

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра Транспортні вузли

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ /М. І. Березовий/

«_____» _____ 20____р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **27 Транспорт**

Спеціальність **275 Транспортні технології (за видами)**

Спеціалізація **275.02 Транспортні технології на залізничному транспорті**

Тема **Визначення раціональних техніко-технологічних параметрів залізничних станцій на основі імітаційного моделювання їх роботи**

Theme **Determination of rational technical and technological parameters of the railway stations on the basis of simulation modeling of their work**

Керівник дипломної роботи

доц. _____ В. В. Малашкін

Нормоконтролер

доц. _____ В. В. Малашкін

Студент групи УЗ1921

_____ Р. О. Недогарський

Student

Nedoharskyi Roman

Дніпро – 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Факультет Управління процесами перевезень Кафедра «Транспортні вузли»

Спеціальність 275 «Транспортні технології (за видами)»

Спеціалізація 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

_____ / М. І. Березовий /
(підпис)

2020 р. _____ «_____»

ЗАВДАННЯ

до дипломного проекту (роботи) на здобуття освітнього ступеня «магістр»
(рівень вищої освіти)

отримав студент групи У31921 Недогарський Роман Олександрович
(номер групи) (ПІБ)

1 Тема дипломного проекту (роботи): Визначення раціональних техніко-технологічних параметрів залізничних станцій на основі імітаційного моделювання їх роботи

затверджена наказом по університету від « 02 » березня 2020 р. № 130ст

2 Термін подання студентом закінченого проекту (роботи): « 06 » грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до дипломного проекту (роботи): схема станції, технологічний процес роботи станції; техніко-розпорядчий акт станції; дані про обсяги роботи станції; результати хронометражу тривалості технологічних операцій

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки):
(див. календарний план)

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу):

5.1. Креслення: план сортувальної станції К

5.2. Слайди презентації: структура функціональної моделі залізничної станції; інформаційна модель станції; параметри вхідного потоку поїздів; параметри системи обслуговування; перевірка адекватності моделі станції; вибір ефективних техніко-технологічних параметрів сортувальної станції

6 Розділи та консультанти:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання	Обсяг розділу, %
1. Проблеми підвищення ефективності функціонування залізничних станцій та шляхи їх вирішення	строк 1	10
2. Техніко-експлуатаційна характеристика сортувальної станції та аналіз технологічного процесу роботи з вантажними поїздами	строк 1	8
3. Функціональна ергатична модель залізничної станції	строк 2	20
4. Ідентифікація ергатичної моделі сортувальної станції	строк 2	25
5. Оцінка адекватності імітаційної моделі сортувальної станції	строк 2	10
6. Дослідження та визначення ефективних техніко-технологічних параметрів сортувальної станції	строк 3	15
7. Безпека праці працівників сортувальної станції та дії у аварійній ситуації	строк 3	12
Всього		100

Дата видачі завдання: « 07 » вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис)

Малашкін В. В.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Недогарський Р. О.

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається з реферату, змісту, переліку умовних позначок, символів, скорочень та термінів, вступу, 6 основних розділів (викладених на 87 сторінках основного тексту, які містять 21 рисунок, 10 таблиць), висновків, чотирьох додатків на 9 сторінках, переліку посилань з 76 найменувань та 8 листів. Повний обсяг роботи складає 113 сторінок.

Об'єктом дослідження є процес функціонування залізничних станцій.

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі науково обґрунтованих методів комплексної оцінки їх технічного забезпечення та технології роботи.

Методи дослідження: математична статистика, кореляційний аналіз, регресійний аналіз, теорія графів, теорія скінчених автоматів, сітьове планування та управління, імітаційне моделювання.

В роботі виконано аналіз наукових робіт стосовно проблеми підвищення ефективності функціонування залізничних станцій та методів імітаційного моделювання їх роботи. Виконана техніко-експлуатаційна характеристика роботи сортувальної станції К. Розглянуто декілька варіантів удосконалення колійного розвитку вказаної станції та технології обробки поїздів у розформування. Для оцінки ефективності запропонованих проектних рішень використана ергатична модель залізничних станцій. В роботі розглянуто її структуру, виконано її ідентифікацію та перевірено адекватність імітаційної моделі. За результатами імітаційного моделювання визначено економічний ефект від впровадження ефективного варіанту проектного рішення.

Галуззю застосування результатів дипломної роботи є залізничні станції мережі залізниць України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАЛІЗНИЧНА СТАНЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ, КОЛІЙНИЙ РОЗВИТОК, ТЕХНОЛОГІЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ	
ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ	9
1.1 Напрямки підвищення ефективності функціонування залізничних	
станцій	9
1.2 Проблеми оцінки залізничних станцій.....	11
1.3 Аналіз методів функціонального моделювання залізничних станцій.....	15
1.4 Постановка задачі дипломної роботи.....	30
2 ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТУВАЛЬНОЇ	
СТАНЦІЇ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ З	
ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ.....	31
2.1 Технічна характеристика станції.....	31
2.2 Технологія роботи з транзитними поїздами	34
2.3 Технологія роботи з поїздами, що надходять у розформування	36
2.4 Технологія роботи з поїздами свого формування	39
2.5 Технологія обробки документів у технічній конторі	40
3 ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕРГАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ ...	43
3.1 Загальні принципи побудови функціональної моделі.....	43
3.2 Структура функціональної ергатичної моделі станції	45
4 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЕРГАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ .	58
4.1 Визначення параметрів вхідного потоку заявок.....	58
4.2 Визначення параметрів поїздів, що прибувають на станцію.....	61

	Зам. Інв. №										
	Підпис	Дата	0042.150280.ДР.2020.000								
	Зм.	Арк.	Недок	Підпис	Дата	Визначення раціональних техніко-технологічних параметрів залізничних станцій на основі імітаційного моделювання їх роботи			Стадія	Аркуш	Аркушів
Інв. № ор.	Розробив	Недогарський							Н	4	119
	Керівник	Малашкін							ДНУЗТ		
	Н. контр	Березовий									

	5
4.3 Визначення параметрів системи обслуговування	62
5 ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ.....	67
6 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНІКО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ	72
6.1 Імітаційне моделювання роботи станції з використанням ергатичної моделі.....	72
6.2 Методика економічної оцінки варіантів технічного оснащення і технології роботи станції.....	75
6.3 Визначення раціональної конструкції та ефективної технології роботи станції	78
7 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРАЦІВНИКІВ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ТА ДІЇ У АВАРІЙНІЙ СИТУАЦІЇ.....	82
7.1 Загальні положення.....	82
7.2 Умови і порядок допуску працівників сортувальної станції К до самостійної роботи.....	83
7.3 Характеристика основних небезпечних та шкідливих факторів	86
7.4 Охорона праці складача поїздів під час виконання робіт на сортувальній станції К.....	86
7.5 Безпека праці робітників під час виконання навантажувально- розвантажувальних робіт на вантажному районі	91
7.6 Особливості локалізації та ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами на станції К.....	92
ВИСНОВКИ	95
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	97
ДОДАТОК А ВИХІДНІ ДАНІ.....	106
ДОДАТОК Б РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ ІНТЕРВАЛУ ПРИБУТТЯ ПОЇЗДІВ.....	110
Б.1. Аналіз інтервалів прибуття поїздів з напрямку А.....	110
Б.2. Аналіз інтервалів прибуття поїздів з напрямку В	111

ДОДАТОК В РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	113
ДОДАТОК Г ПЕРЕЛІК МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ.....	114
ДОДАТОК Д ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	119

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ГМПР – геометрична модель плану колійного розвитку

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ІМ – інформаційна модель

ІС – ізольована секція

ЛД – людина диспетчер

ЛСА – логічна схема алгоритмів

МЗД – модель заняття колійних ділянок

МКП – модель керування переміщенням рухомого складу

МКР – модель колійного розвитку

МТП – модель технологічного процесу станції

ОВМ – особа, що виконує моделювання

ОДП – оперативно-диспетчерський персонал

ПТО – пункт технічного огляду

СА – скінчений автомат

СМО – система масового обслуговування

СТЦ – станційний технологічний центр

ТП – технологічний процес

ФМС – функціональна модель станції

ВСТУП

В умовах жорсткої конкуренції з іншими видами транспорту перед залізницями постає складна задача постійної підтримки ринкової привабливості за рахунок підвищення якості транспортного обслуговування та зменшення його вартості. Залізничні станції є одним з основних елементів в системі організації перевізного процесу, тому рішення поставленої задачі потребує реалізації ефективних заходів, направлених на комплексне удосконалення їх роботи.

Від чіткої та злагодженої роботи залізничних станцій залежить досить багато у виробничій діяльності дирекцій, залізниць та Укрзалізниці в цілому. В першу чергу, це забезпечення безперешкодного пропуску, підвищення транзитності вагонопотоків, прискорення обігу вагонів. Згідно з [1] потрібно удосконалювати існуючі та створювати нові технології роботи залізничних станцій. В цьому зв'язку підвищення ефективності функціонування залізничних станцій представляє собою важливу науково-практичну задачу.

Об'єктом дослідження є процес функціонування залізничних станцій.

Предметом досліджень є вплив конструкції та технології роботи залізничних станцій на техніко-експлуатаційні та техніко-економічні показники їх функціонування.

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі науково обґрунтованих методів комплексної оцінки їх технічного забезпечення та технології роботи.

В роботі розглядаються актуальні питання техніко-економічного управління залізничними станціями з метою використання раціонального технічного оснащення і технології обслуговування вантажних поїздів. Для досягнення мети використовується метод імітаційного моделювання процесу функціонування сортувальної станції за допомогою ЕОМ.

1 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

1.1 Напрямки підвищення ефективності функціонування залізничних станцій

Становлення і подальше впровадження ринкових відносин на залізничному транспорті України, сучасна кон'юнктура транспортного ринку вимагають нового підходу до організації перевізного процесу. Для підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту доцільним є проведення заходів, спрямованих на поліпшення організації роботи галузі. У цьому зв'язку Державною програмою реформування залізничного транспорту [1] передбачений ряд заходів, спрямованих на приведення технічного оснащення залізниць у відповідність із новими умовами роботи. Так, серед основних напрямків розвитку залізничного транспорту слід виділити наступні:

- модернізація транспортної системи і підвищення ефективності її функціонування;
- задоволення потреби національної економіки і населення в перевезеннях, підвищення якості і доступності транспортних послуг;
- забезпечення своєчасності доставки вантажів;
- удосконалення системи керування галуззю транспорту;
- збільшення пропускної здатності транспортної мережі;
- підвищення рівня безпеки на транспорті;
- зменшення обсягів викидів шкідливих речовин в атмосферу;
- зменшення енергоємності залізничного транспорту;
- прискорення темпів інтеграції вітчизняної транспортної системи в європейську і світову транспортні системи.

Залізничні станції є одним з головних елементів транспортної інфраструктури країни. У сучасних економічних умовах одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є

мінімізація часу перебування вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускної і переробної спроможності для погашення пікових навантажень. З іншого боку, потрібно мінімізувати власні витрати станцій, скорочуючи надлишковий технічний потенціал.

Відомо, що ефективність і безпека функціонування залізничних станцій залежить як від рівня їх технічного оснащення так і від технології роботи. Тому при плануванні заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування станцій, необхідно застосовувати системний підхід, який передбачає рішення задачі комплексного вдосконалювання конструкції і технології залізничних станцій.

Зараз на мережі залізниць України є більш 1,5 тисяч станцій і спорудження нових є економічно не доцільним. Тому слід розробити захід щодо удосконалення конструкції і технології роботи існуючих станцій. Серед таких заходів можна виділити реконструктивні, спрямовані на зміну конструкції станцій, і організаційні, які припускають удосконалення технологічного процесу станції. Необхідність перебудови станції або удосконалення технології її роботи може бути викликана різними причинами, такими як зміна обсягів і структури транспортних потоків, електрифікація ліній на підходах, організація швидкісного руху, спорудження других головних колій, примикання нових під'їзних колій тощо. Кількість варіантів для подальшого порівняння і оцінки може бути в деяких випадках досить значною. Тому при виборі конкурентних варіантів велике значення має вже накопичений інженерами-проектувальниками практичний досвід, що допомагає відібрати лише ті варіанти, які найбільше повно і ефективно відповідають поставленому завданню. У якості критерію для оцінки кожного з можливих варіантів найчастіше використовують приведені витрати, пов'язані з реалізацією комплексу заходів, які відповідають варіанту. Цей показник є найбільш універсальним, але разом з тим не враховує багатьох факторів, що суттєво впливають на вибір варіанта (забезпечення безпеки руху, охорона праці і ін.).

Вибір найбільш раціонального комплексу реконструктивних або організаційних заходів для кожної конкретної станції представляє досить складне завдання внаслідок неможливості проведення експериментів на реальних об'єктах для оцінки можливих варіантів. При оцінці того або іншого варіанта необхідно спрогнозувати показники роботи станції після впровадження передбаченого цим варіантом комплексу заходів. При цьому складність технологічних процесів функціонування залізничних станцій не дозволяє використання для цих цілей прямих аналітичних залежностей виду $Y=f(X)$. Крім того, необхідно враховувати, що на показники функціонування станцій суттєво впливає система диспетчерського керування, тобто ОДП станцій. Існуючі ж аналітичні методи визначення показників роботи станцій не враховують у достатній мірі взаємодію і взаємний вплив окремих елементів станції, стохастичний характер роботи залізниць, діяльність диспетчерського персоналу і можуть використовуватися лише для наближених розрахунків. Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій у різних умовах, прогнозування їх техніко-технологічних та економічних параметрів є математичні і імітаційні моделі, які в комбінації із сучасними засобами обчислювальної техніки є потужним інструментом для дослідження технічного забезпечення станцій і удосконалення технології їх роботи.

Для рішення поставленої задачі комплексного удосконалення залізничних станцій необхідне створення системи інтегрованих математичних моделей, які могли б використовуватися для синтезу, аналізу і техніко-економічної оцінки ефективності функціонування станцій у різних умовах роботи. У цьому зв'язку в даному розділі виконано всебічний аналіз робіт, присвячених проблемам оцінки техніко-технологічних параметрів станцій на основі методів їх моделювання.

1.2 Проблеми оцінки залізничних станцій

Залізнична станція являє собою складний виробничо-технічний комплекс. Для функціонування таких інфраструктурних комплексів характерним є багатоваріантність проектних, технологічних та управлінських рішень. При

плануванні реконструктивних та організаційно-технічних заходів, спрямованих на удосконалення технічного забезпечення і технології роботи залізничних станцій, постає задача отримання достовірної оцінки показників її функціонування після реалізації проекту. Вибір найбільш раціонального варіанту реконструктивних або організаційних заходів для станції являє собою дуже складну задачу внаслідок неможливості проведення експериментів на реальних об'єктах чи їх фізичних моделях. У зв'язку з цим для забезпечення раціонального проектування та експлуатації станцій транспортною наукою розробляються методи для аналізу і оцінки їх роботи в різних умовах. Критерії та методи оцінки станцій суттєво пов'язані з рівнем розвитку залізничного транспорту та задачами, які ставилися перед залізничними станціями.

Основним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних і економічних параметрів є математичне моделювання станційних процесів. Традиційно розв'язання цієї задачі базуються на використанні аналітичних, графічних та імітаційних моделей.

Перші дослідження з моделювання станційних процесів були виконані академіком В.М. Образцовим, які базувалися на аналітичному моделюванні [2]. При моделюванні використовується стандартний математичний апарат теорії масового обслуговування в якому залізничні станції, чи їх окремі технологічні комплекси розглядаються як системи масового обслуговування (СМО). Визначення характеристик СМО (середня кількість заявок у системі, середня кількість заявок у черзі, середній час перебування заявок у системі, середній час перебування заявок у черзі та ін.) виконується за допомогою аналітичних залежностей теорії масового обслуговування.

Так, наприклад, у роботі І.Б. Сотникова [3] для основних станційних процесів запропоновано відповідні функції. При цьому якісні особливості внутрішньої структури і вплив випадкових процесів враховують за допомогою коефіцієнтів. Основними перевагами аналітичного моделювання є простота, висока швидкість отримання результатів та можливість прямого вико-

ристання методів дослідження функцій на екстремум для визначення оптимальних параметрів технічного забезпечення.

В той же час, використання аналітичних залежностей при оцінці варіантів експлуатаційної роботи не дозволяє в достатній мірі врахувати місцеві особливості технічного забезпечення і технології станцій, що приводить до побудови неадекватних моделей станцій і відповідно до суттєвих похибок при їх оцінці. Тому аналітичні моделі використовуються лише для попередньої оцінки заходів в умовах низької достовірності вихідних даних та невисоких вимогах до точності результатів.

В сучасних умовах основним методом оцінки нормативних параметрів та показників роботи станцій є добовий план-графік [4-7]. Добовий план графік являє собою графічну модель роботи станції де в символічному вигляді на спеціальному бланку відображуються основні виробничі процеси, що відбуваються у її підсистемах. Врахування в моделі зайнятості основних технічних засобів та елементів станції (локомотивів, стрілочних зон, бригад ПТО) дозволяє оцінити міжопераційні простої. Добовий план-графік дає можливість визначати

- простій транзитного вагону без переробки, год.;
- простій транзитного вагону з переробкою, год.;
- простій місцевого вагону, год.;
- вантажний простій, тобто простій місцевого вагону під однією вантажною операцією, год.;
- коефіцієнт здвоєних операцій;
- норма робочого парку вагонів, ваг.-доб.;
- вагонообіг, ваг.-доб.;
- коефіцієнти завантаження технічних засобів станції;
- показники надійності роботи станції та ін.

В цілому графічна модель має значну інформаційну ємність і забезпечує високу швидкість пошуку і доступу до необхідній інформації, що дозволяє їй до сучасного часу залишатись основною як при проектуванні станцій,

та і при розробці і аналізі їх технологічних процесів. В той же час при побудові добового плана-графіка допускається ряд спрощень таких як усереднення тривалості виконання технологічних операцій, обмеження періоду моделювання однією добою та ін.

Методи імітаційного моделювання набули широкого використання при виконанні наукових досліджень та оцінки ефективності функціонування залізничних станцій та вузлів [8-17]. Суттєвою перевагою даного методу над попередніми є висока достовірність кінцевих результатів. Але разом з тим для побудови адекватної імітаційної моделі потрібен значний час та відповідна підготовка.

Отримані за допомогою наведених вище математичних моделей кількісні та якісні показники функціонування залізничних станцій за можливими проектними рішеннями піддаються техніко-економічному обґрунтуванню. При всебічному аналізі роботи станції необхідно оцінювати витрати на модернізацію і утримання її технічного оснащення і витрати, що пов'язані з функціонуванням станції. Для узгодження наведених критеріїв використовується метод лінійного згортання [18] шляхом зведення усіх показників до грошового еквіваленту. Критерієм для техніко-економічної оцінки варіантів конструкції та технічного забезпечення залізничної станції є мінімальні розміри приведених річних витрат при потрібному рівні її переробної спроможності. Інвестиційні вкладення та експлуатаційні витрати при порівнянні варіантів конструкції та технічного забезпечення станцій повинні визначатись по наступним статтям витрат:

- інвестиційним вкладенням, що пов'язані з укладкою додаткових колій і стрілочних переводів, придбанням пристроїв електричної централізації і контактної мережі, гіркових локомотивів, виконанням земляних робіт при зміні профілю станційних парків;
- експлуатаційним витратам на амортизацію, матеріали та запасні частини, технічне обслуговування та ремонт технічних засобів, простій составів

в очікуванні технологічних операцій, витрат електроенергії або пального на маневрову роботу.

При цьому, у загальному вигляді критерій оцінки виглядає як

$$\Pi = \sum_{i=1}^n H_i \cdot e_{vi}, \quad (1.1)$$

де H – значення натурального показника;

e_v – витратна ставка на одиницю натурального показника;

n – кількість показників.

Вказаний підхід має суттєвий недолік – величина витратних ставок визначається на підставі усереднених даних по мережі і не враховує особливості функціонування конкретної станції.

Таким чином, проблема комплексної оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних станцій остаточно не вирішена і потребує використання наукового обґрунтованих методів техніко-економічної оцінки технічних параметрів станцій і технології їх роботи.

1.3 Аналіз методів функціонального моделювання залізничних станцій

У сучасних економічних умовах одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізничного транспорту є мінімізація часу перебування вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускної і переробної спроможності для ефективної роботи в умовах нерівномірності транспортних потоків. З іншого боку, невиправдане збільшення технічного потенціалу станцій приводить до росту їх експлуатаційних витрат. Для рішення вказаної складної і суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка планованих заходів щодо удосконалення конструкції і технології роботи станцій. Ефективним засобом аналізу і оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-

технологічних і економічних параметрів може служити імітаційне моделювання станційних процесів. Використання імітаційних моделей при виконанні проектних робіт, а також при оперативному керуванні на станціях, дозволить приймати найбільш раціональні рішення, спрямовані на скорочення власних витрат станцій і збільшення прибутків від перевезень. От чому розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій присвячена досить велика кількість наукових робіт.

Перші дослідження, пов'язані з проблемою створення імітаційних моделей залізничних станцій для дослідження і оптимізації їх роботи були початі Е.А. Сотниковим, Е.А. Ветуховим і Шабаліним Н.Н. в 60-х роках минулого століття з появою серійних ЕОМ [19, 20]. У вказаних роботах для аналізу завантаження технічного обладнання станцій пропонувалося використовувати статистичне моделювання технологічних процесів. Для обліку нерівномірності моделюється випадковий вхідний потік поїздів, а тривалість обслуговування поїзда на станції моделюється як випадкова величина із заданим законом розподілу. За результатами моделювання визначаються «вузькі» місця на станції, затримки і простої поїздів.

Подальший розвиток теорія моделювання залізничних станцій одержала у фундаментальній роботі Персианова В.А. [21], у якій сформульовані найбільш загальні принципи формалізації станцій і вузлів, викладається методологія побудови їх функціональних моделей. У цій роботі рекомендується застосовувати системний підхід до побудови моделей залізничної станції або вузла. При цьому станція або вузол розглядається як багатофазна система масового обслуговування, у яку надходять заявки на обслуговування (поїзда, состави, локомотиви і ін.). Станція структурно представляється у вигляді набору різних технологічно пов'язаних блоків, кожному з яких відповідає певна фаза обслуговування заявки. З використанням розроблених моделей методом статистичних випробувань передбачається одержання кількісної оцінки роботи станції в тих або інших умовах. Результати досліджень можуть бути використані для перевірки надійності технічних засобів і системи обслугову-

вання, визначення пропускну́ї здатності станцій і вузлів, а також при виборі варіантів проектних рішень.

В 70-і роки поява нових потужних ЕОМ дало своєрідний поштовх до інтенсифікації робіт в області моделювання станцій і вузлів. У цей період розроблена безліч методів і алгоритмів моделювання, багато з яких були реалізовані на ЕОМ у вигляді програм.

У цьому зв'язку слід особливо відмітити роботи К.К. Таля [22, 23], у яких сформульовані основні проблеми і підходи до моделювання станцій, приведені описи моделюючих алгоритмів і результати досліджень. Практичною реалізацією ідей, викладених у вказаних роботах став збірник програм для розрахунків станцій методом моделювання [24]. В [22, 23] також розглянута проблема вибору черговості пересувань при виникненні конфліктних ситуацій. Для її рішення запропоновано встановити систему правил на вибір черговості. З цією метою в [22] сформульовано 5 правил вибору, отриманих на основі аналізу пересувань у горловинах декількох великих станцій. Ці правила використовуються в моделі станції при необхідності одночасної установки пари ворожих маршрутів. В [23] розглядаються способи вибору варіантних маршрутів. При цьому рекомендується при розробці моделі станції список варіантних маршрутів доповнювати даними про порядок їх переваги.

