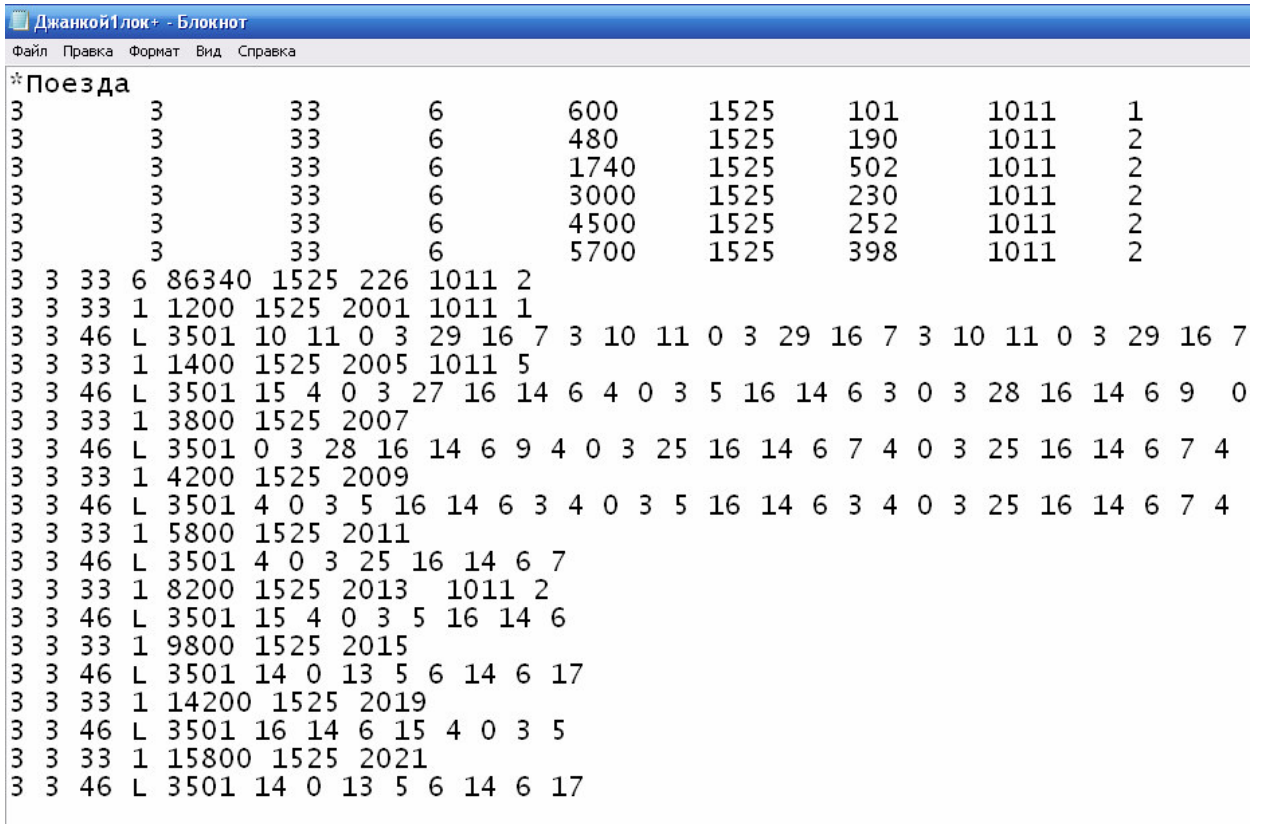


Рис. Б.1 – Інформаційний масив, що описує вхідний потік поїздів

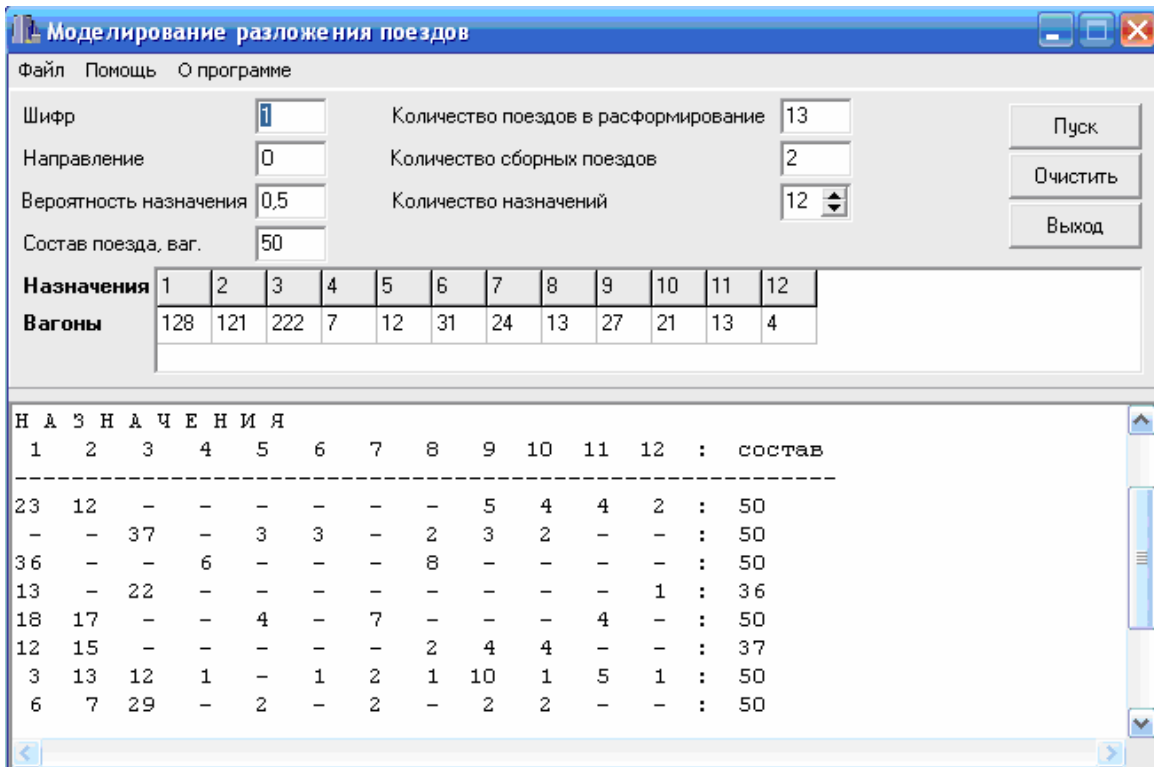


Рис. Б.2 – Моделювання напрямку слідування вагонів

ДОДАТОК В

Файли вихідних даних МТП залізничного напрямку

Кількість перегонів на напрямку

Довжина перегону

Час ходу пасажирського поїзда по перегону

Обмеження по швидкості

Момент початку дії обмеження по швидкості

Момент закінчення дії обмеження по швидкості

Route ID	Station	Length	Speed Limit	Start Time	End Time
26					
16900	Улянівка	12	0	0	0
20739	Письменна	14	0	0	0
17104	Роздори	12	0	0	0
6868	Вишнівецьке	5	0	0	0
8087	пост_239_км	6	0	0	0
2931	синельникове2	3	0	0	0
20444	Іларіонове	14	0	0	0
11149	Ігрень	8	0	0	0
8048	депо_н_д_вузол	6	0	0	0
2658	Нижньодніпровськ	3	0	0	0
3179	пост_Амур	3	0	0	0
2231	дніпропетровськ	2	50	0	1440
2474	Горятнове	3	50	0	1440
5640	дівка	5	50	0	1440
5786	пост_75_км	5	50	0	1440
3818	сухачівка	3	25	360	480
14589	Баглий	10	0	0	0
3017	дн-жинськ_пас	3	0	0	0
13007	Воскобійня	9	0	0	0
8751	Верхньодніпровськ	7	0	0	0
11816	Стрп1_Верх	9	0	0	0
4463	Стрп2_Верх	4	0	0	0
15096	Вільногірськ	11	0	0	0
8837	Залізнякове	7	55	0	1440
17937	п'ятихатки	13	55	0	1440
4579	п'ятихатки_Стикова	4	0	0	0