У роботах Т.Н. Федотова [25, 26, 27] наведений опис і результати застосування імітаційної моделі сортувальної станції, розробленої в НІЗТі. Модель передбачає імітацію виконання всіх технологічних операцій з поїздами і вагонами у всіх парках станції, у тому числі і процес накопичення составів у сортувальному парку. Об'єкти (поїзда), що надходять на станцію, обслуговуються відповідно до їхніх пріоритетів [27]. Обслуговування об'єкта в кожному парку станції моделюється як одна наскрізна операція, що суттєво скорочує час моделювання, але не відповідає реальному технологічному процесу роботи. Крім того, такий підхід може викликати необґрунтовані затримки в обслуговуванні об'єктів, з більш низьким пріоритетом. Черговість пересування об'єктів по станції також установлюється залежно від їхнього

пріоритету. При цьому не враховується можливість переміщення об'єктів з більш низьким пріоритетом по паралельних маршрутах.

За допомогою розробленої статистичної моделі в [28] В.А. Федотов вирішує задачу визначення «вузьких» місць у роботі сортувальної станції. У процесі моделювання на станцію надходить випадковий потік поїздів. При цьому для кожного поїзда визначається набір параметрів, що визначають технологію і тривалість його обслуговування. Як і в [21], станція представляється набором взаємозалежних блоків, що моделюють певну стадію (фазу) обслуговування об'єкта. Моделювання тривалості знаходження об'єкта в кожній фазі виконується без обліку окремих технологічних операцій, що є недоліком запропонованого методу, тому що не забезпечує адекватності моделі. Крім того, в [28] спрощено моделюється заняття горловин станції рухомих складом при його переміщенні і не враховується ворожість маршрутів.

Метод статистичного моделювання розв'язок перед станціями у вузлах розглядався в роботі С.С. Мацкеля [29], де перетинання представляється моделлю масового обслуговування з одним обслуговуючим пристроєм (стрілочна зона перетинання) і потоками заявок (поїздів) по кожному підходу. Час обслуговування заявки (заняття перетинання), як правило, постійне для даного виду заявки.

Однією з проблем, що виникають при розробці моделей станцій, є складність представлення схем колійного розвитку для моделювання переміщень рухомого состава. Для рішення даної проблеми в [24] горловини станцій пропонується ділити на окремі елементи (секції), що дозволяє визначати ворожість маршрутів і достатньо точно моделювати процес їх посеekційного розмикання. Недоліком методу є його громіздкість внаслідок необхідності завдання тривалості заняття кожного елемента пересуваннями різних категорій. В [30] запропонований спосіб формалізації схеми станції, який не вимагає розбивки горловин на елементи. Для моделювання пересувань складається таблиця можливих маршрутів, яка доповнюється таблицею ворожості маршрутів. Однак, процес складання таких таблиць досить трудомісткий, особ-

ливо для великих станцій. Крім того, при цьому не враховується можливість посекційного розмикання маршрутів.

У багатьох роботах для моделювання станцій пропонується використовувати апарат теорії масового обслуговування. Так в [31] А.В. Бикадоров розглядає можливість застосування методів теорії масового обслуговування для дослідження роботи парку прибуття сортувальної станції. При цьому математичний апарат теорії масового обслуговування використовується для визначення показників роботи парку прибуття в різних умовах. Питання застосування методів теорії масового обслуговування при моделюванні вантажних станцій розглядаються в роботі [32]. Тут у якості системи масового обслуговування розглядається як станція, так і її окремі вантажні райони. Розглянуті також методи і алгоритми моделювання вантажних операцій з вагонами. Недоліком запропонованих у вказаних роботах методів моделювання є те, що потік заявок (поїздів, вагонів), що надходять для обслуговування, розглядається як найпростіший, а інтенсивність обслуговування прийнята постійною, що не відповідає реальним умовам роботи залізничних станцій.

Модель сортувальної станції для нормування показників її роботи розроблено в РІЗТі [33]. Станція розглядається як багатоканальна багатофазна система масового обслуговування. При моделюванні враховуються імовірнісні характеристики потоку поїздів і інтенсивності їх обслуговування. Для кожного поїзда, що надходить в розформування, моделюється його розкладення. Тривалість операцій визначається з урахуванням параметрів поїзда і системи обслуговування. Запропонована також методика для моделювання процесу накопичення вагонів у сортувальному парку. За результатами моделювання розраховується поелементний простій вагонів на станції. Разом з тим у запропонованій моделі не враховується заняття елементів колійного розвитку при переміщенні рухомого состава, що суттєво знижує її адекватність.

Розформування і формування поїзд на сортувальних станціях виконується на сортувальних гірках, від якості роботи яких суттєво залежать показ-

ники функціонування станцій. Тому проблема дослідження сортувального процесу на гірках завжди була актуальною. Питанню розробки моделей сортувальних гірок присвячена досить велика кількість робіт, серед яких слід особливо зазначити роботи вчених ДШТА: Мухи Ю.О., Шафіта Є.М., Бобровського В.І., Жуковицького І.В. Так, в [34-36] розроблена імітаційна модель скочування відчеплень із сортувальної гірки, а також розроблений комплекс моделюючих програм для ЕОМ. При цьому запропонована оригінальна методика апроксимації поздовжнього профілю сортувальної гірки і модель процесу гальмування відчеплень на уповільнювачах. Роботи [37-40] присвячені розробці моделей сортувальних гірок для дослідження різних систем автоматизованого керування сортувальним процесом. При цьому особлива увага приділена моделюванню роботи оснащення гіркової автоматики. Результатом вказаних досліджень стала розробка декількох автоматизованих гіркових систем, які були успішно впроваджені на ряді сортувальних станцій [40].

Заслуговує на увагу також досвід польських залізниць [41]. У цій роботі станція розглядається як система масового обслуговування, що структурно складається із сукупності блоків двох видів: постів обслуговування і пунктів очікування обслуговування. При моделюванні використовується подійна модель станції, яка припускає зміну ситуації дискретно від події до події. Гідністю такого підходу є суттєво менша тривалість моделювання в порівнянні з безперервним моделюванням, але при цьому не враховується безперервний характер технологічного процесу роботи станцій, що буває важливо при рішення певного кола завдань. Крім того, у цей час при наявності швидкодійних ЕОМ швидкість моделювання не є істотним чинником при виборі методу моделювання.

В роботі Е. Лещинського [41] процес обслуговування об'єктів на станції моделюється укрупнене без підрозділу на технологічні операції. При цьому тривалість знаходження об'єкта в кожній з фаз обслуговування приймається постійною або визначається як значення лінійної функції залежно від

параметрів об'єкта і поста обслуговування. Результати численних досліджень свідчать, що такий підхід не відповідає реальним процесам, що відбуваються на станціях, тому що тривалість обслуговування в більшості випадків являє собою випадкову величину з певним законом розподілу, що необхідно враховувати при моделюванні.

Оригінальна методика побудови моделі сортувальної станції запропонована в роботі Е.А. Сотникова [42]. Модель станції являє собою набір програмних модулів, кожний з яких моделює початок і закінчення операцій певної технологічної послідовності. При цьому враховуються випадкові коливання вхідного потоку об'єктів і нерівномірність їх обслуговування. Запропонований також метод формалізації схем станцій, що дозволяє враховувати ворожості маршрутів при моделюванні переміщень рухомого складу. Разом з тим процес розробки програмних модулів досить трудомісткий, що суттєво обмежує застосування зазначеної методики.

Розробці імітаційних моделей залізничних станцій присвячені роботи видатного вченого П.С. Грунтова [43, 44, 45]. Запропонована методика моделювання заснована на використанні апарата теорії ймовірностей для моделювання вхідних потоків заявок і тривалості їх обслуговування. Модель використовується для прогнозування роботи станцій у різних умовах і при виборі варіантів технічних рішень. Недоліком запропонованої моделі є укрупнений розгляд технологічних процесів обробки поїздів і вагонів у парках станції, що не дозволяє досить точно моделювати роботу станції. У роботі [45] імітаційна модель станції використовується для оцінки її експлуатаційної надійності. При цьому станція розглядається як комплекс взаємозалежних уніфікованих модулів. Такий підхід дозволив створити типовий алгоритм для формалізації обслуговуючих каналів будь-якого типу. Розроблена в [45] модель дозволяє визначити показники роботи основних підсистем станції, завантаження технічних засобів і виконавців, а також виконати поелементний аналіз простою вагонів на станції.

За допомогою імітаційної моделі, розробленої на основі теорії масового обслуговування, вирішуються питання прогнозування і планування роботи залізничних станцій у роботі [46, 47]. Модель може бути використана для планування роботи станції в умовах реконструкції або закриття технічних засобів. За допомогою моделі виконується оцінка різних варіантів організації роботи станції в таких умовах [47]. Крім того, розглядається можливість застосування розробленої моделі для нормування різних показників роботи станції, а також аналізу якості роботи оперативної зміни [46]. З цією метою, на початку зміни по прогнозних вихідних даних про підхід поїздів і вагонів виконується моделювання роботи станції. Аналіз виконується на основі порівняння показників роботи станції, отриманих за результатами роботи зміни і у результаті моделювання роботи станції.

Комплексна імітаційна модель сортувальної станції розроблена на польських залізницях [14]. Модель є частиною програмного комплексу для розробки графіка руху поїздів і дозволяє одержати якісні і кількісні показники роботи сортувальних станцій при різних умовах роботи. Модель являє собою набір взаємозалежних модулів, кожний з яких моделює роботу окремих підсистем станції. Вхідний потік поїздів задається графіком, а тривалості їх обслуговування в підсистемах станції моделюються як випадкові величини з певним законом розподілу; є також можливість використання постійних значень часу обслуговування. Вводячи різні варіанти даних і аналізуючи отримані результати, можна вибирати варіант організації роботи станції, що забезпечує виконання графіка руху при найкращому використанні технічних засобів. До недоліків слід віднести складність підготовки вихідних даних для створення моделі конкретної станції.

Новий об'єктно-орієнтований підхід до побудови моделі станції перекладений в [48]. При побудові моделі станція розглядається як система масового обслуговування (СМО); поняття об'єкта використовується в моделі для вистави технологічних обладнань, що виконують обслуговування клієнтів (сервери-об'єкти) і елементів колійного розвитку станції (канали-об'єкти).

При цьому самі об'єкти розглядаються як деякі автомати, що володіють фіксованим набором внутрішніх станів і переліком впливів, що приводять до переходу автомата з одного стану в інше. Схема колійного розвитку станції представлено двома структурами: списком елементів колійного розвитку і списком зв'язків між ними. Керує моделлю програма-розпорядник, яка виконує спостереження за станом кожного об'єкта і при виникненні зовнішнього впливу міняє його стан. За результатами моделювання здійснюється побудова плану-графіка роботи станції за допомогою пакета Autocad.

Спроби деталізувати процес обслуговування об'єктів у складних транспортних системах привели до створення моделей у вигляді мереж СМО, кожна з яких імітує окрему фазу обслуговування [49]. У ряді робіт моделювання використовується для аналізу окремих підсистем станцій (фаз обслуговування).

Останнім часом для моделювання транспортних систем досить широко використовується апарат мереж Петри [17, 50, 51]. Використання мереж Петри дозволяє скоротити витрати часу на розробку моделей транспортних об'єктів, а також спростити процес їх створення, за рахунок чого залучити до цієї роботи широкі коло користувачів-технологів. Використання даної комп'ютерної технології спрямоване на підвищення якості перевізного процесу, скорочення строків доставки вантажів і збільшення конкурентоспроможності залізниць. Зокрема, в роботі Є.В. Нагорного [17] розглядаються можливості використання апарата мереж Петри для моделювання сортувальних станцій і інших транспортних комплексів. Розроблена методика представлення комплексу «сортувальна станція – ділянки, що примикають» у вигляді мережі Петри, у якій переходи імітують обробку об'єктів протягом заданого часу, а позиції характеризують стан системи і визначають умови переходів. У даній роботі показано, що шляхом ускладнення структури мережі можна досягти будь-якого ступеню деталізації системи, яка моделюється. Передбачена також можливість моделювання випадкових інтервалів між поїздами вхідного потоку, а також інших параметрів. Для реалізації моделі на ЕОМ можуть

бути використані спеціалізовані програмні продукти. Наведений в [17] приклад свідчить про те, що модель, побудована на основі мереж Петри, дозволяє фіксувати стан системи в довільний момент часу, а також визначити за результатами моделювання інтегральні показники тривалості виконання окремих операцій і число оброблених об'єктів. Є можливість дослідження моделі шляхом варіювання окремих кількісних параметрів. 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 ставляться транспортні комплекси. Крім того, у моделі не врахована схема колійного розвитку станції; заміна ж простого переходу «горловина» самостійною мережею Петри, що описує конкретну схему горловини, приведе до ускладнення структури моделі і утруднить її побудова і аналіз. Нарешті, у моделі на базі мережі Петри важко імітувати рух транспортних об'єктів для розрахунків витрат, пов'язаних з їхнім переміщенням.

Метод моделювання станцій, заснований на використанні математичного апарата марковських випадкових процесів, розроблено в ХПТі [52]. У даній роботі станція розглядається як багатофазна одноканальна СМО. Для станції побудований оргграф станів, на базі якого складається система рівнянь Колмогорова для знаходження граничних імовірностей окремих її станів. Зазначені 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 і збільшенні числа колій на станції.

Суттєвим недоліком розглянутих моделей є те, що в них або взагалі не враховується, або спрощено моделюється діяльність оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП). Разом з тим, оперативно-диспетчерський персонал станцій керує технологічним процесом їх роботи і впливає на підсумкові показники. Тому при моделюванні необхідно враховувати даний фактор, щоб забезпечити адекватність розробленої моделі. У цьому зв'язку в

ряді робіт авторами початі спроби врахувати управлінську діяльність ОДП на станціях.

Розвиток засобів обчислювальної техніки, а також перехід до нової інформаційної технології керування поклали початок роботам зі створення так званих імітаційних систем. У вказаних системах процедури імітаційного моделювання використовуються в комбінації з оптимізаційними методами; при цьому в цих системах реалізується діалог людей-ЕОМ на всіх стадіях імітаційного експерименту. Імітаційні системи для керування виробничо-транспортними комплексами були створені в ІК АН України. Так, в [53] розглядаються питання створення імітаційних систем для планування і керування виробничо-транспортними об'єктами промислових підприємств, приводяться результати імітаційних експериментів з побудованими моделями, а також обговорюються можливості використання отриманих результатів для прийняття ефективних управлінських рішень і вироблення оптимальної стратегії поведінки досліджуваних систем.

Методика побудови імітаційних моделей для визначення пропускної спроможності транспортних систем розроблена в роботі І.Т. Козлова [54]. У даній роботі всякий транспортний об'єкт (станція) представляється формалізованим описом його постійних обладнань, змінних засобів і системи оперативного керування роботою. Реальну систему оперативного керування і, зокрема, визначення черговості обробки заявок в імітаційній моделі запропоновано відбивати алгоритмами, за допомогою яких вибираються рішення конфліктних ситуацій. В [54] виділено 4 типу конфліктних ситуацій і запропоновані правила їх рішення. Реалізація цих правил являє собою досить складну задачу, яке проте, не вирішує проблему вибору черговості у всім різноманітті конфліктних ситуацій.

Досить складна система моделювання роботи сортувальної станції ІСТРА представлена в [55]. Імітаційна модель використовується для оперативного планування роботи станції в різних умовах і може бути використана при розробці автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера. Мо-

дель станції характеризується безліччю елементів, операцій і оператором керування, який описує логічну послідовність виконання операцій залежно від стану моделі. Елементи моделі діляться на технологічні, інформаційні і керуючі. Технологічні елементи відображають реальні обладнання, інформаційні – імітують представлення реальних обладнань у пам'яті диспетчера. Технологію роботи станції відображають операції моделі. У системі ІСТРА реалізований принцип покрокового моделювання, керованого подіями.

Як показав виконаний аналіз, досить важко побудувати математичну модель складної транспортної системи, що враховує всі зв'язки і взаємодії окремих її елементів. У подібних системах оперативно-диспетчерський персонал (ОДП) залежно від ситуації, що склалася, може змінювати порядок проходження і обробки транспортних об'єктів, спеціалізацію окремих колій і парків, за рахунок перерозподілу технічних засобів і обслуговуючого персоналу підсилювати потужність окремих обладнань і застосовувати інші заходи для пропуску транспортного потоку. Моделювання подібних систем повинне включати не тільки процеси пропуску і обробки транспортних одиниць, але і функції керування цими процесами диспетчерським апаратом. Разом з тим аналіз існуючих моделей станцій показує, що в більшості з них діяльність ОДП або взагалі не враховується, або моделюється досить спрощено.

Так в [22, 23] для вирішення конфліктних ситуацій, що виникають при виборі черговості пересувань, пропонується набір правил, що визначають пріоритетність готування маршрутів руху. В [25, 26, 27, 41] при виборі черговості обслуговування об'єктів використовується система пріоритетів, яка визначається перед початком моделювання. У системі ІСТРА [55] для моделювання діяльності ОДП до складу моделі введений спеціальний оператор (модуль) керування, який описує логічну послідовність виконання операцій залежно від стану системи. Оператор керування в системі ІСТРА реалізує ситуаційний принцип керування. При цьому кожна конфліктна ситуація, по якій необхідно прийняти рішення, представляється сукупністю станів усіх технологічних і інформаційних елементів системи. Після ідентифікації ситу-

ації ухвалюється відповідне рішення. Список можливих конфліктних ситуацій і відповідних їм рішень задається в якості вихідних даних моделі при її розробці і настроюванню. Разом з тим, враховуючи складність і різноманіття ситуацій виникаючих на станціях, складання такого списку може являти собою досить трудомістку задачу.

Проблемі розробки методики для адекватного моделювання діяльності людини-диспетчера (ЛД) присвячена досить значна кількість робіт. Щодо цього заслуговують на особливу увагу роботи І.М. Кокуріна [56, 57, 58], в яких наведена методика моделювання діяльності ЛД для дослідження завантаження поїзних диспетчерів і чергових по станції. У зазначених роботах виконаний детальний аналіз діяльності ДНЦ і ДСП, на основі якого виділені основні складові елементи їх роботи. Моделювання діяльності диспетчерського персоналу пропонується виконувати за допомогою логічних схем алгоритмів (ЛСА). Така схема являє собою орієнтований граф, вершинам якого відповідають певні дії ЛД, а дугам – логічні умови. При цьому для кожної умови вказуються ймовірності вибору тієї або іншої його галузей, які визначаються на основі спостережень за діяльністю диспетчера. Тривалість виконання кожної операції ЛД моделюється як випадкова величина із заданим законом розподілу [58]. Приклади таких алгоритмів, що моделюють діяльність ДСП і ДНЦ наведені в [56, 57]. Наведені в цих роботах ЛСА дозволяють моделювати діяльність диспетчера при рішенні певного локального завдання. Разом з тим аналіз діяльності ОДП показує, що диспетчер у процесі своєї роботи звичайно вирішує кілька різних задач одночасно, що найчастіше вимагають рішень, що взаємно виключають. Побудова ж ЛСА, що враховує все різноманіття ситуацій у діяльності диспетчера, представляється досить складним завданням.

В [59] ЛСА запропоновано використовувати для моделювання еталонної діяльності ОДП у ситуаційному тренажері чергового по станції. При цьому оцінка рівня підготовки працівника виконується на основі порівняння

показників, отриманих у результаті проведеного їм тренування з показниками еталонної моделі діяльності.

Для побудови моделі діяльності ЛД в [60] розроблена методика, в основу якої покладені поняття теорії інформації. Діяльність диспетчера розглядається як інформаційний процес і моделюється як послідовність переходів з одного інформативного стану до іншого в міру вступу інформації про об'єкт керування. Запропоновану методику рекомендується використовувати для визначення завантаження ЛД.

Заслуговує на увагу також робота [61], у якій наведена методика побудови імітаційної моделі діяльності ДСП проміжної станції. Модель діяльності ДСП розглядається як елемент керування, на вхід якої надходять інформаційні повідомлення про зміну об'єкта керування (станції), а також вимоги на виконання різних дій (готування маршруту, відкриття сигналу і ін.). Рішення про виконання того або іншої дії ухвалюється на підставі наявної інформації про об'єкт керування відповідно до наміченого плану, який задається на початку моделювання. Для реалізації моделі розроблені відповідні алгоритми і таблиці рішень. Розроблена модель використовується для моделювання пропуску поїздів через проміжну станцію. Недоліком наведеної методики є те, що при розширенні набору дій ДСП, що моделюються, таблиці рішень суттєво збільшуються, а їх складання представляє досить трудомістке завдання.

Необхідно зазначити певні переваги графічного методу моделювання станцій, яке виконується фахівцями, що добре знають структуру транспортної системи, технологію і особливості керування і виконуючими по суті функції диспетчера системи, яка моделюється. Однак графічний метод має і істотний недолік, який полягає в його трудомісткості і, внаслідок цього, обмеженому періоді моделювання (звичайно доба); внаслідок цього, отримане рішення має приватний характер. У той же час використання методу імітаційного моделювання роботи станцій на ЕОМ дозволяє значно прискорити процес одержання результатів.

Суттєві переваги графічного методу, обумовлені особистою участю людини в моделюванні, а також відсутність методів адекватного моделювання управлінської діяльності диспетчера в існуючих моделях, роблять доцільним створення і дослідження принципово нових ергатичних систем моделювання, що поєднують високу швидкість і точність ЕОМ зі здатністю людини оперативно приймати рішення в складних і невизначених ситуаціях. Концепція ергатичних моделей станцій, у яких людей бере безпосередню участь у процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера, запропонована в [62]; у даній роботі представлені теоретичні основи і методологія побудови таких моделей, показані перспективи їх застосування.

Останнім часом у ДПТі ведеться інтенсивна робота зі створення ергатичних імітаційних моделей станцій. Так в роботі В.І. Бобровського [11] наведений опис ергатичної моделі сортувальної станції, яка використовується в тренажері ДСП. Технологічний процес обслуговування поїздів формалізований на основі сітьових графіків обробки об'єктів на станції. При цьому певні операції (закріплення, огляд, розформування і ін.) можуть початися тільки після відповідної команди людини. У процесі моделювання людина готує маршрути проходження поїздів і локомотивів, що дозволяє максимально наблизити імітаційну модель станції до реальних умов.

У роботах [13, 63] викладена методика побудови функціональних моделей розв'язок ліній у вузлах. При цьому розв'язка розглядається як керована СМО, у якій порядок пропуску поїздів не є постійним і визначається диспетчером. З цією метою в розробленій моделі передбачені спеціальні засоби для інтерактивного керування пропуском поїздів.

При розробці моделі сортувальної гірки в [9, 10] вона також розглядалася як ергатична система, складеним елементом якої є гірковий оператор, що виконує функції контролю і керування процесом розпуску составів. З цією метою до складу моделі сортувальної гірки введена інформаційна модель, яка використовується оператором при моделюванні для контролювання по-

точної ситуації і передачі керуючих команд по розпусковій частині. Розроблена ергатична модель може використовуватися як для створення тренажерів для навчання гіркових операторів [10], так і для удосконалювання конструкції і технічного оснащення самих сортувальних гірок.

У роботах [8, 9, 13, 64] науковцями ДПТ розроблена загальна структура імітаційної ергатичної моделі залізничної станції, а також методика побудови її структурних підсистем. В [8] наведені також результати практичної апробації розробленої ергатичної моделі підсистеми розформування однієї з великих сортувальних станцій для рішення оптимізаційних задач.