Рис. В.1 – Фрагмент файлу вихідних даних структури залізничного напрямку

Кількість пасажирських поїздів у непарному напрямку

Момент відправлення пасажирського поїзда з крайньої станції напрямку

Номер поїзда

Кількість вантажних поїздів в непарному напрямку

Номер поїзда

Passenger Trains	Train Number	Freight Trains	Train Number
3			
5	51		
15	7		
45	45		
4			
234	2231		
244	1141		
612	2201		
700	2208		
4			
1144			
3426			
2306			
2207			
3			
10	8		
34	56		
67	202		

Рис. В.2 – Фрагмент файлу вихідних даних заявок на обслуговування

ДОДАТОК Г

**Фрагмент результатів моделювання руху окремого поїзда на напрямку
Запоріжжя - Джанкой**

роздільний пункт	координата	план - профіль				розрахунок руху				енергетика	
		кінц. (м)	ухил	R кривої (м)	V макс. (км/год)	V (км/год)	шлях (м)	час (с)	стан	струм (А)	Темпе- ратура (°С)
назва	поч. (м)										
476003, Запоріжжя-1	178794	0	0	0	0	0	8221	7,58		14,41259	0
000026, Запоріжжя-1 Вант.п.	180355	0	0	0	0	0	1561	2,37		38,8702	0
462104, Кушугум	187640	0	0	0	0	0	7285	8,74		278,003	0
462053, Канкринівка	196917	0	0	0	0	0	9277	7,42		378,6237	0
461807, Плавні	207964	0	0	0	0	0	11047	9,39		417,1651	0
461900, Таврійськ	226084	0	0	0	0	0	18120	15,12		748,6386	0
461737, Бурчацьк	236647	0	0	0	0	0	10563	12,45		743,5888	0
461703, Пришиб	246995	0	0	0	0	0	10348	8,78		475,6172	0
461600, Плодородна	257566	0	0	0	0	0	10571	8,29		242,2072	0
476304, Федорівка	268215	0	0	0	0	0	10649	9,28		328,5776	0
476107, Обільна	283503	0	0	0	0	0	15288	13,18		452,4252	0
000025, Мелітополь Північний	289755	0	0	0	0	0	6252	5,72		97,34199	0
476003, Мелітополь	290929	0	0	0	0	0	1174	1,82		50,99426	0
000028, Мелітополь Півд.	291755	0	0	0	0	0	826	1,24		14,38214	0
475918, Ташенак	302811	0	0	0	0	0	11056	10,15		329,7871	0
475903, Якимівка	318332	0	0	0	0	0	15521	14,01		558,9688	0
475803, Сокологірне	344052	0	0	0	0	0	25720	23,80		1036,558	0
475706, Партизани	368418	0	0	0	0	0	24366	20,39		842,3625	0
475405, Новоолексіївка	382113	0	0	0	0	0	13695	11,96		533,7459	0
475354, Салькове	388657	0	0	0	0	0	6544	6,26		234,3879	0
475301, Сиваш	414620	0	0	0	0	0	25963	22,86		904,9448	0
475212, Солоне Озеро	424555	0	0	0	0	0	9935	9,60		447,4472	0
470030, Мамут	434253	0	0	0	0	0	9698	8,84		425,3516	0
Пл. 1370 км	442355	0	0	0	0	0	4000	3,54		156,6997	0
	442355	442396	0	0	70	66,10	442355	24616,77	Холостий хід	0	61,13
	442396	442446	0	2050	70	66,35	442396	24619,00	Холостий хід	0	61,08
	442446	442474	0	2050	70	66,62	442446	24621,70	Холостий хід	0	61,05
	442474	442524	9,3	2050	70	66,75	442474	24623,21	Холостий хід	0	61,01
	442524	442535	9,3	2050	70	66,95	442524	24625,91	Холостий хід	0	61,00
	442535	442585	9,3	0	70	66,97	442535	24626,50	Холостий хід	0	60,95
	442585	442635	9,3	0	70	67,05	442585	24629,18	Тяга; Позиція: П-ОП2	954,5595	60,95
	442635	442674	9,3	0	70	67,28	442635	24631,86	Тяга; Позиція: П-ОП2	947,04122	60,95

	442674	442724	11,6	0	70	67,38	442674	24633,95	Тяга; Позиція: П-ОП2	943,99574	60,94
	442724	442774	11,6	0	70	67,43	442724	24636,62	Тяга; Позиція: П-ОП2	942,29736	60,94
	442774	442824	11,6	0	70	67,37	442774	24639,29	Тяга; Позиція: П-ОП2	944,15682	60,94
	442824	442872	11,6	0	70	67,21	442824	24641,97	Тяга; Позиція: П-ОП2	949,34784	60,94
	442872	442874	11,6	4000	70	66,98	442872	24644,54	Тяга; Позиція: П-ОП2	956,78942	60,94
	442874	442887	2,8	4000	70	66,96	442874	24644,65	Тяга; Позиція: П-ОП2	957,18287	60,94
	442887	442937	2,8	0	70	66,88	442887	24645,35	Тяга; Позиція: П-ОП2	959,85861	60,94
	442937	442951	2,8	0	70	66,54	442937	24648,05	Тяга; Позиція: П-ОП2	970,8012	60,94
	442951	443001	2,8	-800	70	66,44	442951	24648,81	Тяга; Позиція: П-ОП2	973,81427	60,94
	443001	443019	2,8	-800	70	66,10	443001	24651,52	Тяга; Позиція: П-ОП2	984,82439	60,94
	443019	443069	2,8	0	70	65,96	443019	24652,50	Тяга; Позиція: П-ОП2	989,26461	60,94
	443069	443109	2,8	0	70	65,56	443069	24655,24	Тяга; Позиція: П-ОП2	1001,9616	60,94
	443109	443159	0	0	70	65,23	443109	24657,44	Тяга; Позиція: П-ОП2	1012,7586	60,95
	443159	443209	0	0	70	64,80	443159	24660,21	Тяга; Позиція: П-ОП2	1026,5107	60,95
	443209	443259	0	0	70	64,35	443209	24663,00	Тяга; Позиція: П-ОП2	1040,7846	60,96
	443259	443299	0	0	70	63,91	443259	24665,80	Тяга; Позиція: П-ОП2	1054,9417	60,97
	443299	443349	0	3000	70	63,57	443299	24668,06	Тяга; Позиція: П-ОП2	1065,7828	60,98
	443349	443355	0	3000	70	63,13	443349	24670,91	Тяга; Позиція: П-ОП2	1079,6955	60,98
	443355	443382	0,7	3000	70	63,08	443355	24671,25	Тяга; Позиція: П-ОП2	1081,2846	60,98
	443382	443432	0,7	0	70	62,86	443382	24672,79	Тяга; Позиція: П-ОП3	1120	61,00
	443432	443482	0,7	0	70	62,57	443432	24675,66	Тяга; Позиція: П-ОП3	1120	61,01
	443482	443532	0,7	0	70	62,33	443482	24678,54	Тяга; Позиція: П-ОП3	1120	61,03
	443532	443553	0,7	0	70	62,15	443532	24681,44	Тяга; Позиція: П-ОП3	1120	61,03
470007, Джанкой	443553	0	0	0	0	0	9300	8,67		356,7775	0

ДОДАТОК Д

Результати пошуку залежностей часу ходу вантажного поїзда по перегону від маси составу і довжини перегону в програмі *REGRESS*

1) $y=b_0 + b_1*x_1 + b_2*x_2$;

$b_0=-0.8596875028 \quad b_1= 0.0001272369 \quad b_2= 0.0008707543$;

Dост=0.69119368;

2) $y=x_1*x_2/(b_0 + b_1*x_1 + b_2*x_2)$;

$b_0=971574.4406960401 \quad b_1=1013.2639022830 \quad b_2= 0.0394602770$;

Dост=0.80186564;

3) $y=b_0 * x_1^{b_1} * x_2^{b_2}$;

$b_0= 0.0003776305 \quad b_1= 0.1380096195 \quad b_2= 0.9587952591$;

Dост=0.86620088;

4) $y=\exp(b_0+b_1 \ln(x_1)+b_2 \ln(x_2))$;

$b_0=-7.8815942749 \quad b_1= 0.1380096195 \quad b_2= 0.9587952591$;

Dост=0.86620088;

5) $y=b_0 + b_1*x_1^{0.5} + b_2*x_2^{0.5}$;

$b_0=-9.5286114463 \quad b_1= 0.0259291289 \quad b_2= 0.1691100672$;

Dост=1.34128812.