1.4 Постановка задачі дипломної роботи

В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація часу знаходження вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускної і переробної спроможності для погашення пікових навантажень. З іншого боку, необхідно мінімізувати власні витрати станцій, скорочуючи надлишковий технічний потенціал. Для рішення вказаної складної та суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка плануємих на станціях змін їх конструкції та технології роботи.

Ефективним засобом для отримання достовірної кількісної оцінки управлінських рішень, спрямованих на удосконалення техніко-технологічних параметрів станцій, є імітаційне моделювання та методи аналізу і синтезу станцій у поєднанні з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки. В цьому зв'язку у роботі поставлена задача підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі імітаційного моделювання їх роботи.

2 ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ

2.1 Технічна характеристика станції

Станція К (див. рисунок 2.1) є односторонньою сортувальною станцією, яка за характером та обсягами роботи є позакласною. До станції примикають двоколіїні перегони А-К, В-К, Г-К та Б-К, які обладнані однобічним автоблокуванням. Також до станції примикає під'їзна колія підприємства «Паливний склад», з якого надходять на станцію і відправляються на підприємство подачі місцевих вагонів для виконання вантажних операцій.

Станція К є сортувальною станцією з послідовним розташуванням парків. Її колійний розвиток згрупований у три парки: парк прийому «П», сортувальний парк «С» і приймально-відправний парк «В».

Парк прийому «П» складається з 5 колій, призначених для прийому парних та непарних вантажних поїздів, що надходять на станцію у розформування з усіх підходів. У непарній горловині парку розташований локомотивний тупик № 7, який призначений для заїзду гіркового локомотива під состави під час їх розформування, а також для прибирання поїзних локомотивів від прибулих у розформування поїздів з напрямків Г та Б у локомотивне господарство.

Сортувальний парк «С» складається з 16 колій, призначених для накопичення вагонів вантажних поїздів, що відправляються зі станції К на напрямки А, В, Г та Б, а також для накопичення місцевих вагонів на під'їзну колію, що примикає до станції.

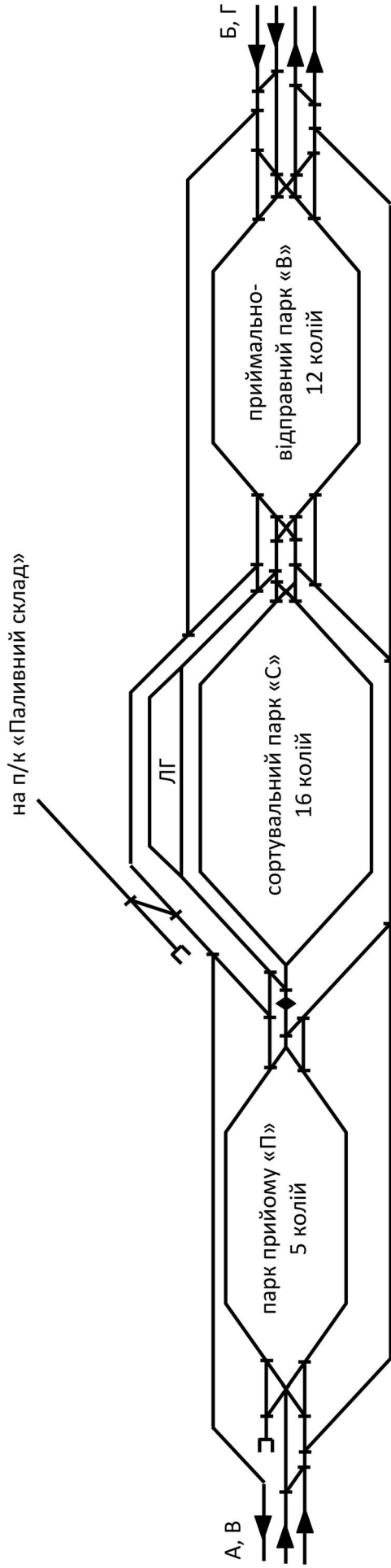


Рисунок. 2.1 – Схема колійного розвитку сортувальної станції К

Приймально-відправний парк «В» складається з 12 колій, призначених для прийому транзитних поїздів з усіх підходів та відправлення транзитних поїздів і поїздів свого формування на всі напрямки. У парній горловини приймально-відправного парку розташовані два локомотивних тупики №15 та №16, що призначені для подачі та прибирання поїзних локомотивів у локомотивне господарство по вільній колії парку.

Стрілки і сигнали парків станції обладнані пристроями електричної централізації стрілок і сигналів релейного типу з центральними залежностями. Головні та приймально-відправні колії станції, а також перегони, що примикають до станції електрифіковані.

Розформування поїздів здійснюється на автоматизованій гірці середньої потужності, розташованої між парками «П» і «С». Сортивальна гірка обладнана гірковою автоматизованою централізацією блочної системи (ГАЦ) і має одну колію насуву. Вагоноуповільнювачами обладнані всі три гальмівні позиції: перші дві позиції мають по два уповільнювача типу КНП-5, а третя (паркова) гальмівна позиція – по два уповільнювача типу РНЗ-2 на кожній сортувальній колії.

Для забезпечення диспетчерського керівництва маневровою роботою й організації прийому і відправлення поїздів сортувальний комплекс обладнаний наступними засобами зв'язку:

- радіозв'язок;
- внутрішньостанційний розпорядницький прямий телефонний зв'язок;
- поїзний радіозв'язок призначений для зв'язку чергових по станції із машиністами поїзних локомотивів;
- станційний (маневровий) призначений для радіозв'язку маневрового диспетчера, чергових по гірці з машиністами маневрових локомотивів, бригадою складачів, операторами станційного технологічного центру (СТЦ) і сигналістами;

– гучномовний двосторонній парковий зв'язок між черговим по станції (ДСП), маневровим диспетчером (ДСЦ), черговим по гірці (ДСПГ), сигналістами, операторами гірочних постів, регулювальниками швидкості руху вагонів, приймальниками поїздів, черговими постів централізації, операторами станційного технологічного центру, працівниками інших служб.

На території станції розташоване локомотивне господарство (ЛГ), в якому виконується технічне обслуговування та екіпірування всіх поїзних локомотивів – електровозів, що слідують у парному і непарному напрямках, а також вивізних за графіком часу між технічними оглядами. Екіпірування маневрових тепловозів також виконується на території депо.

Для пересилання документів і сортувальних листків станція обладнана пневмопоштою великого діаметру.

Посадка і висадка пасажирів виконується на двох низьких пасажирських платформах довжиною 500 м та шириною 4 м, які розташовані паралельно парку прийому «П» поряд з головними коліями I та II.

Корисна довжина найкоротших колій у парку прийому «П» і приймально-відправному парку «В» складає 850 м. Корисна довжина колій у сортувальному парку «С» коливається від 900 м до 1084 м.

На території сортувальної станції розміщені службові будинки і спорудження, положення яких вказано на плані.

2.2 Технологія роботи з транзитними поїздами

Непарні транзитні поїзда зі зміною або без зміни поїзних локомотивів з напрямків А і В прибувають у приймально-відправний парк «В» в основному на колії № 3, № 4 і № 5. У разі їх зайнятості можливий прийом поїздів на колії № 6 або № 7 цього ж парку. Парні транзитні поїзда зі зміною або без зміни поїзних локомотивів з напрямків Б і Г прибувають у приймально-відправний парк «В» на колії № 10, № 13 або № 14. Кутові транзитні поїзда з А на В або з В на А приймаються на колію № 3, а з Б на Г або з Г на Б – на колію № 10.

Черговий по станції (ДСП) у парку «П» одержавши інформацію про відправлення поїзда із сусідньої станції сповіщає працівників ПТО і СТЦ про прибуття поїзда з вказівкою номера колії приймання та наступну роботу (зміну локомотива чи локомотивної бригади).

Поїзд, який прибуває, зустрічають біля колії приймання працівники, які беруть участь в його обробці. Після зупинки поїзда на колії приймання, состав закріплюється гальмовими башмаками. Закріплення проводить сигналіст.

При виконанні зміни поїзного локомотива у парного поїзда в парку «В», який прибув з напрямку А або Г, локомотив відчіпляється від составу і прямує безпосередньо в локомотивне господарство з непарної горловини парку. При виконанні даної операції для непарного транзитного поїзда, який прибув з напрямку Б або Г, прибирання поїзного локомотива виконується у два напіврейса: з парної горловини парку у локомотивний тупик № 15, потім – з тупика у ЛГ по вільній приймально-відправній колії парку. Якщо зміна поїзного локомотива не потрібна, то він залишається на відповідній колії причепленим до составу.

По закінченні закріплення та відчіплення поїзного локомотива (якщо потрібно), состав на приймально-відправній колії огорожується оператором ПТО і бригада оглядачів приступає до технічного огляду составу. Після закінчення технічного огляду старший оглядач вагонів, переконавшись у відсутності людей під вагонами, повідомляє оператора ПТО про закінчення огляду та про можливість зняття сигналів огороження. Оператор ПТО знімає огороження та сповіщає про це по парковому зв'язку всіх працівників, що знаходяться у парку, після чого доповідає ДСП про готовність составу.

Одночасно з технічним обслуговуванням проводиться комерційний огляд составу та усунення виявлених несправностей. Комерційний огляд составу виконується приймальниками поїздів пункту комерційного огляду (ПКО) з двох боків составу. Про результати огляду составу у комерційному відношенні та готовність його до відправлення приймальники поїздів пові-

домляють чергового по станції з подальшою відміткою про це у книзі форми ГУ-98.

Перед відправленням поїзда черговий по станції переконується в готовності поїзда у технічному та комерційному відношенні. Заїзд поїзного локомотиву під состав при його зміні здійснюється тільки після зняття огороження. При зміні локомотивних бригад (без зміни локомотиву) локомотивна бригада приймає локомотив і перевізні документи безпосередньо від локомотивної бригади, що прибула з поїздом або від оператора СТЦ та проводить випробування автогальм. Прийом й здача локомотива та перевізних документів засвідчується підписами у маршрутах машиністів з вказівкою часу оформлення передачі.

Після причеплення поїзного локомотиву до составу оглядачі вагонів проводять повне випробування автогальм, заповнюють довідку про гальма та вручають її машиністу поїзного локомотиву. При відсутності зміни поїзного локомотива перед відправленням поїзда виконується скорочене випробування автогальм.

Виконання операцій по вилученню гальмових башмаків здійснюється після доповіді машиніста про включення та випробування автогальм. По закінченні всіх технологічних операцій ДСП готує маршрут відправлення і поїзд відправляється зі станції.

Графік виконання технологічних операцій з транзитним поїздом, що потребує зміни локомотива наведено на рисунку 2.2.

2.3 Технологія роботи з поїздами, що надходять у розформування

Непарні поїзда у розформування з напрямків А і В прибувають у парк прийому «П» в основному на колії № 1 або № 2. При зайнятості цих колій можливий прийом поїзда на колію № 3. Парні поїзда у розформування з напрямків Б і Г прибувають у парк прийому «П» в основному на колії № 4 або № 5.

операція	тривалість, хв.	час, хв.					виконавець
		10	20	30	40	50	
прийом поїзда на відповідну колію		■					поїзний локомотив
закріплення состава	3	■					сигналіст
відчеплення поїзного локомотиву	2	■					локомотивна бригада
технічний огляд	23		■	■	■		бригада ПТО
комерційний огляд	23		■	■	■		бригада ПКО
причеплення поїзного локомотиву	2				■		локомотивна бригада
зняття закріплення	3				■		сигналіст
проба автогальм	11				■	■	бригада автоматників
відправлення поїзду	3					■	поїзний локомотив
загальний час	47		■	■	■	■	

Рисунок 2.2 – Графік обробки транзитного поїзда зі зміною локомотива

При виході поїзда з сусідньої станції ДСП сповіщає працівників СТЦ, ПТО і ПКО про номер поїзда, колію приймання і час його прибуття для підготовки до зустрічі поїзда працівників, які беруть участь в його обробці. ДСП дає вказівки про закріплення состава поїзда згідно вимог ТРА станції.

Після зупинки поїзда, його закріплення та відчеплення поїзного локомотиву оператор ПТО огорожує состав і оглядачі вагонів починають його огляд. Паралельно з технічним оглядом приймальники поїздів оглядають вагони у комерційному відношенні для виявлення і усунення комерційних несправностей, що загрожують безпеці руху та збереженню вагонів і вантажів. На вагони з несправностями, усунення яких вимагає подачі на спеціальні колії для перевантаження, перевірки та виправлення навантаження, наноситься відповідна крейдяна позначка.

Після закінчення технічного обслуговування та комерційного огляду состава і зняття огороження, оператор ПТО повідомляє старшому оператору

СТЦ номери вагонів, які потребують відчеплення для ремонту, з подальшим заповненням на ці вагони повідомлень форми ВУ-23, а приймальники поїздів номери вагонів, які потребують подачі на спеціальні колії для усунення комерційних несправностей, з подальшим складанням на них актів загальної форми ГУ-23.

Про закінчення огляду і зняття огороження оператор ПТО та приймальник поїздів повідомляють ДСП і ДСЦ по гучномовному парковому зв'язку або по телефону.

Графік виконання технологічних операцій з поїздом у розформування, наведено на рисунку 2.3.

операція	до прибу ття	час, хв.			виконавець
		10	20	30	
отримання від поїзного диспетчера повідомлення про номер і час прибуття поїзда	■				черговий по станції
повідомлення відповідних робітників про номер поїзда і номер колії прийому	■				черговий по станції
прийом поїзда на відповідну колію	■				поїзний локомотив
закріплення состава	3	■			сигналіст
відпуск автогальм і відчепка поїзного локомотива	2	■			локомотивна бригада
технічний огляд состава	27	■			бригада ПТО
комерційний огляд состава	27	■			бригада ПКО
загальний час	32	■			

Рисунок 2.3 – Графік обробки поїзда, що прибув у розформування

2.4 Технологія роботи з поїздами свого формування

По закінченні накопичення у сортувальному парку «С» состава поїзда свого формування маневровим локомотивом виконується операція закінчення формування, під час якої встановлюється певний порядок слідування вагонів в складі. Закінчення формування составу може виконуватися методом осаджування в хвостовій горловині сортувального парку «С» або через сортувальну гірку.

Після закінчення формування состав переставляють маневровим локомотивом у приймально-відправний парк «В». При цьому поїзда призначенням на Б або Г устанавлюються на колії № 6, № 7 або № 9, а призначенням на А або В – на колії № 9, № 11 або № 12. Далі ДСП для проведення технічного та комерційного огляду повідомляє оператора ПТО і приймальників поїздів про номер колії, на якій знаходиться сформований состав, та запланований час відправлення поїзда.

Оператор ПТО огорожує состав відповідними сигналами, а оглядачі вагонів проводять контроль технічного стану та при необхідності поточний безвідчипний ремонт вагонів, перевірку справності автозчеплень вагонів, виявляють невідповідність між поздовжніми осями автозчепів.

При виявленні у составі поїзда вагонів з технічними несправностями, які потребують ремонту, старший оглядач вагонів повідомляє ДСП для відчеплення вагонів від составу поїзда, на вагоні робить помітку крейдою, виписує повідомлення форми ВУ-23 і вручає ДСП, який в свою чергу повідомляє станційний технологічний центр обробки поїзної інформації і перевізних документів.

Після закінчення технічного обслуговування вагонів слюсарі-ремонтники стирають з вагонів усі крейдяні надписи, які були нанесені раніше працівниками ПТО, а старший оглядач вагонів впевнившись у відсутності людей під вагонами, особисто, або через оператора ПТО дає вказівку про зняття огороження і повідомляє чергового по станції про технічну готовність составу з наступним записом про це у Книзі форми ВУ-14.

Одночасно з технічним обслуговуванням проводиться комерційний огляд составу для виявлення несправностей, що загрожують збереженню вантажів і безпеці руху поїздів. Комерційний огляд проводиться з двох боків составу поїзда двома приймальниками поїздів. На виявленні під час огляду комерційні несправності, які загрожують безпеці руху і збереженню вантажів, приймальники поїздів оформляють акти загальної форми ГУ-23, які засвідчують своїми підписами.

Під'їзд поїзного локомотиву під сформований состав здійснюється по вказівці ДСП тільки після закінчення його огляду у технічному та комерційному відношенні та знятті огороження. Зняття огороження здійснюється по узгодженню з ДСП оператором ПТО.

Після причеплення поїзного локомотива до составу, включення та випробування автогальм машиніст повідомляє про це ДСП. Перед відправленням поїзда ДСП передає ДНЦ індекс поїзда, його призначення, номер локомотиву, вагу составу, кількість осей, довжину составу в умовних вагонах, наявність у составі поїзда вагонів з небезпечними вантажами, негабаритними вантажами та інші дані, які передбачені дорожньою інструкцією по інформації. Поїзний диспетчер присвоює поїзду номер і надає дозвіл на його відправлення.

Графік виконання технологічних операцій з поїздом у свого формування, наведено на рисунку 2.4.

2.5 Технологія обробки документів у технічній конторі

Станційний технологічний центр забезпечує всі станційні процеси, а також роботу товарної контори інформацією про поїзди, вагони і вантажі, основою, якої служить натурний лист поїзда. У СТЦ виконуються операції, послідовність яких відповідає технології роботи станції.

У процесі прибуття поїзда на станцію в ЕОМ уводиться повідомлення 201 про прибуття поїзда, а також листок списування – повідомлення 05, після чого працівники технічної контори одержують розмічену ТГНЛ. Документи

доставляються з прийомного бункера в технічну контору порядком, установленим начальником станції.

операція	тривалість, хв.	час, хв.					виконавець
		10	20	30	40	50	
перестановка состава в приймально-відправний парк	█						маневровий локомотив
закріплення состава	3	█					сигналіст
відчеплення маневрового локомотиву	2	█					локомотивна бригада
технічний огляд	23	█	█	█			бригада ПТО
комерційний огляд	23	█	█	█			бригада ПКО
причеплення поїзного локомотиву	2			█			локомотивна бригада
зняття закріплення	3			█			сигналіст
проба автогальм	11				█	█	бригада автоматників
відправлення поїзду	3					█	поїзний локомотив
загальний час	47	█	█	█	█	█	

Рисунок 2.4 – Графік обробки поїзда свого формування

По прибуттю виконується перевірка розміченої ТГНЛ (повідомлення 02) з перевізними документами і повідомленням 05. Невідповідності, виявлені при перевірці, видаються у виді заготівлі повідомлення 09. Після обробки цього повідомлення і введення коректувального повідомлення 09 автоматично виконується розрахунок сортувального листка і видача його на телетайпи ДСЦ, ДСПГ, бригаді складачів, операторів паркової гальмової позиції і на посаді укладачів гірки. У випадку виявлення вагонів, що вимагають відчіпного ремонту, після внесення необхідних коректив сортувальний лист видається повторно.

Після розпуску поїзда ДСЦ уводить повідомлення 203 про фактичне закінчення розпуску поїзда. У свою чергу після цього повідомлення ЕОМ видає накопичувальну відомість. Дані накопичувальної відомості підклеюються до аркушів накопичення на відповідні сортувальні колії.

Оператор технічної контори здійснює звірку заготівки натурального листа з даними накопичувальної відомості. При наявності невідповідностей він складає повідомлення 08 чи виконується маневрова робота з викиду з поїзда «чужих» вагонів.

Після обробки цього повідомлення на друк в технічній конторі видаються:

- натурний лист поїзда форми ДУ-1;
- довідка для заповнення маршруту машиніста;
- накопичувальна відомість залишкової групи вагонів на колії, з якого був виставлений поїзд.

На підставі натурального листа поїзда оператор технічної контори робить добірку перевізних документів, конвертує їх і разом з натурним листом і довідкою для заповнення маршруту машиніста здає ДСПП.

При формуванні групи вагонів на під'їзні колії під вивантаження, документи передаються в товарну контору.

Після відправлення поїзда оператор при ДСП вводить повідомлення 200 про фактичне відправлення поїзда. При надходженні цього повідомлення в ЕОМ інформація про даний поїзд листується в архів і автоматично передається в дорожній обчислювальний центр.

3 ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕРГАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СТАНЦІЇ

В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація часу знаходження вагонів на станціях. З цією метою станції повинні мати достатній резерв пропускну і переробна спроможності для погашення пікових навантажень. З іншого боку, необхідно мінімізувати власні витрати станцій, скорочуючи надлишковий технічний потенціал. Для рішення вказаної складної та суперечливої задачі необхідна достовірна кількісна оцінка варіантів удосконалення конструкції та технології роботи залізничних станцій.

3.1 Загальні принципи побудови функціональної моделі

Ефективним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних і економічних параметрів є імітаційне моделювання станційних процесів [8, 17, 21]. Цей метод широко використовується в наукових дослідженнях і може забезпечити моделювання технологічних процесів станцій з будь-яким ступенем деталізації. Однією з основних проблем, що виникають при створенні моделей залізничних станцій, є імітація діючих систем управління, основною ланкою яких є людина-диспетчер (ЛД). Очевидно, що без адекватного моделювання вказаних систем одержання достовірної кількісної оцінки показників функціонування станцій неможливе.

Розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій, що враховує вплив людського фактора, присвячена досить велика кількість наукових робіт.

Так, у роботі [56] наведена методика моделювання діяльності ЛД за допомогою логічних схем алгоритмів (ЛСА) призначена для дослідження завантаження поїзних диспетчерів і чергових по станції. Аналіз діяльності оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП) показує, що диспетчер у процесі

свої роботи звичайно вирішує декілька різних задач одночасно, які найчастіше вимагають рішень, що взаємно виключають. друга Побудова ж ЛСА, які враховують усе різноманіття ситуацій у діяльності диспетчера, представляється досить складним завданням.

Для побудови моделі діяльності ЛД в [60] розроблена методика, в основу якої покладені поняття теорії інформації. Діяльність диспетчера розглядається як інформаційний процес і моделюється як послідовність переходів з одного інформативного стану в інше в міру вступу інформації про об'єкт управління. Запропоновану методику рекомендується використовувати для визначення завантаження ЛД.

У роботах [9, 64] запропонована концепція ергатичних моделей, у яких особа, яка виконує моделювання (ОВМ), бере безпосередню участь у процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера. Зазначені моделі по своїй природі найбільш точно враховують біхевіоральні фактори, тобто фактори асоційовані з поведінкою людини. Розроблені моделі детально імітують технологічні процеси станцій і досить ефективні при створенні комп'ютерних тренажерів ОДП [11]. Однак, використання вказаних моделей для кількісної оцінки параметрів станцій ускладнюється досить значними витратами часу, необхідного для моделювання роботи станції протягом заданого періоду часу. Таким чином, для оцінки параметрів функціонування станцій необхідно використання імітаційної моделі, що враховує, з одного боку, вплив людського фактора, а з іншого – зменшення витрат часу на моделювання роботи станції.

У цьому зв'язку для вирішення основної задачі магістерської роботи доцільно використання функціональної моделі станції (ФМС), орієнтованої на рішення задачі оцінки техніко-технологічних параметрів станцій [65]. ФМС побудована на основі ергатичної моделі [64] з урахуванням основних принципів, спрямованих на скорочення часу для визначення техніко-експлуатаційних параметрів станцій:

- наявність у ФМС інформаційній моделі станції, яка володіє засобами для оцінки поточної ситуації і передачі управлінських рішень ОВМ у ФМС;
- вибір черговості обслуговування і маршрутів руху транспортних об'єктів особою, яка здійснює моделювання;
- імітація пересувань рухомого состава по станції з відображенням в інформаційній моделі;
- максимальне прискорення системного часу у випадках, коли технологічний процес строго формалізований і не вимагає втручання ОВМ;
- автоматичний перехід у реальний масштаб системного часу на період прийняття рішень ОВМ.

3.2 Структура функціональної ергатичної моделі станції

До складу ФМС включені моделі колійного розвитку станції (МКР), керування переміщенням рухомого складу (МКП), технологічного процесу (МТП) і інформаційна модель (ІМ). Структура ФМС та схема взаємодії моделей наведені на рисунку 3.1.

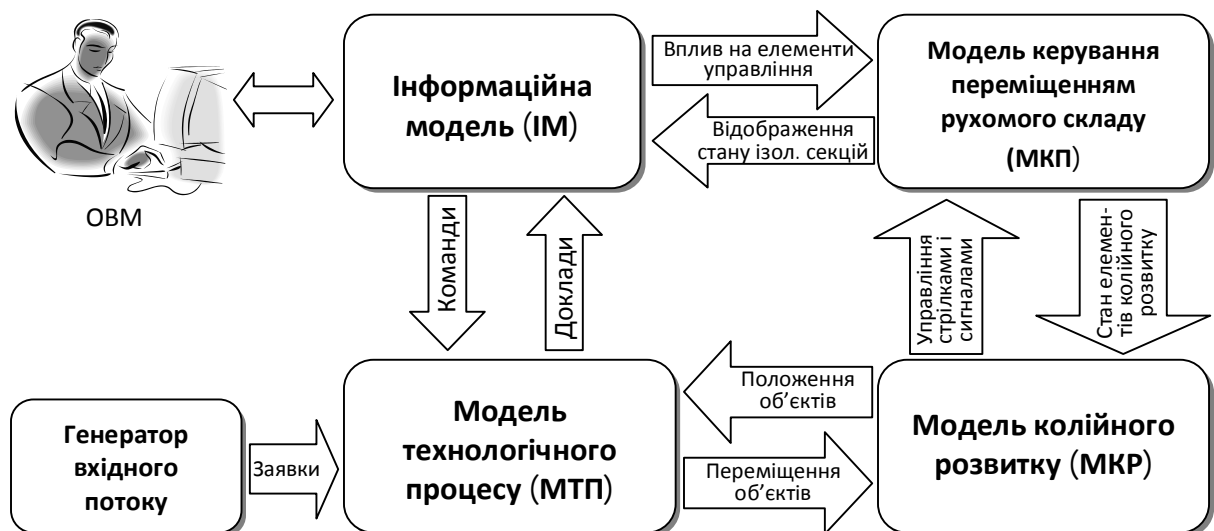


Рисунок 3.1 – Структура функціональної моделі залізничної станції

3.2.1 Модель технологічного процесу

У розробленій ФМС станція або її окремий технологічний комплекс розглядається як керована багатофазна багатоканальна система масового об-

слуговування (СМО), у якій вхідний потік утворюють об'єкти, що вимагають обслуговування на станції (поїзди, склади, локомотиви). Фазами обслуговування є окремі технологічні операції (закріплення складу, технічний огляд та ін.), які виконуються у певній послідовності відповідно до технологічного процесу (ТП). Тривалості цих операцій моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик об'єкта. Обслуговуючими пристроями є виконавці технологічних операцій (маневрові локомотиви, сортувальні гірки, бригади ПТО та ін.). Дисципліна обслуговування (черговість обробки об'єктів) встановлюється ОВМ. Структури даних, що використовуються для представлення об'єктів, виконавців та робіт в моделі ТП наведені в [11].

Формалізація ТП обробки об'єктів здійснюється з використанням детермінованого скінченного автомата (СА), який забезпечує виконання з кожним об'єктом всього комплексу технологічних операцій відповідно до їх взаємної обумовленості:

$$A = \{X, Z, S, F_z, F_s\}, \quad (3.1)$$

де X, Z – відповідно, вхідний і вихідний алфавіти;

S – безліч станів автомата;

F_z, F_s – функції виходів і переходів.

Вхідний алфавіт X автомата включає дві підмножини вхідних сигналів: $X = \{X_1, X_2\}$; де X_1 – зовнішні команди, що надходять від ОВМ для ініціалізації певних технологічних операцій з об'єктом; X_2 – внутрішні сигнали, що надходять від об'єкта після закінчення кожної технологічної операції.

Кожному символу z_i вихідного алфавіту Z ставиться у відповідність функція Ψ_i , яка повинна бути виконана ФМС в момент надходження в СА вхідного сигналу x_i . Функції Ψ_i включають набори команд двох типів: $\Psi_i = \{K_{i1}, K_{i2}\}$; де K_{i1} – список команд ініціалізації окремих технологічних

операцій з об'єктом; K_{i2} – список команд і повідомлень, які повинні бути передані структурним моделям ФМС.

Кожне стан автомата $s_q \in S$ відповідає певному стану ТП обслуговування об'єкта, який характеризується завершеністю кожної технологічної операції (не може бути розпочата, може бути розпочата або виконується, закінчена).

ТП обслуговування окремого об'єкта моделюється послідовністю переходів СА з одного стану в інший, по мірі виконання передбачених операцій. На початку моделювання ТП обслуговування кожного об'єкта відповідний СА знаходиться в початковому стані s_0 (автомат є ініціальним). Після виконання всіх операцій, передбачених ТП, автомат переходить в кінцевий стан s_k , після чого відповідний об'єкт виключається з системи обслуговування.

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

В результаті аналізу ТП обслуговування різних об'єктів на залізничних станціях встановлено, що таблиці виходів і переходів відповідних СА є сильно розрідженими. У цьому зв'язку для подання автомата використовується орієнтований граф. Для прикладу на рисунку 3.2 зображений оргграф поведінки автомата, що моделює ТП обслуговування групи місцевих вагонів в підсистемі розформування, в процесі якого виконуються наступні технологічні операції: 1 – перестановка групи вагонів в парк прийому; 2 – закріплення; 3 – відчеплення локомотива; 4 – огороження; 5 – технічний огляд; 6 – комерційний огляд; 7 – причеплення локомотива; 8 – прибирання башмаків; 9 – насув і розпуск. Управління ТП здійснює ОВМ, який для ініціалізації окремих операцій з об'єктом подає наступні команди: 101 – «Закріпити склад»;

102 – «Огородити склад»; 103 – «Причепити локомотив»; 104 – «Насув на гірку».

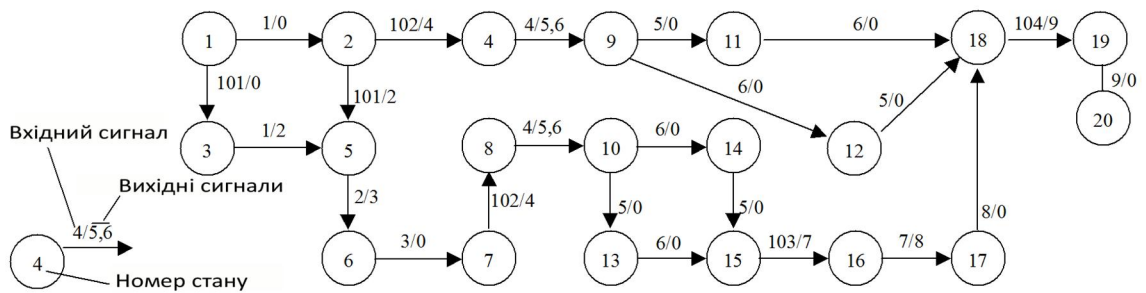


Рисунок 3.2 – Граф переходів СА для моделювання технологічного процесу обслуговування групи місцевих вагонів в системі розформування

Вершин графа поставлені у відповідність стану автомата 1 ... 20, а дугам – можливі переходи між ними. Дуги графа позначені символами x/z . Тут x – внутрішній сигнал від об'єкта про завершення операції з номером x ($x = 1 \dots 9$) або зовнішня команда від ОВМ ($x = 101 \dots 104$), при яких реалізується представлений дугою перехід, а z – номер операції, виконання якої має бути розпочато при цьому.

Початковим є стан 1, в якому група місцевих вагонів знаходиться за межами парку прийому, кінцевим – стан 20, в якому вагони вказаної групи спрямовані на сортувальні колії.

Автомат передбачає два варіанти обслуговування групи: з відчепленням або без відчеплення маневрового локомотива при технічному огляді вагонів. Вибір варіанта обслуговування здійснює ОВМ, який в стані 2 може подати команду 101 або 102; команди 103, 104 дозволяють ОВМ керувати черговістю розпуску составів.

Наведений на рис. 3.2 граф переходів СА служить основою для формалізації ТП обслуговування об'єкта в ФМС (див. рисунок 3.3). При цьому кожному стану СА ставляться у відповідність списки ідентифікаторів виконуваних операцій, зайнятих та/або виконують операцію виконавців і можливих команд ОВМ. Виконавцями в даному випадку є: колія прийому – ПП,

маневровий локомотив – МЛ, сигналіст – СИГ, оператор ПТО – ОП, бригада ПТО – ТО, бригада ПКО – КО, сортувальна гірка – Г.

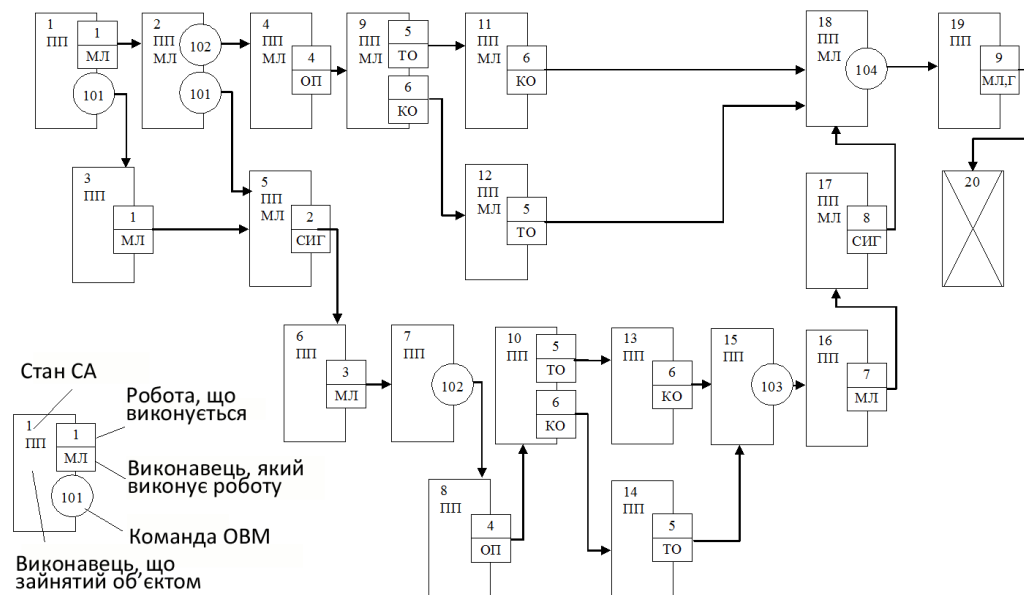


Рисунок 3.3 – Фрагмент технологічного процесу обслуговування місцевих вагонів в системі розформування

Дана методика дозволяє моделювати ТП станцій будь-якого рівня складності і з будь-яким ступенем деталізації. При цьому використання СА допускає моделювання різних варіантів обслуговування об'єктів, що забезпечує значну гнучкість моделі. Крім того, формалізація ТП у вигляді СА уможливіє інтерактивне участь людини в процесі моделювання роботи станції і дозволяє імітувати його взаємодію з виконавцями технологічних операцій.

3.2.2 Модель колійного розвитку

Модель колійного розвитку станції будується на базі геометричної моделі станції [62]. У процесі моделювання МКР повинна надавати відповідним модулям (див. рис. 3.1) наступну інформацію: стан і положення стрілочних переводів, стан ділянок колії, положення об'єктів на колійних ділянках, параметри маршрутів руху об'єктів. Крім того, МКР повинна сприймати такі керуючі команди: установити стрілку в задане положення, помістити новий об'єкт на ділянку колії, вилучити об'єкт із моделі колійного розвитку, перемістити об'єкт на задану відстань у заданому напрямку.

Для реалізації вказаних функцій МКР включає геометричну модель плану колійного розвитку (ГМКР) і модель заняття колійних ділянок (МЗД).

ГМКР побудована на основі орієнтованого зваженого графа $G = (V, E)$ і відображає состав елементів станції (ділянки колій, стрілочні переводи, світлофори, ізольовані стики і кінці колій), їх взаємозв'язки, геометричні розміри та поточний стан. В орграфі G виділено три підмножини вершин: V^S , V^C , V^Z . Вершини $v_i \in V^S$ відповідають центрам стрілочних переводів; вершини $v_j \in V^C$ – світлофорам; вершини $v_k \in V^Z$ – ізольованим стикам і кінцям колій. Для поділу множини вершин орграфа G на підмножини, кожному з них виділені непересічні групи номерів: $N_S = \{1, \dots, 199\}$, $N_C = \{200, \dots, 399\}$, $N_Z = \{400, \dots, 999\}$. Дугам орграфа $e \in E$ поставлені у відповідність ділянки колій між окремими вершинами.

Орграф G у пам'яті ЕОМ представляється списком дуг. При цьому кожна дуга орграфа позначається впорядкованою парою вершин

$$e = (v \rightarrow u), \quad (3.2)$$

де v – початкова вершина;

u – кінцева вершина.

Прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо.

МЗК містить відомості про поточне положення об'єктів рухомого складу (поїздів, локомотивів, составів) на коліях станції. Це дозволяє контролювати фактичний стан кожної колійної ділянки (зайнята/вільна), ідентифікувати об'єкти, що перебувають на окремій колійній ділянці, і моделювати їх рух.

Для моделювання руху об'єктів використовується методика, що базується на припущенні про рівноприскорений (рівноуповільнений) характер пересувань. На кожному кроці ΔT_c виконується коригування параметрів руху (прискорення та швидкості) кожного рухомого об'єкта, на основі чого визначаються його нові координати. У разі встановлення на станції обмеження по

швидкості руху, пов'язаного, наприклад, з незадовільним станом колійних ділянок, дуги $e \in E$, які відповідають вказаним ділянкам, доповнюють параметром V_{\max} – максимальна швидкість руху на ділянці. Параметр V_{\max} враховується при моделюванні руху об'єктів по станції.

3.2.3 Модель керування переміщенням рухомого складу

МКП побудована на основі зваженого орієнтованого графа $G = (V, E)$. Множина вершин графа V ділиться на дві підмножини вершин: стрілочні переводи V^S (вершини S -типу) і сигнали V^C (вершини C -типу). Дугам графа $e \in E$ відповідають ізольовані колійні ділянки системи ЕЦ.

У пам'яті ЕОМ граф G представлений списком дуг, де кожна дуга задана початковою і кінцевою вершиною. Орієнтація дуг графа прийнята зліва направо. Для реалізації моделюємих функцій граф схеми G доповнюється списками технічних параметрів, що характеризують елементи станції і їх функціональні зв'язки в системі станційної автоматики.

Вершинам графа G поставлені у відповідність наступні структури.

Вершинам S -типу

$$v_j^S = \{N_S, e_1, e_2, e_3, e_4, I, \tau\}, v_j^S \in S, j = 1, 2, \dots, n_s, \quad (3.3)$$

де N_S – ідентифікатор стрілочного перевodu в МКР;

e_1, e_2, e_3, e_4 – дуги, пов'язані з даною вершиною в МКР;

I – номер ІС, у яку включений даний стрілочний перевід;

τ – положення стрілочного перевodu ($\tau = 0$ – по прямій колії, $\tau = 1$ – по боковій колії);

n_s – загальне число стрілок на станції.

Вершинам C -типу

$$v_i^C = \{N_C, e_n, I_n, \sigma_C\}, v_i^C \in C, i = 1, 2, \dots, n_c, \quad (3.4)$$

де N_C – ідентифікатор сигналу в МКР;

e_n – дуга, початком якої є дана вершина в МКР;

I_{Π} – номер ІС, заняття якої ініціює перекриття сигналу;

σ_C – стан сигналу ($\sigma_C = 0$ – відкритий, $\sigma_C = 2$ – закритий).

n_c – загальне число сигналів на станції.

Кожній дузі графа G у моделі МКП поставлена у відповідність структура

$$U_l = \{N_{\text{пу}}, q, I, \sigma_{\text{ис}}\}, l = 1, 2, \dots, r, \quad (3.5)$$

де $N_{\text{пу}}$ – номер колійної ділянки в МКР;

q – номер дуги або вершини, інцидентній даній дузі;

I – номер ізольованої секції системи ЕЦ, у яку включена дана ділянка;

$\sigma_{\text{ис}}$ – стан відповідної ІС ($\sigma_{\text{ис}} = 0$ – ІС вільна, $\sigma_{\text{ис}} = 1$ – замкнена в маршруті, $\sigma_{\text{ис}} = 2$ – зайнята рухомим складом);

r – загальна кількість ІС на станції.

Для прикладу на рисунку 3.4 наведений фрагмент схеми станції в моделі МКП.

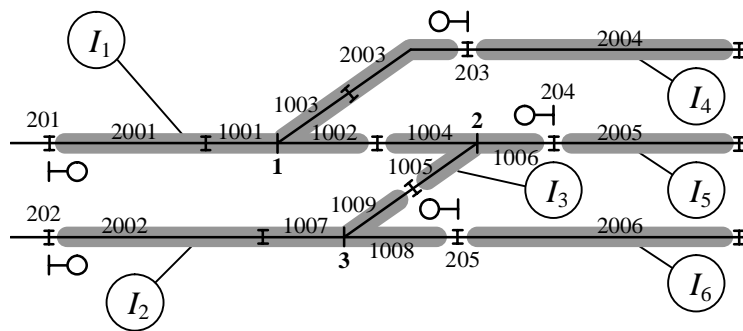


Рисунок 3.4 – Представлення колійного розвитку станції в моделі МКП

На кожному кроці системного часу МКП здійснює контроль поточного стану всіх ізольованих секцій. При цьому для кожної ІС перевіряється зайнятість рухомим складом колійних ділянок у МЗК. Ізольована секція вважається вільною, якщо всі колійні ділянки, що входять до її складу, не зайняті рухомим складом. При зміні стану секції (замикання, заняття або звільнення)

в інформаційну модель передається команда, у якій вказується номер ІС I і її стан $\sigma_{ис}$ (3.5).

Для моделювання переміщень поїздів і маневрових составів по станції необхідний повний список усіх можливих маршрутів \mathbf{M}_i , $i = 1, \dots, n$. Під маршрутом будемо розуміти список ізольованих ділянок U (3.5), які займає об'єкт при русі по станції. При цьому початковими і кінцевими точками i -го маршруту повинні бути вершини S -типу (сигнали) і відповідні їм ізольовані ділянки U . У цьому зв'язку окремий маршрут представляється структурою

$$\mathbf{M}_i = \{N_m, v_n, v_k, \mathbf{U}, \mathbf{S}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.6)$$

де N_m – ідентифікатор маршруту;

v_n, v_k – відповідно початковий і кінцевий сигнали маршруту;

\mathbf{U} – список ізольованих ділянок, зайнятих у маршруті;

\mathbf{S} – список номерів стрілочних переводів і їх положень у маршруті.

Для побудови вказаного списку маршрутів використовується МКР станції у вигляді орієнтованого графа G . Очевидно, що напрямок початкового v_n і кінцевого v_k сигналів не повинні збігатися. У цьому зв'язку, при пошуку маршруту \mathbf{M}_i виконується обхід графа G убік, відповідний до напрямку установки сигналу v_n поки не буде знайдений сигнал v_k із протилежним напрямком дії. При цьому у відповідні списки даного маршруту \mathbf{M}_i (3.6) заносяться номери ізольованих ділянок, стрілочних переводів і їх положень у маршруті. Пошук маршрутів здійснюється роздільно в кожній горловині парку станції.

У результаті такого обходу графа G , для кожної вершини v_n формується дерево маршрутів P , де кожному вузлу дерева відповідає ідентифікатор певної ізольованої ділянки U_l (3.5). При цьому один вузол є коренем дерева, а інші – розбито на $m > 0$ піддерев P_1, P_2, \dots, P_m . Вузли, що не мають піддерев (листя), є кінцевими точками маршруту. Упорядкована множина дерев, побудованих від усіх початкових точок маршрутів у горловині, визна-

чимо як ліс. Ліс маршрутів для горловини парку показаної на рис. 3.4, представлений на рисунку 3.5.

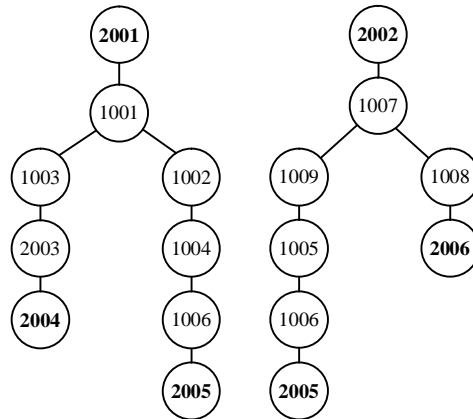


Рисунок 3.5 – Ліс маршрутів горловини парку

При цьому потрібно відзначити, що деякі вузли, що не мають піддерев (листи), можуть мати однакову нумерацію. Подібні випадки свідчать про наявність у горловині варіантних маршрутів. Загальне число листів у всіх деревах відповідає числу можливих маршрутів n у горловині.

На підставі сформованих дерев P_m одержують списки маршрутів, які надалі класифікуються по категоріям (маршрути прийому, відправлення з розбивкою по напрямках, а також маневрові з поділом по їх спеціалізації – заїзд, насування, перестановка тощо). При цьому маршрути кожної такої групи при необхідності сортують у порядку переваги їх напрямку, враховуючи при цьому варіантні маршрути.

3.2.4 Інформаційна модель станції

При ергатичному моделюванні залізничних станцій з метою його прискорення, основну частину моделювання технологічного процесу виконує ЕОМ. Однак, при виникненні конфліктних ситуацій, що вимагають прийняття управлінських рішень (вибір колій прийому поїзда, вибір черговості обслуговування составів, вибір локомотива і т.д.), ці дії покладають на ОВМ. У цьому зв'язку ФМС повинна в інтерактивному режимі забезпечити ОВМ можливість контролю поточної ситуації, прийняття рішень і передачі керуючих

команд. З цією метою до складу ФМС введена інформаційна модель, яка використовується ОВМ для реалізації вказаних функцій.

Інформаційна модель включає сукупність даних, необхідних ОВМ для контролю та керуванням об'єктами в моделі станції. У цьому зв'язку ІМ для ФМС парку прийому сортувальної станції К (див. рисунок 3.6, а) представлена у вигляді мнемосхеми парку і набору елементів візуального контролю та керування (див. рис. 3.6, б).