ДОДАТОК Е

Вихідні файли для моделі технічної станції

1 1 1 35 Стр #зони
1 1 2 35 Парк #прийома Пд
1 1 3 35 Сортувальний парк С
1 1 4 35 Парк #відправлення О
1 1 5 35 Стр #зони
1 3 0 60 101 - Прийом із Мамута
1 3 0 60 102 - Прийом із Отрадного
1 3 0 60 105 - Прийом із Богемки
1 3 0 60 106 - Прийом із 10-го Рз

1 2 1 20 201 - Стрілочна зона №1
1 2 1 20 202 - Стрілочна зона №2

1 2 0 20 1 - Головна 1
1 2 0 20 2 - Головна 2

1 2 2 20 50 - ПТО
1 2 2 20 55 - ПКО
1 2 2 20 70 - Сигналіст

1 2 2 20 11 5 Приймальна №5Пд
1 2 2 20 12 6 Приймальна №6Пд
1 2 2 20 13 7 Приймальна №7Пд
1 2 2 20 14 8 Приймальна №8Пд
1 2 2 20 15 9 Приймальна №9Пд
1 2 2 20 16 10 Приймальна №10Пд
1 2 2 20 17 11 Приймальна №11Пд
1 2 2 20 18 12 Приймальна №12Пд

1 2 0 20 26 - Гірка
1 2 0 20 60 - Гірочний локомотив 1

1 2 3 40 341 11 Сортувальна №11
1 2 3 40 340 12 Сортувальна №12
1 2 3 40 339 13 Сортувальна №13
1 2 3 40 338 14 Сортувальна №14
1 2 3 40 337 15 Сортувальна №15
1 2 3 40 336 16 Сортувальна №16
1 2 3 40 335 17 Сортувальна №17
1 2 3 40 334 18 Сортувальна №18

1 2 3 40 333 19 Сортувальна №21
1 2 3 40 332 20 Сортувальна №22
1 2 3 40 331 21 Сортувальна №23
1 2 3 40 330 22 Сортувальна №24
1 2 3 40 329 23 Сортувальна №25
1 2 3 40 328 24 Сортувальна №26
1 2 3 40 327 25 Сортувальна №27
1 2 3 40 326 26 Сортувальна №28

3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	12	7	10	3	1	2	18	7	0	0	0
3	3	33	1	61800	1525	2113	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	7	11	4	5	0	9	10	14	0	0	0
3	3	33	1	65400	1525	2115	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	8	5	0	4	0	9	21	13	0	0	0
3	3	33	1	70800	1525	2117	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	0	16	11	3	0	4	15	10	0	0	0
3	3	33	1	80340	1525	2119	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	16	5	10	2	0	7	14	6	0	0	0
3	3	33	1	81000	1525	2121	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	9	4	2	1	0	6	20	18	0	0	0
3	3	33	1	89220	1525	2101	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	3	15	12	3	3	1	0	10	13	0	0	0
3	3	33	1	90660	1525	2103	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	2	16	3	3	3	1	10	12	10	0	0	0
3	3	33	1	101280	1525	2105	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	2	11	16	7	6	0	8	2	8	0	0	0
3	3	33	1	107340	1525	2107	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	11	9	10	7	1	9	5	8	0	0	0
3	3	33	1	109620	1525	2109	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	1	8	16	11	5	0	14	0	5	0	0	0
3	3	33	1	112740	1525	2111	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	12	7	10	3	1	2	18	7	0	0	0
3	3	33	1	123240	1525	2113	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	7	11	4	5	0	9	10	14	0	0	0
3	3	33	1	129480	1525	2115	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	8	5	0	4	0	9	21	13	0	0	0
3	3	33	1	145680	1525	2117	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	0	16	11	3	0	4	15	10	0	0	0
3	3	33	1	150720	1525	2119	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	16	5	10	2	0	7	14	6	0	0	0
3	3	33	1	153000	1525	2121	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	9	4	2	1	0	6	20	18	0	0	0
3	3	33	1	161160	1525	2101	1011	1												
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	3	15	12	3	3	1	0	10	13	0	0	0

3	3	46	L	3501	13 11 13	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 3 5 4 0
3	3	33	1	36900	1525	2218 1011 2
3	3	46	L	3501	9 10 22	0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 1 3 4 5 2
3	3	33	1	55200	1525	2220 1011 2
3	3	46	L	3501	8 8 15	0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 1 1 3 2 0
3	3	33	1	58500	1525	2222 1011 2
3	3	46	L	3501	1 2 54	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 1 0 0
3	3	33	1	60480	1525	2202 1011 2
3	3	46	L	3501	0 21 28	1 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 2 3 1 2
3	3	33	1	87480	1525	2204 1011 2
3	3	46	L	3501	14 17 9	2 0 0 0 0 0 0 0 2 5 3 2 2 2 2
3	3	33	1	95820	1525	2206 1011 2
3	3	46	L	3501	23 16	0 2 0 0 0 0 0 0 0 3 4 4 0 5 3 0
3	3	33	1	102960	1525	2208 1011 2
3	3	46	L	3501	17 15 14	0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 3 4 0 4 0 1
3	3	33	1	108720	1525	2210 1011 2
3	3	46	L	3501	22 11 16	0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 5 2 0 0 0 2
3	3	33	1	115740	1525	2212 1011 2
3	3	46	L	3501	15 0 35	1 0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 4 3
3	3	33	1	118860	1525	2214 1011 2
3	3	46	L	3501	6 10 16	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 2 2 0 0 1
3	3	33	1	120180	1525	2216 1011 2
3	3	46	L	3501	13 11 13	1 0 0 0 0 0 0 0 0 5 5 3 5 4 0
3	3	33	1	123600	1525	2218 1011 2
3	3	46	L	3501	9 10 22	0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 1 3 4 5 2
3	3	33	1	127620	1525	2220 1011 2
3	3	46	L	3501	8 8 15	0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 1 1 3 2 0
3	3	33	1	146940	1525	2222 1011 2
3	3	46	L	3501	1 2 54	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 1 0 0
3	3	33	1	157860	1525	2202 1011 2
3	3	46	L	3501	0 21 28	1 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 2 3 1 2
3	3	33	1	170940	1525	2204 1011 2
3	3	46	L	3501	14 17 9	2 0 0 0 0 0 0 0 2 5 3 2 2 2 2
3	3	33	1	176040	1525	2206 1011 2
3	3	46	L	3501	23 16	0 2 0 0 0 0 0 0 0 3 4 4 0 5 3 0