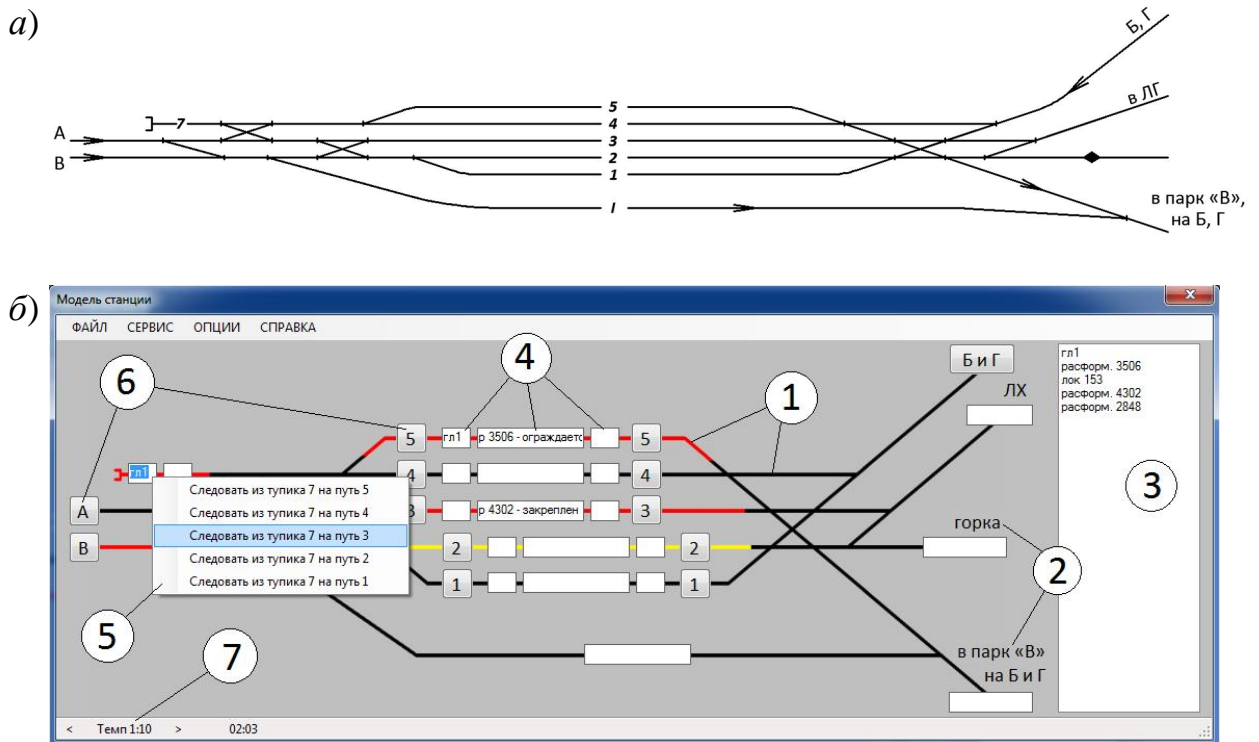


Рисунок 3.6 – Функціональна ергатична модель сортувальної станції:

а) колійний розвиток парку прийому; б) інформаційна модель

Схема парку зображена у вигляді окремих ліній 1 (рис., 3.6, б), кожна з яких являє собою окрему ділянку колій. З метою візуального контролю зайнятості ізольованих стрілочних і колійних секцій, лінії можуть бути трьох кольорів: червоний – секція зайнята рухомим складом, жовтий – секція замкнена в маршруті, чорний – секція вільна. Колір лінії визначається поточним станом ізольованої секції. Кожна лінія в ІМ представлена структурою

$$D_k = \{N_D, x_1, y_1, x_2, y_2, w_d\}, k = 1, 2, \dots, k_d, \quad (3.7)$$

де N_D – ідентифікатор ізольованої секції з моделі МКП;

x_1, y_1 – екранні координати початку лінії;

x_2, y_2 – екранні координати кінця лінії;

w_d – ширина лінії в пікселях.

Для виводу в ІМ написів або зображень використовуються спеціалізовані мітки 2 (рис. 3.6, б).

Мітки в ІМ представлені структурою

$$Z = \{x_3, y_3, x_4, y_4, N_Z\}, \quad (3.8)$$

де x_3, y_3 – екранні координати верхнього лівого кута елемента;

x_4, y_4 – відповідно ширина і висота елемента;

N_Z – ім'я файлу із зображенням мітки.

Для обліку об'єктів рухомого складу, що перебувають у парку і на підходах до нього, у ІМ включений динамічний список об'єктів 3 (рис. 3.6, б), який відображає тип і номер об'єктів рухомого складу.

Вікно списку об'єктів представлене структурою

$$L = \{x_3, y_3, x_4, y_4, L_{obj}\}, \quad (3.9)$$

де L_{obj} – список назв об'єктів і їх ідентифікаторів.

Для відображення стану колійних ділянок, на яких можуть перебувати локомотиви або групи вагонів, у ІМ передбачені інформаційні поля 4, у яких вказуються номери локомотивів або ідентифікатори групи вагонів (рис. 3.6, б). Інформаційне поле в ІМ представлене структурою

$$Q = \{N_Q, x_3, y_3, w_q, I_{obj}, T_{obj}\}, \quad (3.10)$$

де N_Q – ідентифікатор інформаційного поля;

w_q – ширина інформаційного поля;

I_{obj} – ідентифікатор об'єкта із МКР, дані якого відображаються в полі;

T_{obj} – текст, що відображається в полі.

Керування об'єктами рухомого складу здійснюється за допомогою контекстних меню команд 5 (рис. 3.6, б). У цих меню приводиться список команд, які може виконати об'єкт у поточний момент часу. Контекстні меню активізуються при виборі вказаних вище полів тільки в тих випадках, коли об'єкти перебувають на відповідних колійних ділянках в очікуванні виконання певних дій. Контекстне меню в ІМ представлено структурою

$$M = \{L_C, S_C, I_{obj}\}, \quad (3.11)$$

де L_C – список доступних для об'єкта команд, який динамічно оновлюється;

S_C – список сигналів, які посилаються у СА об'єкта, при виборі певної команди.

Для готування маршруту переміщення об'єктів по станції в ІМ передбачені кнопки б (рис. 3.6, б). Кнопка представлена структурою

$$B = \{N_B, x_3, y_3, x_4, y_4, C_B, F_B\}, \quad (3.12)$$

де N_B – ідентифікатор кнопки, відповідний до ідентифікатора сигналу з моделі МКП;

C_B – назва кнопки (текст, що відображається на кнопці);

F_B – команда, що посилається в МКП при натисканні на кнопку.

Під час роботи з моделлю можна змінювати темп моделювання. Для цього в ІМ передбачена панель керування темпом моделювання 7 (рис. 3.6, б) для його зміни. З її допомогою можна варіювати в широких межах реальну швидкість зміни системного часу. ФМС автоматично переходить у режим реального часу у випадку виникнення конфліктної ситуації, для вирішення якої необхідна команда ОВМ. Після прийняття рішення і вводу команди ОВМ може знову збільшити темп моделювання до необхідної величини. Така організація роботи моделі дозволяє значно прискорити процес моделювання і у той же час забезпечує ОВМ необхідним запасом часу для прийняття рішень.

4 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЕРГАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Ідентифікація виконується з метою підготовки ФМС для подальшого використання при дослідженні роботи конкретної станції. При цьому всі параметри моделі отримують конкретні значення, які відображають технічне оснащення і технологічний процес роботи реальної станції. З цією метою було виконано дослідження роботи парку прибуття «П» сортувальної станції К, за результатами якого формалізовані його технічне оснащення та технологічний процес, розроблена інформаційна модель парку, отримані параметри вхідного потоку заявок і параметри законів розподілу випадкових величин тривалості виконання окремих технологічних операцій. На підставі вказаних даних виконана ідентифікація моделі парку прийому.

4.1 Визначення параметрів вхідного потоку заявок

Параметри вхідного потоку станції визначені на основі аналізу графіків виконаного руху, за якими встановлені категорія і момент прибуття кожного поїзда на станцію К (див таблицю А.1). Це дозволило знайти інтервали між поїздами, що прибувають з підходів А та В.

Інтенсивність надходження поїздів на станцію характеризується середньою величиною інтервалу між поїздами, що прибувають. Інтервал прибуття являє собою випадкову величину з деяким законом розподілу. При визначенні параметрів вхідного потоку поїздів на станцію була висунута гіпотеза про те, що випадкові величини цих інтервалів розподілені по усіченому закону Ерланга. В результаті статистичної обробки вибірок значень інтервалів за двома напрямками (див. додаток Б) були визначені параметри розподілів: мінімальний інтервал прибуття I_{\min} , математичне очікування інтервалу $M[I]$, дисперсія $D[I]$, середньоквадратичне відхилення $\sigma[I]$ і параметр Ерланга k . Результати статистичної обробки інтервалів прибуття поїздів всіх категорій з напрямків А і В наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика вхідного потоку станції

Напрямок прибуття	Параметри розподілу				
	$I_{\min}, \text{хв}$	$M[I^*], \text{хв}$	$\sigma[I], \text{хв}$	$\nu_{\text{вх}}$	k
А	3	14,8	13,8	0,93	1
В	5	39,2	32,5	0,83	1

У табл. 4.1 наведено значення математичного очікування інтервалу I^* , яке пов'язано з його дійсним значенням як

$$I^* = I - I_{\min}. \quad (4.1)$$

Гістограми розподілу випадкової величини інтервалів I^* наведені на рисунках 4.1 і 4.2.

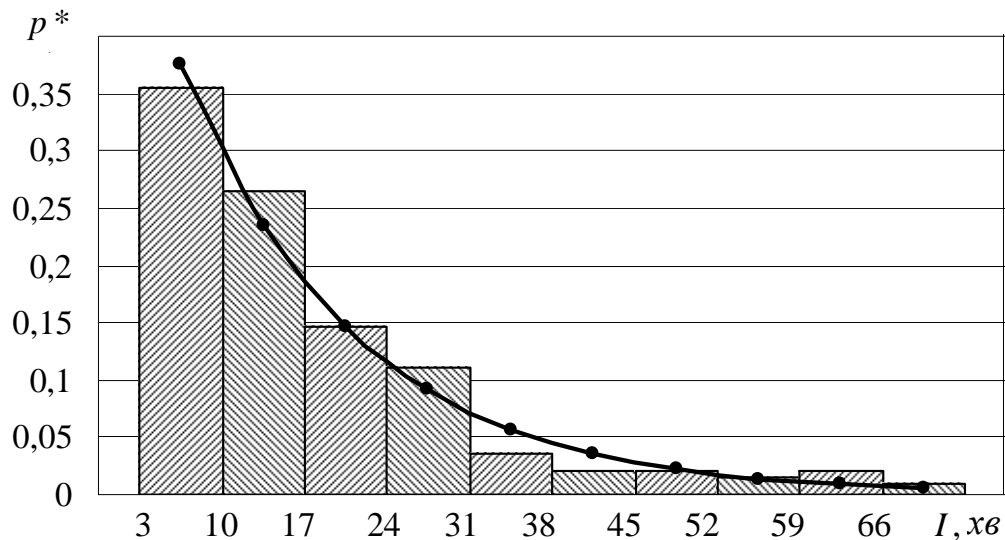


Рисунок 4.1 – Гістограма розподілу випадкової величини інтервалу прибуття поїздів I_A з напрямку А

Як показує аналіз результатів статистичних даних (див. табл. 4.1), випадкові величини інтервалів прибуття I^* розподілені за усіченим законом Ерланга з параметром $k=1$ (експоненціальне розподіл). Перевірка даної гіпотези виконана за допомогою критерію Пірсона χ^2 (див. додаток Б). Порівняння розрахованих значень χ^2 з відповідними критичними значеннями показало, що висунута гіпотеза не суперечить дослідним даним (для напрямку А

$\chi^2 = 8.13$, для напрямку В – $\chi^2 = 7,95$, тоді як при рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числі ступенів свободи $\nu = 7$ табличне значення $\chi^2_{7; 0,05} = 14,07$, тобто $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$).

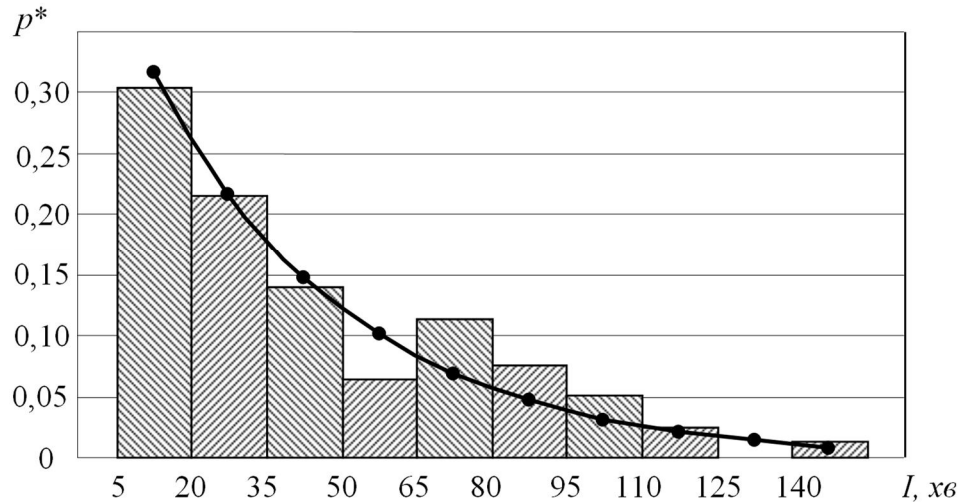


Рисунок 4.2 – Гістограма розподілу випадкової величини інтервалу прибуття поїздів I_B з напрямку В

Частоти появи поїздів окремих категорій у вхідних потоках поїздів кожного напрямку наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розподіл потоків поїздів по категоріям

Характеристика вхідного потоку		Частота появи P^*
Напрямок прибуття	Категорія поїзда	
А	у розформування	0,207
	транзитний	0,318
	пасажирський	0,475
В	у розформування	0,284
	транзитний	0,518
	пасажирський	0,198

До парку прийому «П» примикає ділянка колії, по якій прибувають поїзда у розформування з напрямків Б і Г у середній кількості 15 поїздів на добу. З урахуванням цього прийнято, що середній інтервал прибуття поїздів у розформування з підходів Б і Г складає $M[I_{Б,Г}^*] = 80$ хв при $I^* = 15$ хв і розподілений за законом Ерланга з параметром $K=1$.

4.2 Визначення параметрів поїздів, що прибувають на станцію

Для визначення параметрів составів поїздів, необхідних для моделювання вхідного потоку, виконаний аналіз розмічених ТГНЛ 200 поїздів, які були розформовані на сортувальній станції К. В результаті аналізу отримано статистичний ряд розподілу випадкового числа вагонів m у складі і його параметри (див. таблицю).

Таблиця 4.3 – Розподіл випадкового числа вагонів у складі поїздів у розформування

m_i	$m_{срi}$	n_i	p_i^*	Параметри
12 – 16	14	4	0,020	$M[m] = 46,25$ ваг. $D[m] = 155,94$ ваг. ² . $S[m] = 12,49$ ваг.
17 – 21	19	8	0,040	
22 – 26	24	7	0,035	
27 – 31	29	16	0,080	
32 – 36	34	10	0,050	
37 – 41	39	16	0,080	
42 – 46	44	14	0,070	
47 – 51	49	26	0,130	
52 – 56	54	57	0,285	
57 – 61	59	42	0,210	
Разом		200	1,000	

Гістограма розподілу випадкового числа вагонів у складі поїзда у розформування m наведена на рисунку .

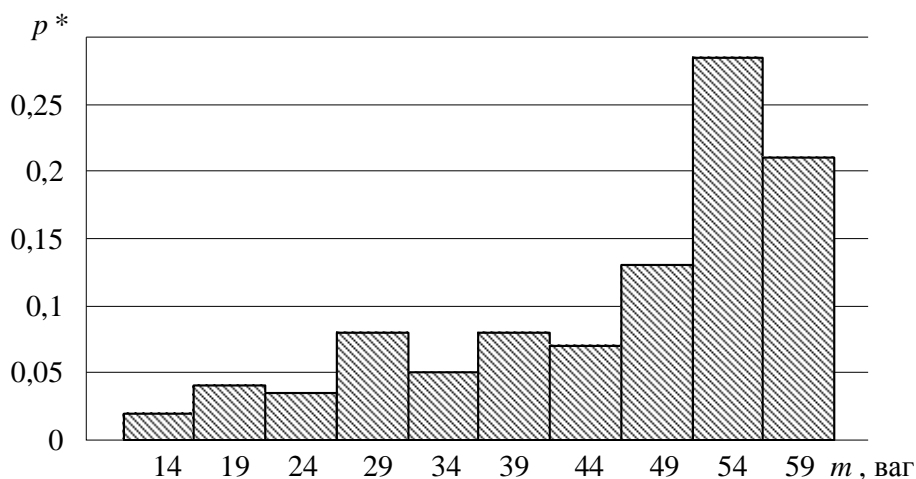


Рисунок 4.3 – Розподіл випадкового числа вагонів у складі поїзда m

Як видно з наведених даних, найбільш ймовірне значення числа вагонів у складі поїзда становить 52-56; в той же час досить велике число складів, що надходять до станції, мають незначну довжину, так що математичне очікування становить $M[m] = 46,25$ вагонів.

4.3 Визначення параметрів системи обслуговування

ФМС в процесі моделювання повинна імітувати реальний технологічний процес обробки поїздів і маневрових передач, як за структурою, так і за тривалістю виконання окремих операцій. При цьому необхідно враховувати, що тривалість виконання операції є випадковою величиною з деяким законом розподілу. З метою отримання характеристик законів розподілу випадкових величин тривалості обслуговування був виконаний хронометраж процесу обробки 30-ти поїздів. При цьому фіксувалися такі дані: номер поїзда, кількість вагонів в поїзді $N_{\text{ваг}}$, тривалість закріплення $T_{\text{закр}}$, тривалість огляду складу $T_{\text{то}}$, тривалість прибирання башмаків $T_{\text{пб}}$, тривалість розпуску $T_{\text{р}}$, тривалість обробки документів $T_{\text{док}}$, тривалість коригування документів $T_{\text{кор}}$. Дані хронометражу наведені у додатку А (див. таблицю А.2).

Слід зазначити, що випадкові величини $T_{\text{закр}}$, $T_{\text{то}}$, $T_{\text{пб}}$, $T_{\text{р}}$ не є незалежними, так як тривалість виконання відповідних технологічних операцій залежить від числа вагонів $N_{\text{ваг}}$ у складі поїзда, тобто $T = f(N_{\text{ваг}})$. Про наявність вказаної залежності свідчать поля точок і значення коефіцієнтів кореляції r вказаних величин з числом вагонів $N_{\text{ваг}}$ в складі (див. рисунок 4.4).

Вказані залежності для кожної з розглянутих випадкових величин отримані за допомогою регресійного аналізу:

$$T_{\text{закр}} = \frac{1}{0,54034 - 0,00596 \cdot N_{\text{ваг}}} \quad (\text{модель m1}),$$

$$T_{\text{пр}} = \frac{1}{1 - e^{0,007017 \cdot N_{\text{ваг}} - 0,69523}} \quad (\text{модель m2}),$$

$$T_{\text{то}} = \frac{1}{0,09982 - 0,00133 \cdot N_{\text{ваг}}} \quad (\text{модель m3}),$$

$$T_p = 14,23423 \cdot N_{\text{ваг}} - 40,30825 \quad (\text{модель м4}).$$

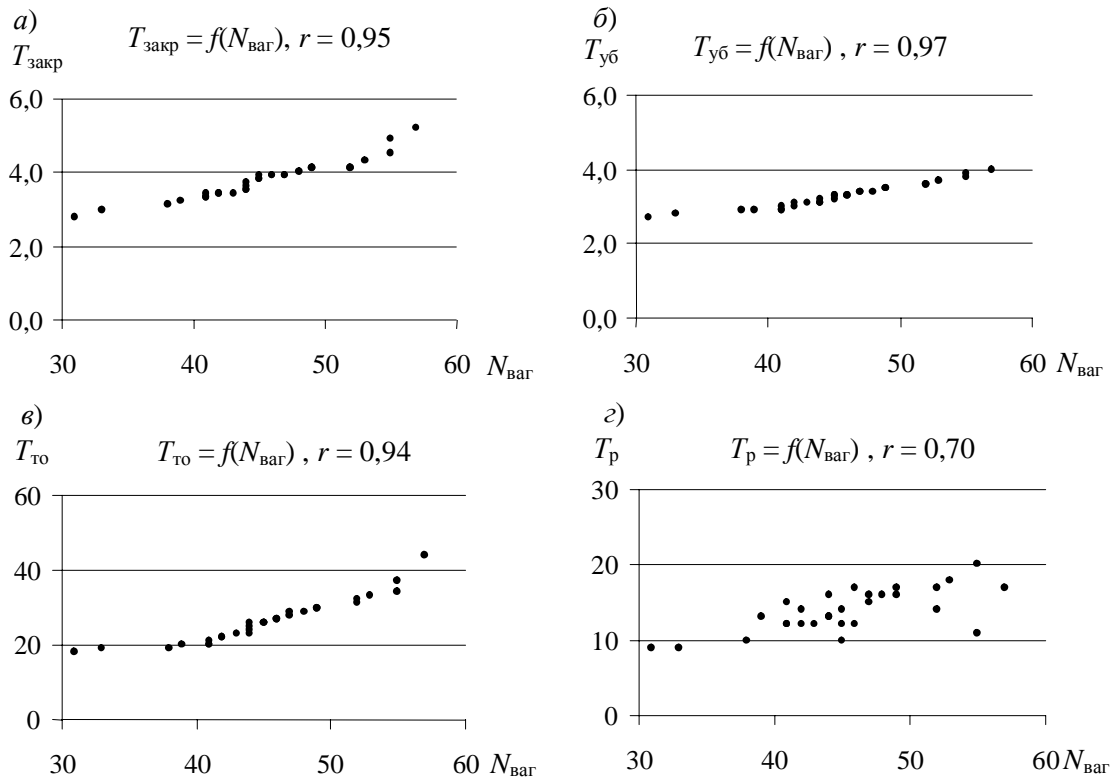


Рисунок 4.4 – Залежність тривалості операції від числа вагонів у складі поїзда: *а* – закріплення складу; *б* – технічний і комерційний огляд; *в* – прибирання башмаків; *г* – насув і розпуск составу

У той же час, як видно з рисунку 4.5, випадкові величини $T_{\text{док}}$ і $T_{\text{кор}}$ практично не залежать від числа вагонів у складі поїзда, а відповідні коефіцієнти кореляції близькі до нуля.

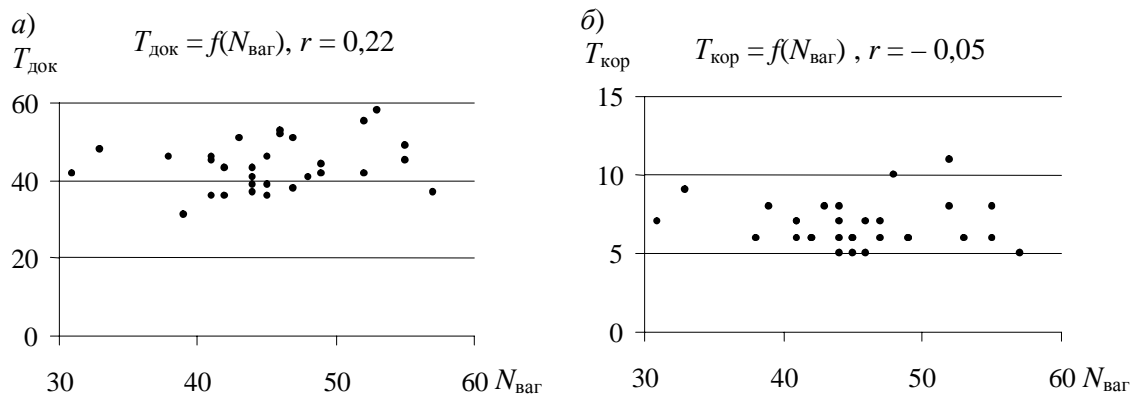


Рисунок 4.5 – Залежність тривалості операції від числа вагонів у складі поїзда: *а* – обробка документів; *б* – коригування інформації про склад поїзда

У цьому зв'язку значення $T_{\text{док}}$ і $T_{\text{кор}}$ можуть моделюватися як випадкові величини з певним законом розподілу і параметрами, для чого виконана статистична обробка даних, отриманих в результаті натурних спостережень. При цьому визначалися наступні параметри випадкових величин:

- середнє значення випадкової величини $M[X]$;
- дисперсія випадкової величини;
- середньоквадратичне відхилення $\sigma[X]$;
- критерій згоди Пірсона χ^2 для перевірки гіпотези про закон розподілу випадкової величини.