3	3	46	L	3501	0	22	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	16
3	3	33	1	97560	1525	2307	1011	5													
3	3	46	L	3501	14	5	23	0	0	5	9	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	33	1	107880	1525	2309	1011	5													
3	3	46	L	3501	11	7	25	0	4	2	3	1	0	0	0	0	0	0	1	2	4
3	3	33	1	120060	1525	2311	1011	5													
3	3	46	L	3501	12	7	19	0	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	3	7	4
3	3	33	1	122880	1525	2313	1011	5													
3	3	46	L	3501	14	2	9	0	3	1	10	0	0	0	0	0	0	0	1	14	6
3	3	33	1	137760	1525	2301	1011	5													
3	3	46	L	3501	0	20	0	2	4	0	0	3	2	0	0	0	0	0	5	10	14
3	3	33	1	144900	1525	2303	1011	5													
3	3	46	L	3501	10	10	13	0	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	3	1	2
3	3	33	1	154140	1525	2305	1011	5													
3	3	46	L	3501	0	22	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	16
3	3	33	1	211020	1525	2307	1011	5													
3	3	46	L	3501	14	5	23	0	0	5	9	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	33	1	211620	1525	2309	1011	5													
3	3	46	L	3501	11	7	25	0	4	2	3	1	0	0	0	0	0	0	1	2	4
3	3	33	1	227280	1525	2311	1011	5													
3	3	46	L	3501	12	7	19	0	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	3	7	4
3	3	33	1	241500	1525	2313	1011	5													
3	3	46	L	3501	14	2	9	0	3	1	10	0	0	0	0	0	0	0	1	14	6
3	3	33	1	15180	1525	2402	1011	6													
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	7	5	16	7	7	2	4	6	6	0	0	0	0
3	3	33	1	68520	1525	2404	1011	6													
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	13	9	2	4	0	1	3	5	0	0	0	0
3	3	33	1	71100	1525	2406	1011	6													
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	6	0	18	9	0	1	6	4	16	0	0	0	0
3	3	33	1	81900	1525	2408	1011	6													
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	1	14	8	4	8	0	0	0	3	0	0	0	0
3	3	33	1	96240	1525	2402	1011	6													
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	7	5	16	7	7	2	4	6	6	0	0	0	0
3	3	33	1	107580	1525	2404	1011	6													
3	3	46	L	3501	0	0	0	0	0	13	9	2	4	0	1	3	5	0	0	0	0

```

3    3    33    1    167940 1525  2406  1011  6
3    3    46    L    3501   0 0 0 0 6 0 18 9 0 1 6 4 16 0 0 0

3    3    33    1    204660 1525  2408  1011  6
3    3    46    L    3501   0 0 0 0 1 14 8 4 8 0 0 0 3 0 0 0

3    3    33    1    211980 1525  2402  1011  6
3    3    46    L    3501   0 0 0 0 7 5 16 7 7 2 4 6 6 0 0 0

3    3    33    1    230580 1525  2404  1011  6
3    3    46    L    3501   0 0 0 0 0 13 9 2 4 0 1 3 5 0 0 0

3    3    33    1    240840 1525  2406  1011  6
3    3    46    L    3501   0 0 0 0 6 0 18 9 0 1 6 4 16 0 0 0

3    3    33    1    257220 1525  2408  1011  6
3    3    46    L    3501   0 0 0 0 1 14 8 4 8 0 0 0 3 0 0 0
4 1 (get 1525)
4 3 (get 1525)
4 4 (get 1525)
4 2 лок
4 5 лок

```

Определения

Определение

1 Стрелочная зона 1

Определение

2 Путь приема

Определение

3 Бригада ПТО

Определение

4 Локомотив

Определение

5 Горка

Определение

6 Главный путь

Определение

7 Сигналист

Определение

8 Бригада ПКО

Определение

9 Локомотив формирования

Определение

10 Путь отправления

Определение

11 Сигналист ПО

Определение

12 Ходовой путь

Определение

13 ПТО отправления

Определение

14 Автоматчик
 Определение
 15 Стрелочная зона 2
 Определение
 16 Стрелочная зона 3
 Определение
 17 Стрелочная зона 4
 Определение
 18 ПКО отправление
 Определение
 19 Главный путь 2
 Определение
 201 Начать заезд
 Определение
 202 Поезд расформирован
 Определение
 203 Начать перестановку
 Определение
 204 Начать возврат в СП

Показатели

Показатель

1 Обработано поездов в парке приема -
 поезд

(com 3 42 COUNTOBJ 1)

Показатель

2 Простой в парке приема -
 ваг*ч

(/ (com 3 42 НАКОPL 1) 60)

Показатель

3 Средний простой вагона в парке приема -
 ч

(/ (com 3 42 NORMNAKOPL 1) 60)

Исполнители

Исполнитель

201

Название

Стрелочная зона 1

Специализация

1

Исполнитель

11

Название

Путь 1

Специализация

2

Исполнитель

12

Название
Путь 2
Специализация
2
Исполнитель
13
Название
Путь 3
Специализация
2
Исполнитель
14
Название
Путь 4
Специализация
2
Исполнитель
15
Название
Путь 5
Специализация
2
Исполнитель
50
Название
Бригада ПТО
Специализация
3
Исполнитель
60
Название
МЛ1
Специализация
4
Исполнитель
26
Название
Горка
Специализация
5
Исполнитель
1
Название
ГП 1
Специализация
6
Исполнитель
2
Название
ГП 2
Специализация
19
Исполнитель

70
Название
Сигналист
Специализация
7
Исполнитель
55
Название
Бригада ПКО
Специализация
8
Исполнитель
80
Название
ЛФ1
Специализация
9
Исполнитель
91
Название
ПО 3
Специализация
10
Исполнитель
92
Название
ПО 4
Специализация
10
Исполнитель
93
Название
ПО 5
Специализация
10
Исполнитель
94
Название
ПО 6
Специализация
10
Исполнитель
95
Название
ПО 7
Специализация
10
Исполнитель
75
Название
Сигалист ПО
Специализация
11

Исполнитель
99
Название
Ходовой путь
Специализация
12
Исполнитель
53
Название
ПТО Отпр 1
Специализация
13
Исполнитель
150
Название
Автоматчик
Специализация
14
Исполнитель
202
Название
Стрелочная зона 2
Специализация
15
Исполнитель
203
Название
Стрелочная зона 3
Специализация
16
Исполнитель
204
Название
Стрелочная зона 4
Специализация
17
Исполнитель
90
Название
ПО 2
Специализация
10
Исполнитель
96
Название
ПО 8
Специализация
10
Исполнитель
97
Название
ПО 10
Специализация

10
 Исполнитель
 98
 Название
 ПО 11
 Специализация

10
 Исполнитель
 16

Название
 Путь 6
 Специализация
 2

Исполнитель
 17

Название
 Путь 7
 Специализация
 2

Исполнитель
 57

Название
 ПКО отправления
 Специализация
 18

Исполнитель
 54

Название
 ПТО Отпр 2
 Специализация
 13

Работы

Работа

3

Содержание

Технический осмотр

Время

(ПТО 50 8 3 (get 1526))

опНачата

(func 4)

опЗакончена

(func 5)

Исполнитель

3 1 0

Работа

7

Содержание

Роспуск

Время

(* (get 1526) 9)

опНачата

(func 8)

опЗакончена

(func 9)

Исполнитель

5 1 0

Работа

8

Содержание

Отправление пассажирского поезда

Время

300

Исполнитель

1 1 0

Исполнитель

6 1 0

Работа

10

Содержание

Уборка

Время

120

опНачата

(func 18)

опЗакончена

(func 19)

Исполнитель

7 1 0

Исполнитель

4 0 0

Работа

1

Содержание

Прием поезда Игрень

Время

300

опНачата

(func 1)

опЗакончена

(func 2)

Исполнитель

1 1 0

Исполнитель

2 0 0 15

Работа

2

Содержание

Закрепление

Время
 120
 onНачата
 (func 18)
 onЗакончена
 (func 19)
 Исполнитель
 7 1 0

Работа
 4
 Содержание
 Комерческий осмотр
 Время
 (+ (* (get 1526) (+ 12 (* (RNDZ) 2))) 30)
 onНачата
 (func 24)
 onЗакончена
 (func 25)
 Исполнитель
 8 1 0

Работа
 9
 Содержание
 Заезд
 Время
 300
 onНачата
 (func 10)
 onЗакончена
 (func 11)
 Исполнитель
 4 1 0
 Исполнитель
 2 1 0

Работа
 5
 Содержание
 Уборка
 Время
 120
 onНачата
 (func 20)
 onЗакончена
 (func 21)
 Исполнитель
 7 1 0
 Исполнитель
 4 0 0

Работа

6
 Содержание
 Надвиг
 Время
 (+ 109 (* 3 (get 1526)))
 onНачата
 (func 6)
 onЗакончена
 (func 7)

Работа
 11
 Содержание
 Есть состав
 Время
 0

Работа
 12
 Содержание
 Состав не накоплен
 Время
 0

Работа
 13
 Содержание
 Окончание формирования
 Время
 600
 onНачата
 (func 40)
 Исполнитель
 9 0 0

Работа
 15
 Содержание
 Перестановка
 Время
 600
 onНачата
 (func 39)
 onЗакончена
 (func 38)
 Исполнитель
 10 0 0 90 91 92 93 94

Работа
 16
 Содержание
 Закрепление ПО
 Время

120
 onНачата
 (func 41)
 onЗакончена
 (func 42)
 Исполнитель
 11 1 0

Работа
 14
 Содержание
 Возврат в СП
 Время
 300
 onНачата
 (func 43)
 onЗакончена
 (func 44)
 Исполнитель
 9 1 0
 Исполнитель
 12 1 0

Работа
 17
 Содержание
 ТО отпрافل
 Время
 (ПТО 70 8 3 (get 1526))
 onНачата
 (func 46)
 onЗакончена
 (func 47)
 Исполнитель
 13 1 0

Работа
 18
 Содержание
 Уборка ПО
 Время
 120
 onНачата
 (func 48)
 onЗакончена
 (func 49)
 Исполнитель
 11 1 0

Работа
 19
 Содержание
 Проба тормозов

Время
 600
 onНачата
 (func 50)
 onЗакончена
 (func 51)
 Исполнитель
 14 1 0

Работа
 20
 Содержание
 Из Игрени, на Нижний
 Время
 0
 Условие
 (= (get 1011) 1)

Работа
 22
 Содержание
 Из Самаровки, на Южный
 Время
 0
 Условие
 (= (get 1011) 2)

Работа
 23
 Содержание
 Прием поезда Самаровка
 Время
 300
 onНачата
 (func 52)
 onЗакончена
 (func 53)
 Исполнитель
 15 1 0
 Исполнитель
 2 0 0 15

Работа
 24
 Содержание
 Отправление Нижний
 Время
 300
 onНачата
 (func 54)
 onЗакончена
 (func 55)
 Исполнитель

16 1 0
 Исполнитель
 10 1 0
 Исполнитель
 15 1 0

Работа
 25
 Содержание
 Отправление Южный
 Время
 300
 onНачата
 (func 56)
 onЗакончена
 (func 57)
 Исполнитель
 17 1 0
 Исполнитель
 10 1 0

Работа
 26
 Содержание
 КО отправление
 Время
 (+ (* (get 1526) (+ 12 (* (RNDZ) 2))) 30)
 onНачата
 (func 59)
 onЗакончена
 (func 60)
 Исполнитель
 18 1 0

Работа
 27
 Содержание
 Прием пасс поезда Самаровка
 Время
 180
 onНачата
 (func 71)
 onЗакончена
 (func 72)
 Исполнитель
 15 1 0
 Исполнитель
 19 0 0
 Исполнитель
 16 0 0

Работа
 28

Содержание

Прием пасс поезда Игрень

Время

180

опНачата

(func 61)

опЗакончена

(func 62)

Исполнитель

1 1 0

Исполнитель

6 0 0 15

Исполнитель

17 0 0 15

Работа

29

Содержание

Отправление Нижний (1)

Время

180

опНачата

(func 70)

опЗакончена

(func 67)

Исполнитель

16 1 0

Исполнитель

19 1 0

Работа

30

Содержание

Отправление пасс на Южный (2)

Время

180

опНачата

(func 69)

опЗакончена

(func 68)

Исполнитель

17 1 0

Исполнитель

6 1 0

Работа

31

Содержание

Занятие главного пути 1

Время

300

опНачата

(func 63)

опЗакончена

(func 64)

Исполнитель

6 1 0

Исполнитель

17 1 0

Работа

32

Содержание

Занятие главного пути 2

Время

300

опНачата

(func 73)

опЗакончена

(func 74)

Исполнитель

19 1 0

Исполнитель

16 1 0

Работа

33

Содержание

Из 5 на Дж

Время

0

Условие

(= (get 1011) 5)

Работа

34

Содержание

Из 6, на Дж

Время

0

Условие

(= (get 1011) 6)

Функции

Функция

1 Начало приема

(com 10 0 1 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 1 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

2 Конец приема

(com 10 1 1 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(write 1 (get 1525) (time))

Функция

3 Конец приема на пути

```
(com 10 1 1 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)
(com 10 0 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))
(com 3 40 1 (TIME) (obj) (get 1526))
```

Функция

4 Начало ПТО

```
(com 10 0 11 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))
(com 10 0 11 (obj) (execid 3) (int (/ (TIME) 60)))
(com 10 1 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)
```

Функция

5 Конец ПТО

```
(com 10 1 11 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
(com 10 1 11 (obj) (execid 3) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
(com 10 0 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))
```

Функция

6 Начало надвига

```
(com 10 1 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)
(com 10 0 9 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))
(com 10 0 9 (obj) (execid 4) (int (/ (TIME) 60)))
```

Функция

7 Конец надвига

```
(com 10 1 9 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
(com 10 1 9 (obj) (execid 4) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
```

Функция

8 Начало отпуска

```
(com 10 0 10 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))
(com 10 0 10 (obj) (execid 4) (int (/ (TIME) 60)))
(com 10 0 10 (obj) (execid 5) (int (/ (TIME) 60)))
```

Функция

9 Конец отпуска

```
(com 10 1 10 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
(com 10 1 10 (obj) (execid 4) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
(com 10 1 10 (obj) (execid 5) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
(com 3 40 1 (TIME) (obj) (get 1526))
(userfunc BREAKUPTRAIN (obj) 3501 23 3 1501 1502 202)
(write 2 (get 1525) (time))
```

Функция

10 Начало заезда

```
(com 10 0 2 1 (execid 4) (int (/ (TIME) 60)))
(com 10 0 2 1 (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))
```

Функция

11 Конец заезда

```
(com 10 1 2 1 (execid 4) (int (/ (TIME) 60)) 1)
(com 10 1 2 1 (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 1)
```

Функция

12 Начать заезд

(note 1 (com 3 6 2))

(com 3 23 (obj) 4 (mem 1))

(com 3 23 (obj) 2 (mem 1))

(com 3 5 (mem 1) 201 1)

Функция

13 Добавить нитку на график

(com 10 0 13 (obj) (int (+ (get 1011) 100)) (int (- (/ (get 2020) 60) 10)))

(com 10 1 13 (obj) (int (+ (get 1011) 100)) (int (+ (/ (get 2020) 60) 5)) 3 (get 1525))

Функция

14 Начало приема пасс

(com 10 0 1 (obj) (execid 6) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 1 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

15 Конец приема пас

(com 10 1 1 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 1 1 (obj) (execid 6) (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 0 3 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 3 (obj) (execid 6) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

16 Отправление пас

(com 10 1 3 (obj) (mem 2) (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

17 Добавить нитку пасс на график

(com 10 0 13 (obj) 101 (int (- (/ (get 2020) 60) 10)))

(com 10 1 13 (obj) 101 (int (+ (/ (get 2020) 60) 5)) 2 (get 1525))

Функция

18 Начало закрепления

(com 10 0 17 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 17 (obj) (execid 7) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 1 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

19 Конец закрепления

(com 10 1 17 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 1 17 (obj) (execid 7) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 0 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

20 Начало уборки

(com 10 0 17 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 17 (obj) (execid 7) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 1 16 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 0 17 (obj) (execid 4) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

21 Конец уборки

(com 10 1 17 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 1 17 (obj) (execid 7) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 1 17 (obj) (execid 4) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

23 Пути сортировочного парка

(return 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341)

Функция

24 Начало ПКО

(com 10 0 11 (obj) (execid 8) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