Для кожної випадкової величини побудований статистичний ряд, отримані значення параметрів розподілу і виконана перевірка гіпотези про закон розподілу (див. додаток В). Результати розрахунків наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати статистичної обробки даних натурних спостережень

№	Показник	\bar{x} , хв	$D[X]$, хв ²	$\sigma[X]$, хв	Закон розподілу	χ^2
1	Тривалість обробки документів, хв	43,83	36,56	6,05	логарифмічно нормальний	2,37
2	Тривалість коригування документів, хв	6,30	2,03	1,42	логарифмічно нормальний	3,82

Порівняння розрахованих значень χ^2 з відповідними критичними значеннями показало, що прийняті гіпотези про розподіл випадкових величин не суперечать дослідним даним.

Для детальшого аналізу і наступного синтезу СА технологічний процес обробки составів поїздів у розформування зручно представити структурно-часової таблицею комплексу операцій (таблиця 4.5) та у вигляді мережевого графіка (рисунок 4.6). При цьому, слід враховувати, що тривалість виконання деяких операцій ТП є випадковою величиною, і тому реалізації вказаного графіка для окремих составів можуть відрізнятися як своїми параметрами, так і критичним шляхом.

Таблиця 4.5 – Структурно-часова таблиця комплексу операцій, які виконуються із составом поїзда у розформування

№ п/п	Операція	Попередні операції	Виконавець	f	Модель для визначення тривалості операції	Параметри операції, хв	
						$M[t]$	σ_t
1	Прибуття поїзда	–	Поїзний локомотив	1	0	2,0	0
2	Закріплення состава	1	Сигналіст	0	m1	–	–
3	Обробка документів	1	Оператор СТЦ	0	3	43,8	6,1
4	Відчеплення поїзного локомотива	2	Поїзний локомотив	0	1	1,0	0
5	Огородження состава	4	Оператор ПТО	0	1	0,2	0
6	Технічний і комерційний огляд	5	Бригада ПТКО	0	m2	–	–
7	Зняття огороження	6	Оператор ПТО	0	1	0,2	0
8	Коригування інформації про состав	3, 6	Оператор СТЦ	0	3	6,3	1,4
9	Заїзд і причеплення гіркового локомотива	7	Гірковий локомотив	1	0	–	–
10	Прибирання башмаків	9	Сигналіст	0	m3	–	–
11	Насув і розпуск	8, 10	Гірковий локомотив	0	m4	–	–

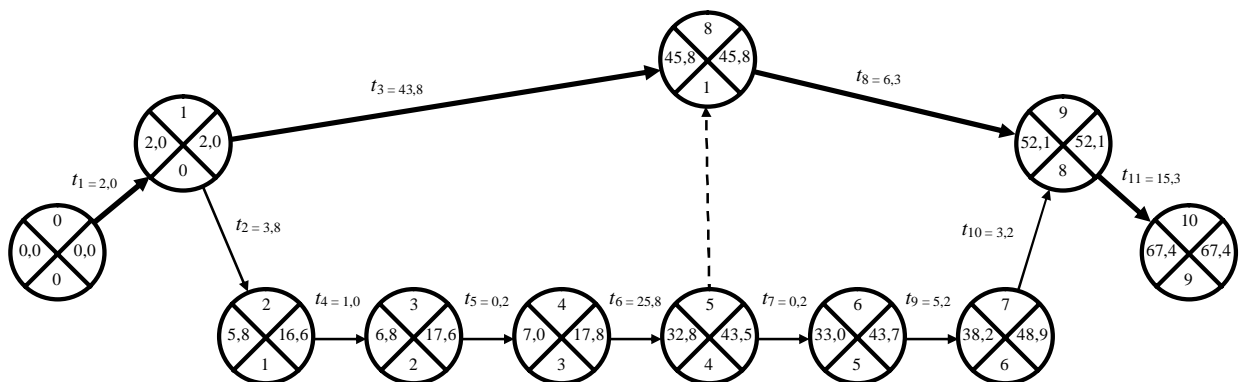


Рисунок 4.6 – Мережевий графік обробки поїзда у розформування

У структурно-часовій таблиці (див. табл. 4.5) у стовпці «Попередні роботи» вказані номери тих операцій, які обов'язково повинні бути виконані до початку даної операції.

У табл. 4.5 відображено закріплення окремих виконавців за конкретним составом поїзда у розформування при виконанні деяких операцій, після

яких він не звільняється і не може перейти до обслуговування інших об'єктів ($f_i = 1$). Так, поїзний локомотив не звільняється після прийому поїзда ($f_1 = 1$), а очікує відчеплення від составу ($f_4 = 0$); гірковий локомотив не звільняється після операції заїзду і причеплення до составу ($f_9 = 1$), а тільки після його розпуску ($f_{11} = 0$). Решта виконавців звільняються відразу після завершення поточної операції; при цьому вони можуть у проміжку між окремими операціями з даним составом виконувати відповідні операції з іншими поїздами. Наприклад, сигналіст між операціями 2 і 10 для даного составу може виконувати аналогічні операції з іншими составами.

Як показали дослідження, тривалість ряду операцій (див. табл. 4.5, операції 2, 6, 10) пропорційна числу вагонів у складі $N_{\text{ваг}}$; при цьому відповідна модель (функціональна залежність $t_i = f_i(X)$) може бути отримана регресійним методом в результаті обробки експериментальних даних. В табл. 4.5 моделі $t_i = f_i(X)$ для розрахунків часу i -ої операції представляють їх ідентифікаторами (m1 – операція 2, m2 – операція 6, m3 – операція 10 і m4 – операція 11).

Операції 3, 8 (див. табл. 4.5) являють собою випадкові величини з певним (логарифмічно нормальним) законом розподілу і чисельними параметрами $M[t]$, $\sigma[t]$ (див. табл. 4.5). Для деяких операцій час виконання може бути прийнято постійним. В таких випадках в табл. 4.5 замість ідентифікатора моделі вказують код закону розподілу відповідної величини (1 – величина постійна, 2 – нормальний закон розподілу, 3 – логарифмічно нормальний, 4 – Ерланга та ін.).

Тривалість операцій, які пов'язані з переміщеннями рухомого складу (1, 9, 11), визначають шляхом імітаційного моделювання руху відповідних об'єктів і тому у відповідних рядках табл. 4.5 замість ідентифікатора моделі вказують 0.

5 ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Для оцінки адекватності ФМС був виконаний статистичний аналіз випадкових величин тривалості знаходження составів поїздів у розформування у парку прибуття, отриманих на реальній станції і методом моделювання. З цією метою досліджено вибірки вказаних значень часу, отриманих в результаті спостережень на станції $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$, $n_x = 70$ і в результаті моделювання $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$, $n_y = 50$.

За даними вибірок визначені статистичні оцінки математичних очікувань \bar{x} та \bar{y} і середніх квадратичних відхилень s_x і s_y , а також виконана перевірка гіпотез про закон розподілу випадкових величин X і Y . З цією метою була висунута гіпотеза H про те, що випадкова величина X має логарифмічно-нормальний розподіл ($H: F_X(x) = \Phi(\ln x; \mu; \sigma^2)$, $x \geq 0$). Тут $\Phi(z; \mu; \sigma^2)$ – функція нормального розподілу випадкової величини $Z = \ln X$ з параметрами (μ, σ^2) .

Для перевірки гіпотези H використовувався критерій згоди χ^2 , обчислений за даними вибірки $(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$, статистичний ряд розподілу якої наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок χ^2 для вибірки значень випадкової величини X

Інтервал $x, хв$	m	p	np	Параметри
10,0 – 45,0	6	0,101	7,10	$x_{\min} = 28,0 хв$ $x_{\max} = 189,0 хв$ $\bar{x} = 82,50 хв$ $\sigma_x = 35,285 хв$ $\chi^2 = 1,03$
45,0 – 80,0	34	0,450	31,53	
80,0 – 115,0	18	0,293	20,54	
115,0 – 150,0	9	0,107	7,48	
150,0 – 185,0	2	0,033	2,33	
185,0 – 220,0	1	0,015	1,02	

Окремі значення p_i в даній таблиці визначалися як

$$p_i = \Phi\left(\frac{\ln x_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\ln x_{i-1} - \mu}{\sigma}\right), \quad (5.1)$$

де $\mu = \ln \bar{x} = 4,32$ и $\sigma = \sigma_{\ln x} = 0,44$.

При рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числі ступенів свободи $\nu = (6 - 1) - 2 = 3$ квантиль $\chi^2_{3; 0,95} = 7,80$. Оскільки для дослідних даних (див. табл. 5.1) $\chi^2_x = 1,03 < 7,80$, то результати спостережень $(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ не суперечать основній гіпотезі H . Таким чином, можна визнати, що випадкова величина X підпорядкована логарифмічно-нормальному закону розподілу. Гістограма розподілу і крива логарифмічно-нормального розподілу для випадкової величини X наведені на рисунку 5.1.

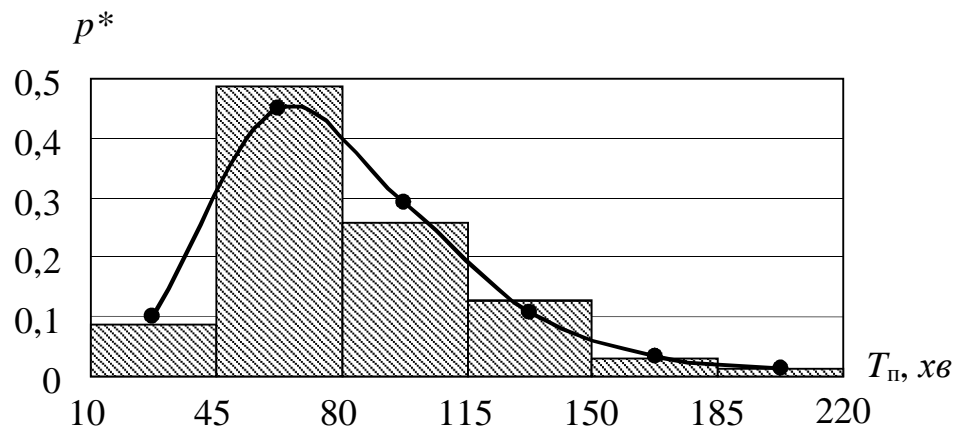


Рисунок 5.1 – Гістограма розподілу випадкової величини простою поїзда в парку (натурні дані)

Така ж гіпотеза висунута про розподіл випадкової величини Y . Для аналізу використовувалася вибірка значень $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$, отриманих в результаті моделювання добової роботи парку прибуття; обсяг вибірки $n_y = 50$. Результати розрахунку статистичних параметрів розподілу, а також критерію χ^2_y наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок χ^2 для вибірки значень випадкової величини Y

Інтервал $y, хв$	m	p	np	Параметри
45,0 – 65,0	13	0,266	13,32	$y_{\min} = 57,0 хв$ $y_{\max} = 191,0 хв$ $\bar{y} = 85,80 хв$ $\sigma_y = 30,779 хв$ $\chi^2 = 6,30$
65,0 – 85,0	19	0,292	14,61	
85,0 – 105,0	7	0,216	10,81	
105,0 – 125,0	4	0,121	6,03	
125,0 – 145,0	5	0,058	2,92	
145,0 – 165,0	1	0,026	1,31	
165,0 – 185,0	0	0,011	0,57	
185,0 – 205,0	1	0,008	0,42	

Значення p_i у табл. 5.2 обчислювалися за допомогою виразу (5.1) при $\mu = \ln \bar{y} = 4,40$ і $\sigma = \sigma_{\ln y} = 0,32$.

При рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числі ступенів свободи $\nu = (8 - 1) - 2 = 5$ квантиль $\chi^2_{5; 0,95} = 11,10$. Оскільки обчислене за даними моделювання (див. табл. 5.2) значення $\chi^2_y = 6,30 < 11,10$, то результати моделювання $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$ не суперечать основній гіпотезі H . Отже, можна стверджувати, що випадкова величина тривалості знаходження составів поїздів у розформування у парку прибуття Y , отримана за даними моделювання, також розподілена по логарифмічно-нормальному закону. Гістограма розподілу і крива логарифмічно-нормального розподілу для випадкової величини Y наведені на рисунку 5.2.

Таким чином, в результаті статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини X і Y підкоряються логарифмічно-нормальному закону; розподілення з вельми близькими параметрами: для станції і для моделі оцінки математичного очікування, відповідно рівні $\bar{x} = 82,50 хв$ і $\bar{y} = 85,80 хв$; оцінки середнього квадратичного відхилення – $s_x = 35,285 хв$, $s_y = 30,779 хв$.

Отримані статистичні параметри свідчать про близькість результатів моделювання дослідним даним.

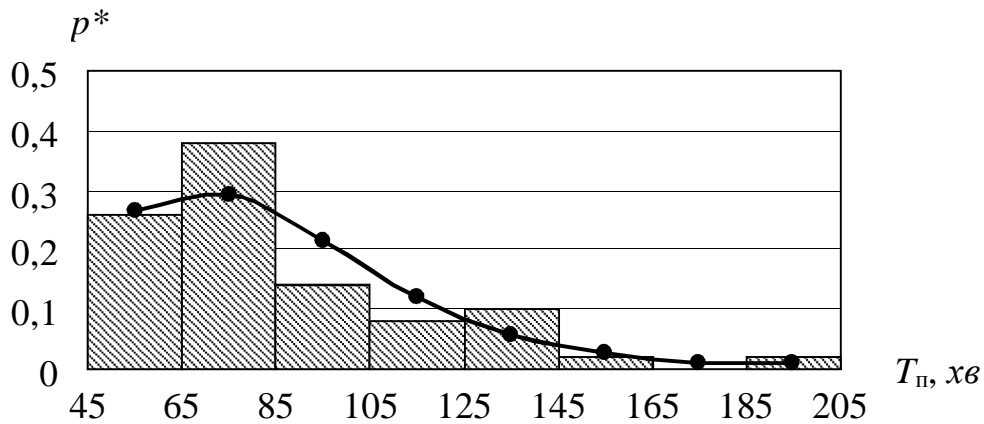


Рисунок 5.2 – Гістограма розподілу випадкової величини простою поїздів у парку (результати моделювання)

Для підвищення достовірності твердження про адекватність моделі за даними вказаних вибірок була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї і тієї ж генеральної сукупності. З цією метою був використаний U -критерій Уилкоксона [68], який призначений для перевірки гіпотези H про те, що функції розподілу F_X і F_Y двох генеральних сукупностей однакові ($H: F_X = F_Y$); конкуруюча гіпотеза $H_1: F_X \neq F_Y$. Значення критерії Уилкоксона визначаються за допомогою виразів

$$u_x = R_x - \frac{n_x(n_x + 1)}{2}, \quad (5.2)$$

$$u_y = R_y - \frac{n_y(n_y + 1)}{2}, \quad (5.3)$$

де R_x, R_y – сума рангів, які відповідають елементам вибірок x_i ($i = 1, \dots, n_x$) і y_j ($j = 1, \dots, n_y$).

Ранги r_i (r_j) являють собою номери елементів обох вибірок, розподілених в порядку зростання ($r \in [1, n_x + n_y]$). В результаті розрахунку вказаних

статистик для вибірок x_i та y_j отримано значення $R_x = 4008$, $u_x = 1523$ і $R_y = 3252$, $u_y = 1977$.

При перевірці гіпотези $H: F_x = F_y$ проти конкуруючої гіпотези $H_1: F_x \neq F_y$ приймається двостороння критична область; при цьому гіпотеза H відкидається, якщо $\min(u_x, u_y) < U_{n_x, n_y, \alpha}$. При великих значеннях $n = n_x + n_y$ наближене значення критичного значення можна визначити як

$$U_{n_x, n_y, \alpha} \approx \frac{1}{2} n_x n_y - \lambda_q \sqrt{\frac{1}{12} n_x n_y (n_x + n_y + 1)}, \quad (5.4)$$

де λ_q – квантиль порядку q нормального розподілу $N(0,1)$.

Квантиль q визначається за прийнятим рівнем значущості

$$q = 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad (5.5)$$

де α – рівень значущості (прийнято $\alpha = 0,05$).

Для розглянутих вибірок x_i і y_j $n = 70 + 50 = 120$, $\lambda_{0,975} = 1,960$, $U_{n_x, n_y, \alpha} = 1381,80$. Так як $\min(u_x, u_y) = 1523 > 1381,80$, то основна гіпотеза H про приналежність вибірок x_i і y_j однієї генеральній сукупності не суперечить експериментальним даним і може бути прийнята.

Таким чином, можна зробити висновок, що ергатичних модель парку прибуття адекватна реальній станції.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

Імітаційне моделювання станцій виконується з метою дослідження та отримання техніко-економічної оцінки різних реконструктивних і організаційних заходів, спрямованих на удосконалення технічного оснащення та технології роботи станцій. З цією метою з ергатичною моделлю станції виконується серія експериментів при змінах конструкції колійного розвитку станції, її технічного оснащення і технології роботи. ФМС дозволяє за результатами моделювання встановити значення техніко-експлуатаційних показників, які використовуються для аналізу роботи станції, а також для техніко-економічного порівняння і вибору варіантів удосконалення конструкції та технології її роботи.

6.1 Імітаційне моделювання роботи станції з використанням ергатичної моделі

Для оцінки ефективності методики імітаційного моделювання станцій використана ергатична функціональна модель підсистеми розформування сортувальної станції К. До складу ФМС включена інформаційна модель (див. рис. 3.6), за допомогою якої ОВМ управляє роботою підсистеми розформування, виконуючи основні функції ДСП (парк прибуття «П»).

В процесі моделювання в парк прийому «П» прибувають поїзда у розформування. Перед прибуттям чергового поїзда в інформаційній моделі з'являється вікно з інформацією про номер поїзда і напряму, з якого він прибуває (рисунок 6.1). При цьому в список об'єктів ІМ (див. рис. 3.6, 3) додається номер даного поїзда.

ОВМ керує прийомом поїзда у парк, вибираючи номер колії приймання. Для цього необхідно натиснути на кнопку, що відповідає певному підходу, а потім на кнопку з номером обраної колії прийому. Наприклад, для прийому поїзда з напряму А на 5-ту колію необхідно по чергову натиснути кнопки «А» і «5» (див. рис. 3.6, 6). Така організація моделі дозволяє значно

спростити управління прийомом поїздів, при цьому в моделі станції автоматично виконуються всі необхідні дії, пов'язані з приготуванням маршруту приймання на реальній станції без участі ОВМ. Модель перевіряє стан ізольованих ділянок і станційних сигналів, положення стрілочних переводів, включених в маршрут, і, якщо маршрут можливий, то в ІМ лінії (див. рис. 3.6, 1), що відповідають колійним і стрілочним ізольованим секціям маршруту, фарбуються в жовтий колір. Це дозволяє ОВМ контролювати правильність виконання заданої команди. Якщо дані дії в інформаційній моделі не виконуються, то це свідчить про неможливість реалізації даного маршруту. При наявності варіантних маршрутів в моделі здійснюється їх вибір в порядку переваги.

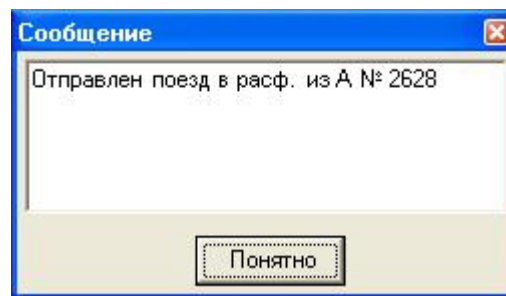


Рисунок 6.1 – Вікно з інформацією про підхід і номер поїзда

Після прибуття поїзда його номер відображається в інформаційному полі, розташованому на шляху прийому (див. рис. 3.6, 4). Надалі в цьому ж полі будуть відображатися назви технологічних операцій, які будуть виконуватися з даним складом в поточний момент. Після відчеплення поїзного локомотива від складу у відповідному полі відобразиться його номер, а в список об'єктів додасться номер локомотива. Потім поїзний локомотив в автоматичному режимі, без участі ОВМ, направляється в локомотивне депо. Зазначені дії відображуються в ІМ для інформування ОВМ.

Після закінчення технічного та комерційного огляду складу ОВМ повинен дати команду гірковому локомотиву для виконання заїзду на відповідну колію для причеплення до складу. Для цього необхідно в полі, відповідному поточному положенню гіркового локомотива, активізувати контекстне

меню (див. рис. 3.6, 5), в якому зазначено перелік всіх можливих маршрутів його руху. За допомогою меню ОВМ направляє локомотив за відповідним маршрутом. Для контролю маршрут руху гіркового локомотива в ІМ відображається жовтим кольором ліній, які міняють колір спочатку на червоний, при занятті ізольованих секції, а потім на чорний – при їх звільненні. Після причеплення гіркового локомотива ОВМ повинен дати команду для виконання насуву та розпуску складу. Для цього в полі, відповідному поточному положенню складу, необхідно активізувати меню команд і вибрати команду «Почати насув». Подальші операції по насуву та розпуску складу виконуються в автоматичному режимі.

Після того, як гірковий локомотив закінчить розпуск і звільниться, у полі, що відповідає ділянці колії насуву в районі вершини гірки, відобразиться його ідентифікатор (ГЛ1). Далі, в залежності від ситуації, що склалася, ОВМ дає команду локомотиву для виконання подальших дій.

В парк прийому можуть надходити місцеві передачі з під'їзної колії для розформування. В момент готовності чергової місцевої передачі до перестановки в ІМ з'являється вікно з відповідним повідомленням, а в список об'єктів додається ідентифікатор даної групи вагонів.

Склад вагонів місцевої передачі переставляється в парк гірковим локомотивом. Тому ОВМ спочатку повинен встановити локомотив на будь-якій вільній колії прийому, а потім активізувати контекстне меню і дати команду локомотиву «Слідувати на П/К». Слідування гіркового локомотива на під'їзну колію і причеплення його до складу місцевої передачі здійснюється в автоматичному режимі без участі ОВМ. Після причеплення локомотива до складу ОВМ повинен у діалоговому вікні обрати маршрут прямування місцевої передачі з під'їзної колії на одну з колій парку прийому. По закінченні перестановки складу в парк ОВМ повинен дати команду про початок його насуву та розпуску.

Процес моделювання завершується по закінченні обробки останнього об'єкта у вхідному потоці.

6.2 Методика економічної оцінки варіантів технічного оснащення і технології роботи станції

В якості узагальненого критерію для оцінки розглянутих варіантів удосконалення конструкції та технології роботи станцій використовуються модифіковані приведені витрати [66]

$$\text{МПВ} = K + (E \cdot (1 - H_{\text{мп}}) - A \cdot H_{\text{мп}}) \cdot \frac{1 - (1 + D)^{-T}}{D}, \quad (6.1)$$

де K – капітальні вкладення, грн.;

E – щорічні експлуатаційні (поточні) витрати без урахування амортизаційних відрахувань, грн.;

A – амортизаційні відрахування, грн.;

$H_{\text{мп}}$ – норма податку на прибуток, 25%, тобто $H_{\text{мп}} = 0,25$;

D – ставка дисконту (мінімальна необхідна норма доходу на капітал), 15%, тобто $D = 0,15$;

T – тривалість життєвого циклу проекту, $T = 10$ років.