25 Конец ПКО

(com 10 1 11 (obj) (execid 8) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))

Функция

30 Проверка числа вагонов на пути

(not (= (get 1502) 0))

Функция

31 Добавить вагоны

(set 1504 (int (/ (TIME) 60)))

(if (> (get 1526) 0) (com 10 1 19 (obj) (get 1501) (get 1504) 3 (get 1526) (get 1502)) (true))

(set 1526 (+ (get 1526) (get 1502)))

(set 1502 0)

Функция

32 Добавить вагоны во время формирования

(set 1526 (+ (get 1526) (get 1502)))

(set 1502 0)

Функция

33 Нет состава

(< (get 1526) (get 1503))

Функция

34 Есть состав

(not (func 33))

Функция

35 Начальное состояние на пути

(if (= (get 1526) 0) (true) (com 10 0 19 (obj) (get 1501) (get 1504) 3 (get 1526)))

Функция

36 Накоплен состав

(set 1502 -(get 1503))

(true (func 31))

(com 10 0 16 (obj) (get 1501) (int (/ (TIME) 60)))

(set 1525 (com 3 1 1001))

(com 3 2 1001 (+ (get 1525) 2))

Функция

37 Формирование закончено

(set 1504 (int (/ (TIME) 60)))

(func 35)

(com 10 1 20 (obj) (get 1501) (get 1504) 3 (get 1526) (get 1526))

(com 10 1 20 (obj) (execid 9) (get 1504) 3)

(note 1 (com 3 6 4))

(com 3 23 (obj) 9 (mem 1))

(com 3 5 (mem 1) 1525 (get 1525))

(com 3 5 (mem 1) 1011 (if (in (get 1501) 326 or 328 or 327 or 329 or 330 or 331 or 332 or 333 or 334) 2 1))

(com 3 5 (mem 1) 203 1)

Функция

38 Перестановка закончена

(com 10 1 4 (obj) (execid 9) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 1 4 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 0 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))

(write 3 (get 1525) (time))

Функция

39 Перестановка начата

(com 10 0 4 (obj) (execid 9) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 4 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

40 Формирование начато

(com 10 0 4 (obj) (execid 9) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 1 16 (obj) (get 1501) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 0 20 (obj) (get 1501) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 20 (obj) (execid 9) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

41 Начало закрепления ПО

(com 10 0 17 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 17 (obj) (execid 11) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 1 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 0 17 (obj) (execid 9) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

42 Конец закрепления ПО

(com 10 1 17 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 1 17 (obj) (execid 11) (int (/ (TIME) 60)) 3)

(com 10 0 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 1 17 (obj) (execid 9) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

43 Начало возврата

(com 10 0 2 1 (execid 9) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 2 1 (execid 12) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

44 Конец возврата

(com 10 1 2 1 (execid 9) (int (/ (TIME) 60)) 1)
 (com 10 1 2 1 (execid 12) (int (/ (TIME) 60)) 1)

Функция

45 Начать возврат
 (note 1 (com 3 6 5))
 (com 3 23 (obj) 9 (mem 1))
 (com 3 5 (mem 1) 204 1)

Функция

46 Начало ПТО отпр
 (com 10 0 11 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 11 (obj) (execid 13) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 1 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

47 Конец ПТО отпр
 (com 10 1 11 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
 (com 10 1 11 (obj) (execid 13) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))
 (com 10 0 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

48 Начало уборки
 (com 10 0 17 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 17 (obj) (execid 11) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 1 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

49 Конец уборки
 (com 10 1 17 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 1 17 (obj) (execid 11) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 0 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

50 Начало пробы
 (com 10 0 18 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 18 (obj) (execid 14) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 1 16 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

51 Конец пробы
 (com 10 1 18 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 1 18 (obj) (execid 14) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

52 Начало приема Самаровка
 (com 10 0 1 (obj) (execid 15) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 1 (obj) (execid 2) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

53 Конец приема Самаровка
 (com 10 1 1 (obj) (execid 15) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (write 1 (get 1525) (time))

Функция

54 Начало отправления Нижний
 (com 10 0 3 (obj) (execid 16) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 3 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 3 (obj) (execid 15) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

55 Конец отправления Нижний
 (com 10 1 3 (obj) (execid 16) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 1 3 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 1 3 (obj) (execid 6) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 1 3 (obj) (execid 15) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

56 Начало отправления Южный
 (com 10 0 3 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 3 (obj) (execid 17) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

57 Конец отправления Южный
 (com 10 1 3 (obj) (execid 10) (int (/ (TIME) 60)) 3)
 (com 10 1 3 (obj) (execid 17) (int (/ (TIME) 60)) 3)

Функция

58 Добавить нитку на график
 (com 10 0 13 (obj) (int (+ (get 1011) 102)) (int (- (int (/ (TIME) 60)) 5)))
 (com 10 1 13 (obj) (int (+ (get 1011) 102)) (int (+ (int (/ (TIME) 60)) 10)) 3 (get 1525))
 (write 4 (get 1525) (time))

Функция

59 Начало ПКО отпр
 (com 10 0 11 (obj) (execid 18) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

60 Конец ПКО отпр
 (com 10 1 11 (obj) (execid 18) (int (/ (TIME) 60)) 3 (get 1525))

Функция

61 Начало приема пасс
 (com 10 0 1 (obj) 1 (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 1 (obj) 1 (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 1 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

62 Конец приема пасс
 (com 10 1 1 (obj) (execid 1) (int (/ (TIME) 60)) 2)
 (com 10 1 1 (obj) 1 (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

63 Занятия главного пути пасс
 (com 10 0 17 (obj) 1 (int (/ (TIME) 60)))
 (com 10 0 17 (obj) (execid 17) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

64 Конец занятия главного пути пасс

(com 10 1 17 (obj) 1 (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 1 17 (obj) (execid 17) (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

65 Добавить пасс нитку на график

(com 10 0 13 (obj) (int (+ (get 1011) 100)) (int (- (/ (get 2020) 60) 5)))

(com 10 1 13 (obj) (int (+ (get 1011) 100)) (int (+ (/ (get 2020) 60) 5)) 2 (get 1525))

Функция

66 Отправл пасс на 2 нитка на график

(com 10 0 13 (obj) 104 (int (- (int (/ (TIME) 60)) 5)))

(com 10 1 13 (obj) 104 (int (+ (int (/ (TIME) 60)) 6)) 2 (get 1525))

Функция

71 Начало приема пасс 2

(com 10 0 1 (obj) 202 (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 1 (obj) 2 (int (/ (TIME) 60)))

Функция

72 Конец приема пасс 2

(com 10 1 1 (obj) 202 (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 1 1 (obj) 2 (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

73 Занятия главного пути пасс

(com 10 0 17 (obj) (execid 19) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 17 (obj) (execid 16) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

74 Конец занятия главного пути пасс

(com 10 1 17 (obj) (execid 19) (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 1 17 (obj) (execid 16) (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

76 Отправл пасс на 1 нитка на график

(com 10 0 13 (obj) 103 (int (- (int (/ (TIME) 60)) 5)))

(com 10 1 13 (obj) 103 (int (+ (int (/ (TIME) 60)) 6)) 2 (get 1525))

Функция

67 Конец отправления Нижний пасс

(com 10 1 3 (obj) (execid 16) (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 1 3 (obj) (execid 19) (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

68 Конец отправления Южный пасс

(com 10 1 3 (obj) (execid 6) (int (/ (TIME) 60)) 2)

(com 10 1 3 (obj) (execid 17) (int (/ (TIME) 60)) 2)

Функция

78 Запись в протокол 2

(write 4 (get 1525) (time))

Функция

77 Запись в протокол 1

(write 4 (get 1525) (time))

Функция

69 Начало отправления на Южный пасс

(com 10 0 3 (obj) (execid 6) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 3 (obj) (execid 17) (int (/ (TIME) 60)))

Функция

70 Начало отправления на Нижний пасс

(com 10 0 3 (obj) (execid 16) (int (/ (TIME) 60)))

(com 10 0 3 (obj) (execid 19) (int (/ (TIME) 60)))

Объекты

*-----

Объект

1 Разборка

Параметр

1525 2001 Номер поезда

Параметр

1526 65 Число вагонов

Параметр

3501 0 Разложение поезда

Параметр

1011 1 Подход из которого прибывает

Состояние

0 120 20

0 0 9 0 19 1 32 47 0 65 0 0

- 24 13 0

Состояние

1 173 249 Прием Иг
1 0 2 3 19 1 35 45 36 -21 0 0

Состояние

3 433 120 ПТО, ПКО

3 0 4 0 19 1 27 -53 16 -1 0 0

4 0 5 0 39 1 27 45 5 0 0 0

Состояние

7 744 66 Надвиг

6 0 8 0 19 1 10 0 11 0 0 0

- 4 6 1 17 7 2

Состояние

8 839 66 Роспуск

7 0 9999 12 19 1 18 44 0 77 1 0

Состояние

9999 844 187

Состояние

2 333 253 Закр

2	0	3	0	19	1	5	-68	11	-65	0	0
Состояние											
6	650	66	Уборка								
5	0	7	0	19	1	12	0	9	0	0	0
Состояние											
4	547	66	ПКО								
4	0	6	0	19	1	13	0	9	0	0	0
Состояние											
5	548	185	ПТО								
3	0	6	0	19	1	13	0	8	-99	0	0
Состояние											
9	197	132	Подход								
22	0	10	0	19	1	-12	-16	9	-38	0	0
20	0	1	0	39	0	-47	110	13	-13	0	0
33	0	1	0	59	0	0	107	56	-10	1	0
34	0	10	0	39	1	10	10	28	-64	0	0
Состояние											
10	315	78	Прием Сам								
23	0	2	3	19	1	-22	123	-54	52	0	0

*-----

Объект											
2 Маневровый локомотив											
Состояние											
0	197	76									
0	0	1	0	19	1	10	43	76	-10	0	0
Состояние											
1	363	109									
201	0	2	10	19	1	10	-13	101	13	0	0
Состояние											
2	560	109									
9	0	9999	0	19	1	10	41	67	-10	0	0
Состояние											
9999	717	140									

*-----

Объект											
3 Накапливаемый состав											
Параметр											
1501 0 Номер пути											
Параметр											
1525 0 Номер формируемого поезда											
Параметр											
1526 0 Число вагонов на пути											
Параметр											
1502 0 Добавляемое число вагонов											
Параметр											
1503 65 Норма по накоплению											
Параметр											
1504 0 Момент изменения числа вагонов											
Состояние											
0	192	157									
0	0	1	0	19	1	10	40	42	-10	0	0

-	3	35	0								
Состояние											
1	324	187	Расформ								
202	30	2	31	19	1	10	43	80	-10	0	0
Состояние											
2	494	220	Пров ваг								
202	30	S	32	19	1	0	0	0	0	0	0
11	34	3	36	39	1	10	0	66	-22	0	0
12	33	1	35	59	1	10	33	-267	-66	0	0
Состояние											
3	650	218	Ок форм								
202	30	S	32	19	1	0	0	0	0	0	0
13	0	1	37	39	1	10	78	-443	-109	0	0
*-----											
Объект											
4 Состав своего формирования											
Параметр											
1525 2001 Номер поезда											
Параметр											
1526 65 Число вагонов											
Параметр											
1011 1 Подход на который отправляется поезд											
Состояние											
0	124	20									
0	0	1	0	19	1	23	9	28	-9	0	0
Состояние											
1	256	20	Сформирован								
203	0	2	0	19	1	15	60	-132	40	1	0
Состояние											
2	122	120	Перест								
15	0	3	0	39	1	11	14	15	-30	0	0
Состояние											
3	253	124	Закр								
16	0	4	45	19	1	23	8	19	-8	0	0
Состояние											
4	379	124	ПТО								
26	0	10	0	19	1	10	-60	112	78	0	0
17	0	11	0	39	1	10	-9	26	45	0	0
Состояние											
5	120	218	Уборка башм								
18	0	6	0	19	0	-25	84	126	10	0	0
Состояние											
6	238	312	Проба								
19	0	7	0	19	1	22	6	19	-9	0	0
Состояние											
7	375	309	Выбор напр								
20	0	8	0	39	0	-17	56	7	34	0	0
22	0	9	0	19	1	11	8	83	24	0	0
Состояние											
8	374	419	Отпр Нижний								
24	0	9999	58	19	1	11	6	181	11	0	0
Состояние											

9	546	341	Отпр Южн									
25	0	9999	58	19	1	13	53	98	22	0	0	
Состояние												
9999	737	416										
Состояние												
10	588	142										
17	0	5	0	19	1	10	120	-442	-24	1	0	
Состояние												
11	496	180										
26	0	5	0	39	0	-10	26	-286	-8	1	0	

*-----

Объект

5 Локомотив формирования

Состояние

0 226 157

0 0 1 0 19 1 10 43 53 -10 0 0

Состояние

1 369 190 Отцеплен

204 0 2 0 19 1 10 12 57 -10 0 0

Состояние

2 530 192 Возврат

14 0 9999 0 19 1 10 41 42 -10 0 0

Состояние

9999 662 223

Состояние

3 120 110

*-----

Объект

6 Пасс поезд

Параметр

1011 2

Параметр

1525 22

Состояние

0 222 116

0 0 1 0 19 1 10 112 39 32 0 0

- 24 65 0

Состояние

1 321 240 Подход

20 0 3 0 19 0 -45 136 13 -33 1 0

22 0 2 0 19 1 -25 1 69 -97 0 0

Состояние

2 448 144 Прием из 2

27 0 4 0 19 1 10 10 19 -5 0 0

Состояние

3 310 343 Прием из 1

28 0 5 0 39 1 11 40 99 -54 0 0

Состояние

4 559 149 Занятие главного пути

32 0 6 0 19 1 12 10 45 -10 0 0

Состояние

5	510	349	Занятие главного пути								
31	0	7	0	19	1	10	15	71	-10	0	0
Состояние											
6	696	149	Отпр на 1								
29	0	9999	76	19	1	10	76	68	3	0	0
Состояние											
7	671	354	Отпр на 2								
30	0	9999	66	19	1	10	10	93	-116	0	0
Состояние											
9999	847	228									

*-----

Объект

7 Объект 7

Команды

com 3 3 1001 2302

com 3 6 3 1501 322 1526 16

com 3 6 3 1501 323 1526 11

com 3 6 3 1501 324 1526 34

com 3 6 3 1501 325 1526 25

com 3 6 3 1501 326 1526 55

com 3 6 3 1501 327 1526 4

com 3 6 3 1501 328 1526 55

com 3 6 3 1501 329 1526 3

com 3 6 3 1501 330 1526 17

com 3 6 3 1501 331 1526 26

com 3 6 3 1501 332 1526 32

com 3 6 3 1501 333 1526 3

com 3 6 3 1501 334 1526 40

com 3 6 3 1501 335 1526 26

com 3 6 3 1501 336 1526 7

com 3 6 3 1501 337 1526 46

com 3 6 3 1501 338 1526 51

com 3 6 3 1501 339 1526 2

com 3 6 3 1501 340 1526 28

com 3 6 3 1501 341 1526 16

ДОДАТОК Є

Блок-схема алгоритму програми автоматизованого розрахунку показників технічних станцій «temp» та фрагмент протоколу результатів роботи моделі технічної станції