Капітальні вкладення включають витрати, пов'язані з реконструкцією колійного розвитку станції і витрати, що необхідні на придбання додаткових маневрових локомотивів

$$K_i = L_k \cdot C_k + n_{\text{сп}} \cdot C_{\text{сп}} + M_{\text{лок}} \cdot C_{\text{лок}}, \quad (6.2)$$

де L_k – загальна довжина колій, які демонтуються, км;

$n_{\text{сп}}$ – загальне число стрілочних переводів, які демонтуються;

$M_{\text{лок}}$ – кількість, додаткових маневрових локомотивів;

C_k – вартість демонтажу 1 км станційних колій ($C_k = 700$ тис. грн./км);

$C_{\text{сп}}$ – вартість демонтажу одного стрілочного переводу ($C_{\text{сп}} = 180$ тис. грн.);

$C_{\text{лок}}$ – вартість придбання одного маневрового локомотива ($C_{\text{лок}} = 2000$ тис. грн.).

Експлуатаційні витрати за варіантом включають в себе витрати, пов'язані з утриманням технічних засобів і оплатою праці працівників станції, а також витрати, пропорційні розмірам руху:

$$E = E_k + E_{км} + E_{сп} + E_{лок} + E_{пто} + E_p, \quad (6.3)$$

де E_k , $E_{км}$, $E_{сп}$ – витрати на утримання, відповідно, станційних колій, контактної мережі і стрілочних переводів, грн.;

$E_{лок}$ – витрати на утримання маневрових локомотивів і оплату праці складальних бригад;

$E_{пто}$ – витрати, пов'язані з оплатою праці та утриманням бригад оглядачів вагонів;

E_p – витрати, пропорційні розмірам руху.

Витрати, пов'язані з утриманням технічних засобів, визначаються як

$$E_k = L_k \cdot e_k, \quad (6.4)$$

$$E_{км} = L_{км} \cdot e_{км}, \quad (6.5)$$

$$E_{сп} = n_{сп} \cdot e_{сп}, \quad (6.6)$$

$$E_{лок} = M_{лок} \cdot e_{лок}, \quad (6.7)$$

де e_k – вартість утримання 1 км станційних колій ($e_k = 300$ тис. грн./рік);

$e_{км}$ – вартість утримання 1 км контактної мережі ($e_{км} = 80$ тис. грн./рік);

$e_{сп}$ – вартість утримання одного стрілочного переводу ($e_{сп} = 50$ тис. грн./рік);

$e_{лок}$ – вартість утримання маневрового локомотива, включаючи витрати на утримання та оплату праці складальних бригад ($e_{лок} = 300$ тис. грн./рік).

Витрати, пов'язані з оплатою праці та утриманням бригад оглядачів вагонів, визначаються за формулою

$$E_{\text{пто}} = 4,3 S_{\text{бр}} K_{\text{гр}} e_{\text{пто}}, \quad (6.8)$$

де $S_{\text{бр}}, K_{\text{гр}}$ – відповідно, кількість бригад ПТО і груп оглядачів вагонів в кожній бригаді;

$e_{\text{пто}}$ – вартість утримання однієї групи оглядачів вагонів ($e_{\text{пто}} = 60$ тис. грн./рік).

Для розрахунку статей експлуатаційних витрат, пропорційних розмірах руху, використовуються результати, отримані при моделюванні. Для розрахунків використовується методика групових норм [67].

Експлуатаційні витрати, пропорційні розмірам руху визначаються за формулою

$$E_p = 365 \left(\frac{t_n}{60} e_{\text{в-г}} \cdot N_p \cdot m + N_p \cdot p_3 \frac{t_3}{60} e_{\text{п-г}} \right), \quad (6.9)$$

де t_n – середній простій рухомого складу в парку прибуття, хв;

N_p – добова кількість поїздів у розформування;

m – середня кількість вагонів у складі поїзда, $m = 46,25$ вагона (див. розділ 4);

p_3 – імовірність затримки поїзда на сусідній станції у зв'язку з відсутністю вільних колій у парку прибуття;

t_3 – середня тривалість затримки поїзда на сусідній станції, хв;

$e_{\text{в-г}}, e_{\text{п-г}}$ – відповідно вартість однієї вагоно-години і поїздо-години простою, $e_{\text{в-г}} = 3,01$ грн., $e_{\text{п-г}} = 540,74$ грн.

Амортизаційні відрахування визначаються прямолінійним методом за формулою

$$A = \frac{K}{T}. \quad (6.10)$$

При визначенні доцільного варіанта технічного оснащення і технології роботи станції вважається, що варіант з найменшим значенням показника МПВ (6.1) є найбільш ефективним.

6.3 Визначення раціональної конструкції та ефективної технології роботи станції

Дослідження і пошук раціональних варіантів технічного оснащення і технології роботи за допомогою ергатичної функціональної моделі станції виконано для парку прийому сортувальної станції К, схема колійного розвитку якого приведена на рисунку 6.2.

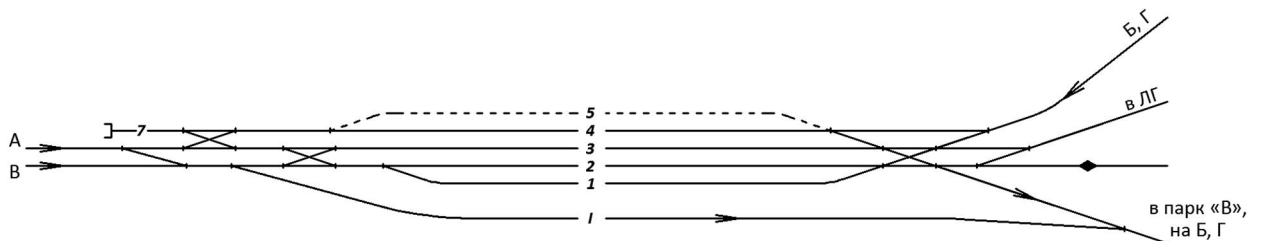


Рисунок 6.2 – Схема колійного розвитку парку прийому «П»

Розроблена ергатична модель парку прийому після її ідентифікації та оцінки адекватності використана для техніко-економічної оцінки наступних варіантів удосконалення конструкції її колійного розвитку та технології роботи:

- необхідність колії № 5 у парку;
- збільшення числа гіркових локомотивів;
- збільшення числа бригад ПТО.

Для отримання техніко-експлуатаційних показників, що характеризують роботу парку в різних умовах, була виконана серія імітаційних експериментів з його моделлю. При цьому було розглянуто ряд варіантів станції, що розрізняються числом колій у парку прийому, кількістю маневрових локомотивів і бригад ПТО (див. таблицю 6.1). За результатами моделювання отримані оцінки техніко-експлуатаційних показників станції за добовий період роботи (див. таблиці 6.2, 6.3). Вибір раціонального варіанту конструкції та

організації роботи для різних розмірів руху виконаний по мінімуму модифікованих приведених витрат, методика визначення яких наведена в п. 6.2.

Таблиця 6.1 – Варіанти удосконалення конструкції колійного розвитку та технології роботи парку прийому

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8
Число колій прийому	4				5			
$n_{л}$	1		2		1		2	
$S_{бр}$	1	2	1	2	1	2	1	2

Для оцінки значень, $t_{п}$, t_3 і p_3 по розглянутим варіантам виконано моделювання роботи парку прийому за допомогою ергатичної функціональної моделі при змінному добовому розмірі руху N_p (див. табл. 6.2 та 6.3).

Таблиця 6.2 – Визначення раціональних технологічних параметрів системи обслуговування при чотирьох коліях у парку прийому «П»

Показники	Значення показників по варіантам											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
N_p , п/добу	20				35				50			
$n_{л}$	1		2		1		2		1		2	
$S_{бр}$	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$t_{п}$, хв	70,73	68,93	68,67	67,07	82,16	82,92	73,84	73,32	104,49	102,26	77,00	76,57
t_3 , хв	-	-	-	-	1,40	-	0,36	0,68	84,94	48,14	9,20	7,00
p_3	-	-	-	-	0,08	-	0,12	0,08	0,54	0,54	0,34	0,31
L , км	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$n_{сп}$, компл.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Елементи витрат	Значення елементів витрат, млн. грн.											
K_i	2,96	2,96	4,96	4,96	2,96	2,96	4,96	4,96	2,96	2,96	4,96	4,96
E_k	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$E_{км}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$E_{сп}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$E_{лок}$	0,30	0,30	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,60
$E_{пто}$	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52
E_p	1,20	1,17	1,16	1,14	2,45	2,46	2,19	2,18	11,97	8,61	3,77	3,60
A	0,30	0,30	0,50	0,50	0,30	0,30	0,50	0,50	0,30	0,30	0,50	0,50
МПВ	9,19	10,05	11,94	12,81	13,90	14,91	15,82	16,74	49,74	38,05	21,77	22,08

Таблиця 6.3 – Визначення раціональних технологічних параметрів системи обслуговування при п'яти коліях у парку прийому «П»

Показники	Значення показників по варіантам											
	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
N_p , п/добу	20				35				50			
$n_{дл}$	1		2		1		2		1		2	
$S_{бр}$	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$t_{п}$, хв	70,73	68,93	68,67	67,07	80,84	82,52	71,04	71,32	110,06	110,94	75,43	74,91
t_3 , хв	-	-	-	-	-	-	0,08	-	30,86	29,37	1,29	1,63
p_3	-	-	-	-	-	-	0,04	-	0,37	0,4	0,17	0,2
L , км	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
$n_{сп}$, КОМПЛ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Елементи витрат	Значення елементів витрат, млн. грн.											
K_i	2,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00	4,00	4,00
E_k	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
$E_{км}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
$E_{сп}$	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
$E_{лок}$	0,30	0,30	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,60	0,30	0,30	0,60	0,60
$E_{пто}$	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52	0,26	0,52
E_p	1,20	1,17	1,16	1,14	2,40	2,45	2,11	2,11	6,54	6,63	3,23	3,23
A	0,20	0,20	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,40
МПВ	9,95	10,81	12,70	13,57	14,46	15,62	16,25	17,25	30,05	31,37	20,48	21,43

Для аналізу отриманих результатів на рисунку 6.3 наведена залежність $МПВ_i = f(N_p)$ для варіантів, що забезпечують мінімум модифікованих приведених витрат при відповідній величині потоку поїздів N_p .

Як видно з графіка (див. рис. 6.3) при добовому обсязі роботи підсистеми розформування до 36 поїздів у парку прийому вигідно мати чотири колії приймання, одну бригаду ПТО і один гірковий локомотив (варіант 1), а при збільшенні розмірів руху необхідно ввести додатковий гірковий локомотив ($n_{дл} = 2$) і збільшити число колій прийому до п'яти (варіант 7).

Добова кількість поїздів, що прибувають у парк прийому «П» сортувальної станції К для розформування, складає 30-32 поїзда. При цьому існуючий колійний розвиток парку складається з 5 колій; також працює одна бригада ПТО і один гірковий локомотив. Ці данні відповідають варіанту 5 з модифікованими приведеними витратами 14,46 млн. грн.

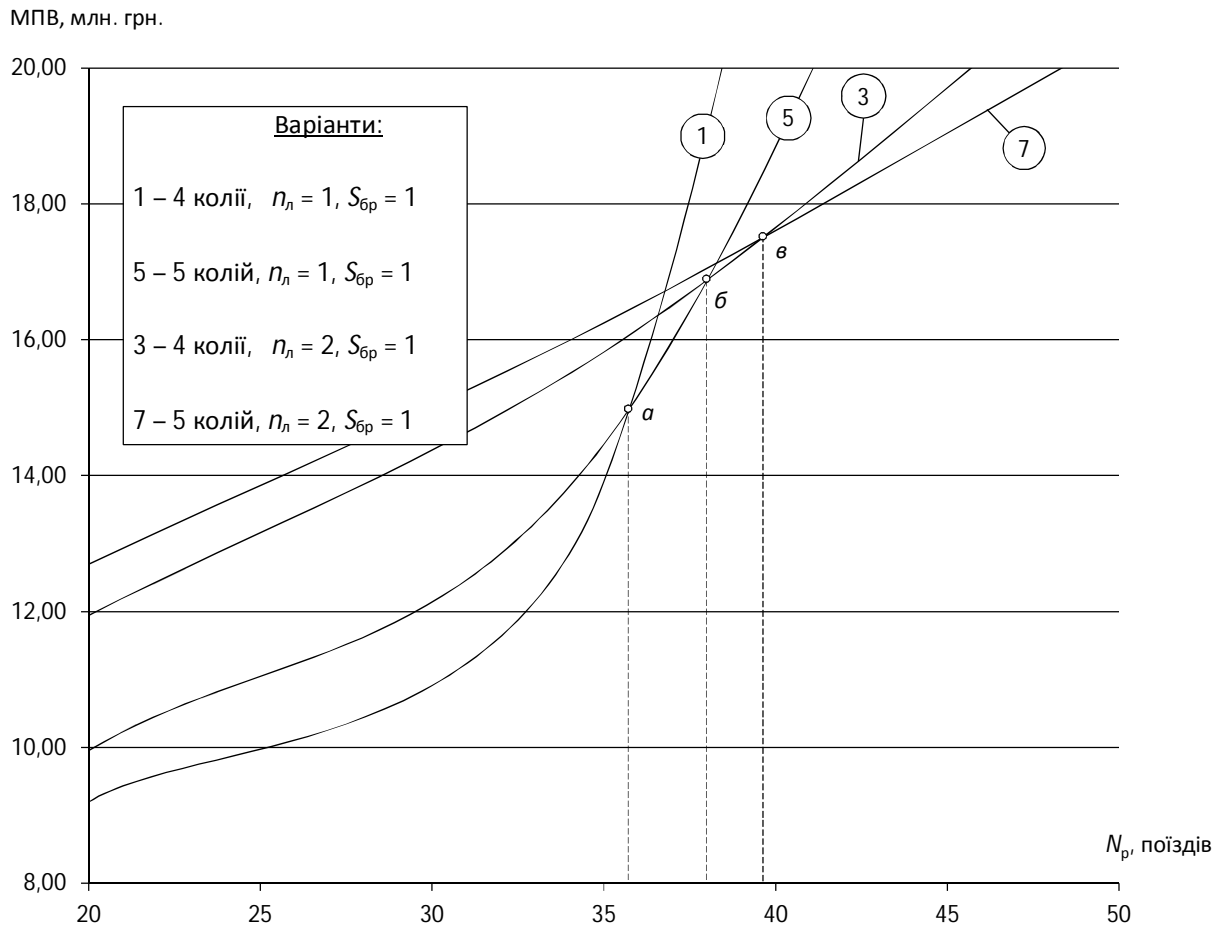


Рисунок 6.3 – Графік залежності модифікованих приведених витрат від добового обсягу робіт за варіантами

Аналіз результатів дослідження показав, що при таких параметрах вхідного потоку та системи обслуговування доцільно мати в парку прийому 4 колії, одну бригаду ПТО і один гірковий локомотив (варіант 1). При цьому модифіковані приведені витрати складають 13,90 млн. грн.

Таким чином, демонтаж колії №5 дозволить отримати економічний ефект у розмірі 0,56 млн. грн. При цьому слід зауважити, що скорочення кількості колій у парку збільшує ризик затримки поїздів на сусідніх станціях у періоди часу з піковими розмірами руху. Тому пропонується колію №5 законсервувати, що потребує менших витрат ніж її демонтаж і, як слідство, збільшить економію витрат понад 0,56 млн. грн.

7 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРАЦІВНИКІВ СОРТУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ТА ДІЇ У АВАРІЙНІЙ СИТУАЦІЇ

7.1 Загальні положення

Робота з охорони праці на сортувальній станції К направлена на виконання вимог Закону України «Про охорону праці» [69], створення безпечних умов праці, попередження виробничого та невиробничого травматизму і професійних захворювань, безумовне додержання законодавства про працю.

Організація роботи з охорони праці на сортувальній станції К здійснюється на основі Системи управління охороною праці (СУОП), розробленою з метою забезпечення безпечних і здорових умов праці, запобігання дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів на працюючих, попередження виробничого травматизму та професійних захворювань, збереження працездатності робітників, забезпечення продуктивності праці.

Одним з основних обов'язків працівників станції є дотримання вимог охорони праці. Кожний працівник станції в межах своїх обов'язків несе особисту відповідальність за виконання вимог охорони праці та безпеки руху.

Забезпечення охорони праці на сортувальній станції К базується на підставі наступних нормативно-правових актах у галузі охорони праці:

– Правила безпеки праці для працівників залізничних станцій і вокзалів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 12.03.2007 № 44 [70];

– Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 29.01.98 № 9 [71];

– Положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15 [72];

– Пам'ятка з охорони праці для працівників станції – ЦД – 0030, затвердженої наказом УЗ від 07.06.2000р. № 207-Ц [73];

– Правила пожежної безпеки на залізничному транспорті - ЦУО-0038, затверджених наказом УЗ від 21.12.2009 № 1322 [74];

– Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях ДНАОП 5.1.11-1.48.00, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України 31.05.2000 № 120 [75];

– Інструкції з охорони праці, розроблені на кожну професію на підставі штатного розкладу сортувальної станції К.

Крім того, на сортувальній станції К діють інструкції з охорони праці під час виконання робіт з інструментом та обладнанням, інструкції по користуванню електро побутовими приладами, ПЕОМ, інструкції з охорони праці під час очищення від снігу стрілочних переводів і колій.

7.2 Умови і порядок допуску працівників сортувальної станції К до самостійної роботи

Працівники сортувальної станції К допускаються до самостійної роботи на відповідних посадах після проходження медичного огляду, вступного та первинного інструктажів на робочому місці, навчання, перевірки теоретичних знань, стажування.

7.2.1 Порядок медичного огляду працівників сортувальної станції К

Особи, які приймаються на станцію К на посади, пов'язані з рухом поїздів та на інші професії, пов'язані з підвищеною небезпекою, шкідливими умовами праці повинні проходити попередній та періодичний медичні огляд відповідно до вимог Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій залізничного транспорту, метрополітенів та підприємств міжгалузевого промислового залізничного транспорту України, затвердженого наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 29.04.2010 №240 [76].

Попередній медичний огляд під час прийняття на роботу на сортувальну станцію К проводиться з метою:

– визначення стану здоров'я працівника і реєстрації вихідних об'єктивних показників здоров'я;

- встановлення фізичної та психофізіологічної придатності особи до роботи за визначеною професією, спеціальністю, посадою;
- встановлення можливості виконання без погіршення стану здоров'я професійних обов'язків у конкретних умовах виробничого середовища й трудового процесу;
- виявлення захворювань, що виникли раніше та можуть негативно впливати на професійно значимі функції.

Періодичні медичні огляди проводяться з метою:

- забезпечення динамічного спостереження за станом здоров'я працівників сортувальної станції К;
- своєчасного виявлення ранніх ознак гострих і хронічних професійних захворювань (отруєнь), загальних та виробничих зумовлених захворювань у працівників станції К;
- вирішення питання щодо можливості працівника станції К продовжувати роботу в конкретних умовах виробничого середовища і трудового процесу;
- розроблення індивідуальних та групових лікувально-профілактичних та реабілітаційних заходів для працівників станції К, що належать за результатами медичного огляду до групи ризику;
- здійснення відповідних оздоровчих заходів.

7.2.2 Організація проведення інструктажів з питань охорони праці на сортувальній станції К.

Згідно з Законом України «Про охорону праці» [69] усі працівники, що приймаються на роботу і в процесі роботи проходять на станції К інструктаж (навчання) з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, про правила поведінки при виникненні аварій згідно з типовим положенням, затвердженим Державним комітетом України по нагляду за охороною праці.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Первинний, повторний, цільовий та позаплановий інструктажі завершуються перевіркою знань, усним опитуванням, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів праці.

Вступний інструктаж з питань охорони праці проводиться з усіма працівниками, які щойно прийняті на роботу на станцію К (постійно або тимчасово) незалежно від їх освіти, стажу роботи. Запис про проведення вступного інструктажу робиться у спеціальному журналі, а також у документі про прийняття працівника на роботу.

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці до початку роботи з працівником новоприйнятим (постійно чи тимчасово), працівником, який буде виконувати нову для нього роботу, відрядженим працівником, який бере безпосередньо участь у виробничому процесі станції.

Працівники, які прийняті на сортувальну станцію К після проведення вступного та первинного інструктажу на робочому місці до початку самостійної роботи повинні під керівництвом досвідчених, кваліфікованих працівників пройти стажування протягом не менше 2-15 змін або дублювання протягом не менше шести змін. Допуск до стажування (дублювання) оформляється наказом начальника дирекції залізничних перевезень. У наказі визначається тривалість стажування (дублювання) та вказується прізвище працівника, відповідального за проведення стажування (дублювання).

Після закінчення стажування (дублювання) та при задовільних результатах перевірки знань з питань охорони праці працівник допускається до самостійної роботи наказом (розпорядженням) начальника дирекції залізничних перевезень.

Про проведення первинного, повторного, позапланового інструктажів, стажування та допуск до роботи робиться запис у журналі з підписом, як того кого інструктували, так і того хто інструктував.

Всі працівники станції К в процесі роботи проходять попереднє спеціальне навчання і перевірку знань з питань охорони праці не рідше одного разу на рік.

7.3 Характеристика основних небезпечних та шкідливих факторів

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що пов'язані з технологічним процесом роботи на сортувальній станції К:

а) небезпечні:

– електричний струм (порушення правил безпеки приводить до електротравм);

– наїзд рухомого складу (робота у зоні інтенсивного руху поїздів, робота на сортувальній гірці, виконання маневрів);

– низька температура повітря у холодну пору року;

– недостатнє освітлення;

– падіння предметів;

– падіння працівників на поверхні та з висоти.

б) до шкідливих факторів відносяться:

– підвищений шум;

– шкідливі вантажі;

– несприятливі метеорологічні умови можуть привести до перегріву чи переохолодженню організму;

– робота у нічний час;

– перенапруження органів зору та слуху, центральної нервової системи, м'язового апарату.

7.4 Охорона праці складача поїздів під час виконання робіт на сортувальній станції К

До виконання маневрової роботи на сортувальній станції К допускаються особи чоловічої статі, що досягли 18 років та пройшли обов'язковий при прийомі на роботу попередній медичний огляд (обстеження) і психіатричне засвідчення, вступний і первинний інструктаж з охорони праці, навчання з охорони праці, стажування на робочому місці і первинну перевірку знань вимог охорони праці.

В процесі роботи складач поїздів має проходити у встановленому порядку періодичне медичне обстеження і психіатричне засвідчення, повторні

інструктажі з охорони праці не рідше 1 разу на три місяці, а також позапланові і цільові інструктажі з охорони праці.

Складачу поїздів необхідно додержуватися правил внутрішнього трудового розпорядку сортувальної станції К, що регламентують порядок прийому та звільнення робітників, основні права, обов'язки і відповідальність сторін трудової угоди, режим роботи, час відпочинку, що застосовуються до робітників міри заохочення і стягнення, а також інші питання регулювання трудових відносин на залізничній станції. Для запобігання охолодження і обмороження при роботі на відкритому повітрі і холодний період року при низьких температурах передбачаються перерви для обігрівання. Тривалість і порядок надання таких перерв встановлюються правилами внутрішнього трудового розпорядку.