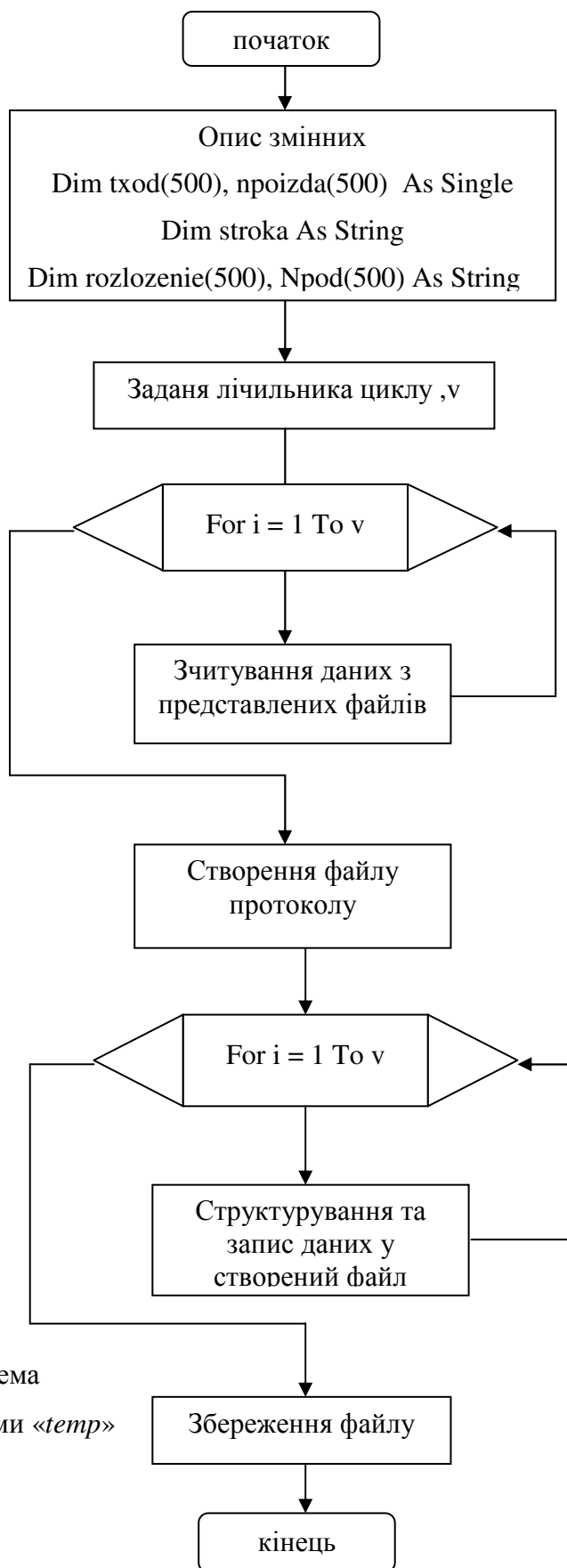
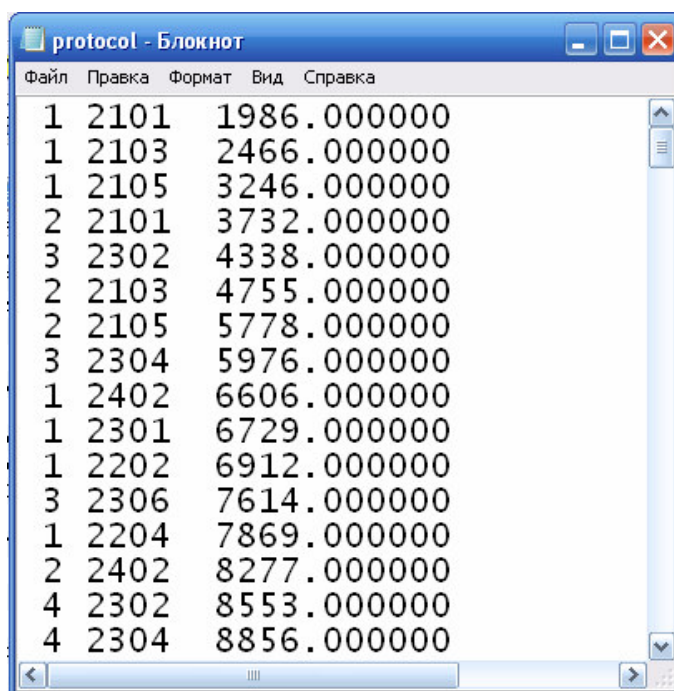


Рис. Є.1 – Блок-схема алгоритму програми «temp»



The image shows a screenshot of a Notepad window titled "protocol - Блокнот". The window contains a list of data points, each consisting of three columns: a number, a code, and a numerical value. The data is as follows:

1	2101	1986.000000
1	2103	2466.000000
1	2105	3246.000000
2	2101	3732.000000
3	2302	4338.000000
2	2103	4755.000000
2	2105	5778.000000
3	2304	5976.000000
1	2402	6606.000000
1	2301	6729.000000
1	2202	6912.000000
3	2306	7614.000000
1	2204	7869.000000
2	2402	8277.000000
4	2302	8553.000000
4	2304	8856.000000

Рис. С.2 – Фрагмент протоколу результатів роботи моделі технічної станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Головного
управління перевезень
Державної адміністрації
залізничного транспорту України

В.С. Алейник

« 27 » квітня 2011 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи старшого викладача кафедри
Станцій та вузлів Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Мозолеви́ча Григорі́я Яковича

на тему «Підвищення ефективності процесу перевезень за рахунок
визначення раціональних параметрів поїздопотоків»

Головним управлінням перевезень Державної адміністрації залізничного транспорту України розглянуто методи, моделі та програмне забезпечення, які розроблені в дисертаційній роботі старшого викладача кафедри станцій та вузлів Мозолеви́ча Григорі́я Яковича.

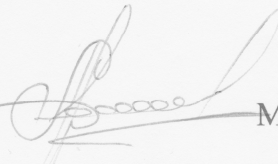
У 2008 році за замовленням Державної адміністрації залізничного транспорту України Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконував науково-дослідну роботу на тему: “Аналіз вагонопотоків та розробка рекомендацій до нормативу з уніфікації маси та довжини поїздів на основних напрямках залізниць України”, в якій Мозолеви́ч Г.Я. був відповідальним виконавцем. В рамках цієї роботи виконані дослідження впливу параметрів поїздопотоків на показники роботи технічних станцій та напрямків, зміни структури та обсягів поїздопотоків у часі, визначення раціональних параметрів маси та довжини поїздів на основних залізничних напрямках.

В дисертації розроблений метод визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках, що на відміну від існуючих – оснований на натуральних показниках, враховує витрати клієнтів залізниць

на закупівлю та зберігання вантажів, витрати, що пов'язані із параметрами поїздопотоків, а також зміну обсягів та структури вантажопотоків, і за рахунок цього дозволяє скоротити загальні витрати учасників перевізного процесу у логістичному ланцюгу вантажопотоків.

Результати дисертаційної роботи Мозолеви́ча Григорія Яковича прийняті до впровадження на технічних станціях Укрзалізниці, в технологічних процесах дирекцій залізничних перевезень для підвищення ефективності процесу перевезень за рахунок вибору раціональних параметрів поїздопотоків.

Головний інженер Головного
управління перевезень
Державної адміністрації
залізничного транспорту України



М.Й. Семенюк

ЗАТВЕРДЖУЮ

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


Г. М. Пшінько
« 01 » березня 2011 р.

ДОВІДКА

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

Мозолевича Григорія Яковича

Цей документ складений про те, що у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці спеціалістів та магістрів зі спеціальності 8.100403 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті»:

- при виконанні дипломних магістерських робіт та дипломних проектів;
- при проведенні занять з дисциплін „Основи теорії систем та управління”, „Основи теорії транспортних процесів та систем”, «Методики оптимізації техніко-технологічних параметрів залізничних станцій» використовуються теоретичні результати дисертації

Використання програмного комплексу імітаційних моделей технічних станцій та залізничних напрямків дозволяє отримати студентам навички роботи по оцінці техніко-експлуатаційних показників залізниць.

/ Декан факультету
«Управління процесами перевезень»,
к. т. н., доцент

Г. І. Переста

Завідувач кафедри
Станцій та вузлів,
д.т.н., професор

В. І. Бобровський