Складач поїздів має знати:

- дії на людину небезпечних і шкідливих виробничих факторів і заходи по захисту від їх дій;
- шкідливу дію нафтопродуктів і основних хімічних вантажів на організм людини, а також ознаки отруєння;
- вимоги електробезпеки, пожежної безпеки і виробничої санітарії на сортувальній станції К;
- правила застосування і використання протипожежного обладнання та інвентарю на станції К;
- видимі і звукові сигнали, що забезпечують безпеку руху, знаки безпеки, порядок огороження рухомого складу, небезпечних місць;
- правила надання першої допомоги постраждалим;
- місця збереження аптечки першої допомоги чи сумки з необхідними медикаментами і перев'язочними матеріалами на станції К;
- правила знаходження на залізничних коліях парків станції К;
- безпечні способи виконання маневрової роботи;

Складач поїздів повинен:

- виконувати тільки ту роботу, що входить в його обов'язки чи доручену черговим по сортувальній станції К роботу;

- застосовувати безпечні прийоми виконання робіт і технологічні операції, котрі передбачені технологічним процесом роботи станції К і посадочними обов'язками;

- керувати маневровою роботою по формуванню і розформуванню поїздів, перестановці вагонів, відчепленню і причепленню вагонів до поїздів, подачі і прибиранню вагонів з (на) навантажувально-вивантажувальних колій не загального користування і інших (спеціальних) колій, забезпечуючи особисту безпеку та безпеку людей, руху поїздів і збереженість рухомого складу при осаджуванні маневрового складу вагонами вперед;

- виконувати вимоги забороняючих, попереджувальних, вказівних знаків, надписів і сигналів, що подаються водіями транспортних засобів;

- утримувати в справному стані і чистоті радіостанцію, пристосування і засоби індивідуального захисту;

- дотримуватися вимог пожежної безпеки, мати практичні навички користування протипожежним устаткуванням;

- проходити по території сортувальної станції К по встановлених маршрутах, пішохідних доріжках, переходах;

- бути гранично уважним в місцях руху вагонів і транспорту;

- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку і встановленого режиму праці і відпочинку на станції К;

- вміти надавати першу допомогу потерпілим;

Складач поїздів має дотримуватись наступних вимог пожежної безпеки:

- палити тільки в спеціально відведених для даної мети місцях, що містять надпис «Місця для паління», оснащених засобами пожежогасіння і урнами чи ящиками з піском;

- не використовувати пошкоджені розетки, рубильники та інше електроустаткування;
- не експлуатувати електроди і кабелі з пошкодженою захисною ізоляцією;
- не користуватися електроплитками, електричними чайниками та іншими електронагрівальними приладами, що не мають пристроїв теплового захисту, без підставок з негорючих матеріалів;
- не застосовувати нестандартні електронагрівальні прилади;
- не залишати без нагляду ввімкнені в мережу електронагрівальні прилади;
- не застосовувати відкритого вогню, відкритих нагрівальних приладів;
- не зберігати вибухонебезпечні речовини, легкогорючі і горючі рідини.

Робочим місцем складача поїздів є санітарно-побутові приміщення та приміщення для обігріву і район роботи (парки «П», «С» і «В», сортувальна гірка).

Складач поїздів має одягти спецодяг і взуття, сигнальний жилет зі світло відбиваючими накладками і застібнутися на всі гудзики. Головний убір не має погіршувати чутність звукових сигналів. В кишенях не має бути сторонніх предметів з гострими кінчиками. На руках не має бути годинників, каблучок, браслетів та інших прикрас. Ознайомитися з станом території сортувальної станції К, колії, міжколійя і маршрутом службового проходу, який має бути очищеним від сміття, сторонніх предметів, деталей вагонів і матеріалів верхньої будови колії, а в зимовий час від снігу і інею. Перевіряти роботу здатність засобів маневрового радіозв'язку і засобів закріплення рухомого складу.

Отримувати інформацію про знаходження і закріплення рухомого складу на коліях парків станції К і ознайомитися з планом роботи.

Про всі виявлені недоліки і порушення повідомити черговому по станції, а в випадку виникнення небезпеки для його життя і здоров'я не починаючи виконання роботи до усунення такої небезпеки.

Складач поїздів в якості керівника маневрів перед початком переміщення вагонів на сортувальній станції К має переконатися, що всі робітники, що приймають участь в маневрах, знаходяться на своїх місцях, і ознайомити їх з планом і способами виконання маневрової роботи.

Під час маневрових переміщень складач поїздів може здійснювати проїзд на рухомому складі, знаходячись на перехідній площадці вантажного вагона чи локомотива, в тамбурі пасажирського вагона, на спеціальній підніжці вагона, при цьому тримаючись руками за спеціальний поручень.

При виконанні маневрової роботи складач поїздів, перш ніж почати виконання операцій з використанням спеціальних підніжок, поручнів та інших устаткувань, має перевірити їх справність.

При поганій видимості колії, несправності або відсутності спеціальної підніжки або поручня, при закритому тамбурі пасажирського вагона складач має йти посередині міжколійя або по узбіччю попереду осаджуваних вагонів на безпечній відстані, постійно тримаючи зв'язок з машиністом маневрового локомотиву по радіозв'язку або візуально. Швидкість осаджування не повинна перевищувати 3 км/год.

Складачу поїздів дозволяється підніматися на спеціальну підніжку вагона і локомотива, а також сходити з неї тільки при повній зупинці рухомого складу. Забороняється сходити і підніматися на рухомий склад в негабаритних і небезпечних місцях, в межах стрілочних переводів та інших пристроїв.

Закріплення вагонів на коліях парків сортувальної станції К складач має проводити тільки після їх повної зупинки з використанням гальмівних башмаків.

Складачу поїздів забороняється встановлювати гальмівний башмак рукою під рухомі вагони. Робота виконується з допомогою вилки для укладки гальмівних башмаків на рейки.

7.5 Безпека праці робітників під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт на вантажному районі

Технологічні процеси навантаження та розвантаження на вантажному районі станції К розробляються з урахуванням таких вимог:

– навантаження (розміщення) та закріплення вантажів на рухомому складі повинні забезпечувати можливість їх подальшого безпечного розвантаження;

– розвантажені або підготовлені до навантаження біля колії вантажі укладаються та закріплюються так, щоб не порушувався габарит наближення споруд.

Навантаження та розвантаження вагонів дозволяється тільки після їх закріплення відповідно до вимог ТРА сортувальної станції К.

Не дозволяється виконувати навантажувально-розвантажувальні роботи під час маневрів. Дозволяється переміщення вручну одного завантаженого або двох порожніх зчеплених між собою вагонів на горизонтальній ділянці колії під керівництвом відповідальної особи, призначеної наказом начальника відповідного структурного підрозділу.

Не дозволяється під час переміщення вагонів вручну:

– переміщувати вагони зі швидкістю більше 3 км/год, причому вагони повинні бути обов'язково зчеплені;

– викочувати їх за граничний стовпчик у напрямку головної та приймально-відправних колій;

– починати переміщення, не маючи гальмівних башмаків;

– підмощувати для гальмування під колеса шпали, каміння, ломи та інші предмети;

– переміщувати вагони з людьми, вагони з негабаритними вантажами та вантажами довжиною більше ніж 18 м та небезпечними вантажами всіх класів небезпеки.

У місцях виконання навантажувально-розвантажувальних робіт із застосуванням механізмів розробляються та вивішуються схеми стропування

вантажів та перелік вантажів, що навантажуються або розвантажуються, із зазначенням їх маси. Під час підймання маса вантажу не повинна перевищувати вантажопідймальність крана.

Навантажувально-розвантажувальні роботи та складування вантажів із застосуванням вантажопідймальних кранів і машин на стаціонарних складах, майданчиках, базах мають виконуватися за технологічними картами, розробленими та затвердженими підприємством, що проводить зазначені роботи.

У технологічній карті зазначається місце або розміщення стропальників під час переміщення вантажів і передбачається можливість їх виходу на естакади або навісні площадки.

У виробничих приміщеннях максимальна швидкість руху підйомно-транспортних засобів під час переміщення вантажу не повинна перевищувати *5 км/год*.

Не дозволяється виконувати роботи автонавантажувачами, не обладнаними фільтрами (нейтралізаторами вихлопних газів). Виходити на підкранові колії мостових кранів допускається тільки з дозволу особи, відповідальної за утримання у справному стані вантажопідймальних машин, і після виконання рубильника головних тролейних проводів.

Працівники, зайняті на роботах із шкідливими умовами праці, за рахунок станції К забезпечуються лікувально-профілактичним харчуванням відповідно до вимог нормативно-технічних документів.

7.6 Особливості локалізації та ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами на станції К

Дії працівників сортувальної станції К і формувань, залучених до ліквідації наслідків аварійної ситуації, мають бути оперативними, відповідати характеру і масштабу аварійної ситуації, проводитися з урахуванням властивостей вантажів (пожежо та вибухонебезпечність, токсичність, корозійність, здатність до окиснення тощо), заходів безпеки та профілактики.

Основні властивості та види небезпеки вантажів, а також заходи безпеки та застороги при ліквідації наслідків аварійних ситуацій наведені в аварійних картках вантажів.

Під час виникнення аварійної ситуації на коліях сортувальної станції К з небезпечними вантажами, що супроводжуються провідниками або фахівцями вантажовласника (відправника, одержувача), останні:

- вживають заходів щодо запобігання загрози людям, пошкодженню рухомого складу, споруд, вантажів та іншим негативним наслідкам, недопущення сторонніх осіб у небезпечну зону;

- установлюють можливість і умови подальшого перевезення вантажів і, в разі потреби, разом із локомотивною бригадою та іншими працівниками станції К вживають заходів для припинення руху поїздів, маневрової роботи;

- після огляду місця події доповідають черговому по станції К про обставини, що склалися, і заходи, необхідні для забезпечення безпеки;

- після прибуття на місце аварійної ситуації аварійно-відбудовних і пожежних підрозділів повідомляють їх керівникам про стан вантажів, рухомого складу та заходи безпеки при веденні аварійно-відбудовних і рятувальних робіт.

У разі виникнення аварійних ситуацій на станції К з небезпечними вантажами, які супроводжуються провідниками або фахівцями вантажовласника, усунення наслідків аварійних ситуацій (відбудовні роботи, гасіння пожежі, надання долікарської допомоги) виконуються за їх участю. Ліквідацію наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами, відбудовні та пожежні поїзди здійснюють за своїми тактико-технічними можливостями. У разі потреби до відбудовного або пожежного поїзда причіпляється вагон з медичним обладнанням та персоналом для надання медичної допомоги.

Особовий склад поїздів і працівників станції К, залучений до ліквідації наслідків аварійних ситуацій, забезпечується засобами індивідуального захисту та навчається правилам користування ними. Порядок прямування

відбудовних і пожежних поїздів залізниць до місця аварійних ситуацій встановлюється Укрзалізницею. У разі виникнення аварійної ситуації з небезпечними вантажами дирекції залізничних перевезень залучають до ліквідації наслідків аварійної ситуації фахівців МНС України, найближчих підприємств, пожежних підрозділів, інших служб населених пунктів та об'єктів згідно з планами взаємодії. Залучені фахівці та організації прибувають на місце аварійної ситуації із засобами та технікою, ЗІЗ, необхідними для ліквідації її наслідків, використовують засоби, указані в аварійних картках, а також специфічні нейтралізатори, методи й засоби.

Управління залізниць заздалегідь узгоджують з регіональними органами МНС України перелік підприємств, які мають аварійні служби та фахівців, а також номенклатуру небезпечних вантажів, у ліквідації наслідків аварійних ситуацій з якими ці підприємства можуть взяти участь. Інформація щодо оперативного зв'язку з органами МНС надається підрозділам залізниць відділами та управліннями МНС згідно із зазначеними планами взаємодії.

До ліквідації наслідків аварійних ситуацій залучаються невоєнізовані формування та військові підрозділи, які входять до територіальних підсистем Єдиної державної системи.

При ліквідації наслідків аварійних ситуацій на сортувальній станції К з небезпечними вантажами враховуються їх властивості залежно від класу безпеки.

ВИСНОВКИ

Основні результати і висновки роботи полягають у наступному:

1. При плануванні заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування залізничних станцій, необхідно застосовувати системний підхід, який передбачає рішення задачі комплексного удосконалення конструкції, технічного оснащення і технології роботи станцій. Основним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій є математичне моделювання станційних процесів, яке базується на використанні аналітичних, графічних та імітаційних моделей.

2. Виконаний аналіз наукових робіт показав, що однією з невирішених проблем є адекватне моделювання систем оперативного керування залізничними станціями, у яких головну роль відіграє людина-диспетчер. У більшості існуючих моделей станцій управлінська діяльність диспетчера або взагалі не враховується, або моделюється за допомогою спрощених алгоритмів, що не забезпечує достатню адекватність цих моделей.

3. Для адекватного моделювання роботи залізничних станцій запропоновано використання концепції ергатичних моделей, в яких ОВМ приймає безпосередню участь у моделюванні, виконуючи роль оперативно-диспетчерського персоналу. Сформульовано основні вимоги до ергатичної імітаційної моделі, призначеної для кількісної оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних станцій, а також розглянуто структуру функціональної моделі станції.

4. Для ідентифікації ергатичної імітаційної моделі сортувальної станції виконані натурні статистичні дослідження параметрів потоку поїздів, що надходять у її парк прийому. Визначено чисельні характеристики розподілів випадкових величин інтервалу прибуття поїздів, а також тривалості виконання окремих операцій технологічного процесу їх обслуговування. Для деяких операцій встановлено наявність функціональної залежності їх тривалості від

величини складу; зазначені залежності ідентифіковані з використанням методів регресійного аналізу.

5. Перевірка адекватності ергатичної імітаційної моделі станції виконана з використанням критерію Уїлкоксона. за допомогою якого була підтверджена гіпотеза про приналежність однієї генеральної сукупності вибірок тривалості простою составів, які були отримані на реальній станції і за результатами моделювання її роботи.

6. Для порівняння варіантів проектних рішень запропоновано використання модифікованих приведених витрат; розроблена методика їх визначення на основі результатів моделювання; для розрахунків використовується методика, заснована на системі групових норм.

7. Наведені методики та моделі використані для оцінки та порівняння варіантів конструкції та технічного оснащення сортувальної станції. Виконано дослідження впливу розмірів вагонопотоку, що перероблюється на показники станції; отримані рекомендації з вибору раціональної конструкції та ефективної технології обслуговування вантажних поїздів. При цьому економічний ефект складає 0,56 млн. грн.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.12.2006 №651-р.
2. Образцов В. Н. К вопросу о проектировании станций и их расчете / В. Н. Образцов // Избранные труды. – М. Издательство академии наук СССР, 1955. – Т. 1. – С. 77-121.
3. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. (Исследование операций на станциях). – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.
4. Основы эксплуатационной работы железных дорог: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.А. Кудрявцев, В.И. Ковалев, А.П. Кузнецов и др.; Под ред. В.А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 352 с.
5. Рекомендований технологічний процес роботи вантажної станції: Затв. наказом Укрзалізниці від 17.12.2004 р. № 249-Ц. – К.: НВП Поліграф сервіс, 2005. – 224 с.
6. Типовий технологічний процес роботи сортувальної станції. ЦД-0017: Затв. наказом Укрзалізниці 23.12.98 р. № 324-Ц. – К.: 1998. – 243 с.
7. Типовий технологічний процес роботи дільничної станції. ЦД-0018: Затв. наказом Укрзалізниці 23.12.98 р. № 324-Ц. – К.: 1998. – 243 с.
8. Бобровский В.И. Техничко-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Информационно–управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – №6. – С. 30-42.
9. Бобровский В.И. Эргатические модели сортировочных горок // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2001. - №5. - с. 7 - 11.

10. Бобровский В.И. Имитационное моделирование распуска составов в тренажерах горючих операторов // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. - 2001. - № 4. - с. 112.

11. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно-диспетчерского персонала // Мат. моделювання. - 2000. - №2(5). - с. 68 – 71.

12. Бобровский В.И. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей / В.И. Бобровский, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкин // Вісник Дніпр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, – 2007. – Вип. 16. – С. 50-57.

13. 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.

14. Жук Е. Имитационное моделирование работы сортировочной станции при составлении графика движения поездов // Вестник ВНИИЖТа. – 1995. - №3. – с.45-46.

15. Кутах А.П., Фурсова Т.И. Система имитационного моделирования оценки эффективности новых технологий и организации перевозок на железнодорожном транспорте // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – №6 – с.156-166.

16. Малашкин В.В. Технико-экономическая оценка схем путевого развития железнодорожных станций на основе их многоуровневого параметрического анализа / В.В. Малашкин // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Л.: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, – 2010. – Вип. 1. – С. 106-113.

17. Нагорный Е. В., Алешинский Е. С. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция - прилегающие участки» с по-

мощью сетей Петри // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 2000. - № 2. - с. 98 - 103.

18. Подиновский В.В. Парето оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.

19. Ветухов Е.А. Определение уровня загрузки станций методом моделирования их работы на ЭЦВМ / Е.А. Ветухов, Е.А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 1969. – №7.– с.34-37.

20. Шабалин Н.Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях. // Железнодорожный транспорт. - 1971. - №5. - с. 64 – 65.

21. Персианов В.А. Моделирование транспортных систем / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.

22. Таль К.К. Основные вопросы применения методов моделирования при проектировании станции и узлов. // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 47. - М.: ЦНИИС - 1971. - с. 56 - 96.

23. Таль К.К. О классификации методов моделирования, используемых для расчета станций и узлов. // Вопросы проектирования и расчета железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 90. - М.: ЦНИИС, 1976. - с. 74 - 90.

24. Руководство по расчету станций методом моделирования на ЕС ЭВМ / М.: ЦНИИС, 1984. - 110 с.

25. Федотова Т.Н. Статистическое моделирование работы сортировочных станций на ЭВМ. // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Гомель: БелИИЖТ, 1978. - с. 60 - 67.

26. Федотова Т.Н. Имитация работы парков сортировочной станции на ЭВМ. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Гомель: БелИИЖТ, 1978. - с. 68 – 72

27. Федотова Т.Н. Моделирование транспортных систем с приоритетами // Вопросы проектирования железнодорожных станций: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 589. - М.: МИИТ, 1978. - с. 97 - 107.

28. Федотов В.А. Определение продолжительности простоя вагонов на станции в ожидании обслуживания методом моделирования на ЭВМ. // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. - Вып. 497. - М.: МИИТ. - 1975. - с. 143 - 149.

29. Мацкель С.С. Статистическое моделирование транспортных процессов в узлах. // Вопросы разработки систем автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 203/47. - Ташкент: ТашиИТ, 1987. - с. 59 - 69.

30. Пилипченко П. А. Структурное моделирование работы сортировочной станции // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. - Вып. 497. - М.: МИИТ. - 1975. - с. 60 - 61.

31. Быкадоров А.В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания. //Сб. трудов НИИЖТа. – 1973. - №146. с. 63 – 80

32. Падня В.А. Применение теории массового обслуживания на транспорте. - М.: Транспорт, 1968. – 208 с.

33. Покавкин В.А. Нормирование показателей работы и загрузки устройств сортировочных станций // Железнодорожный транспорт. – 1972. - №11. – с. 14-17.

34. Муха Ю. А., Бобровский В. И. Моделирование на ЭЦВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 90/6. - Днепропетровск, 1969. - с. 53 - 63.

35. Муха Ю.А., Бобровский В.И., Попов С.А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках //

Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 181/10. - Днепропетровск. - 1976. - с. 23 - 40.

36. Муха Ю.А., Бобровский В.И. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири - К» сортировочного процесса на горках // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 194/11. - Днепропетровск, 1977. - с. 53 - 102.

37. Шафит Е.М., Самков А.Н. Моделирование функционирования системы автоматического управления сортировочным процессом с управляющей ЦВМ // Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной техники на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа - Вып. 149/5. - Днепро-петровск. - 1973. - с. 3-7.

38. Шафит Е.М., Косорига Ю.А. Оценка эффективности функционирования устройств горочной автоматики на основе стохастического моделирования // Автоматизир. системы управления технологическими процессами на ж.д. станциях: Труды ДИИТа - Вып. 211/9 - Днепропетровск. - 1980 - с.56-61.

39. Шафит Е.М., Жуковицкий И.В., Рыбцов В.Н. Принципы построения де-централизованных систем АРС для сортировочных горок большой мощности // Автоматизированные информационно-управляющие вычислительные системы на сортировочных станциях железнодорожного транспорта: Труды ДИИТа. - Вып. 289/18 - Днепропетровск. - 1993. - с. 28-35.

40. Шафит Е.М., Жуковицкий И.В., Косолапов А.А. Принципы построения интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами на сортировочной станции // Информ.-управляющие системы на ж.-д. трансп. - 1996. - №1/2. - с. 36-41.

41. Лещинский Е.И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 1977. - 176 с.

42. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. - М.: Транспорт, 1979. - 239 с.

43. Грунтов П.С., Захаров В.А. Решение практических задач с помощью моделирования работы станций //Железнодорожный транспорт. – 1979. – №1.– с.22-25.
44. Грунтов П.С., Захаров В.А. Прогнозирование работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ. Гомель. 1981. – 152 с.
45. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
46. Ивницкий В.А. Миркин А.Г. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования// Вестник ВНИИЖТа. – 1990. - №7. – с. 7-10.
47. Миркин А.Г. Расчет прогнозных показателей работы сортировочной станции в изменяющихся условиях эксплуатации с использованием имитационного моделирования // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. - №3. – с. 7-10
48. Ульяненкова Н. В., Храбров В. В. Современные тенденции рационального использования технического оснащения грузовой станции // Транспорт: Наука, техника, управление. - ВИНТИ. - 1999. - № 5. - с. 65 - 66.
49. Тютюнов Ю. П. Исследование технологии работы железнодорожных узлов методом имитационного моделирования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.08/ БелГУТ. - Гомель, 1995. - 16 с.
50. Загарий Г. И., Федюшин Ю. М. Моделирование процесса перевозок на железных дорогах Украины с помощью расширенных сетей Петри // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - № 4. - с. 52 - 56.
51. Федюшин Ю. М. Применение сетей Петри для моделирования процессов управления на железнодорожном транспорте // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте . - 1996. - № 3, 4. - с. 7 - 12.
52. Нагорный Е.В., Бутько Т.В., Титов Н.Ф. 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: Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ, 1998. - Вип. 33.- с. 125-129.

53. Имитационные модели в условиях новой информационной технологии управления производственно - транспортными комплексами / Гриценко В. И., Панченко А. А., Назаренко Н. А. - К.: 1986. - 58 с. (Препр. / АН Украины. Ин - т кибернетики; 86 - 23).

54. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем. - М.: Транспорт, 1985. - 214 с.

55. Шавзис С.С. Планирование поездообразования: новые подходы и решения. //Железнодорожный транспорт. – 2003. - №8. – с. 43-47.

56. Кокурин И.М. Методика количественной оценки деятельности человека-оператора железнодорожных автоматизированных систем управления // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 404. - Л.: ЛИИЖТ, 1977. - с. 73 – 83.

57. Кокурин И.М. Улучшение условий труда дежурных по станции при МРЦ // Железнодорожный транспорт. – 1974. - №6. – с. 32-35.

58. Кокурин И.М. Формализация расчета загрузки железнодорожных операторов // Вестник ВНИИЖТа. – 1983. - №5. – с.51-54.

59. Сапунов Н.А., Кожевников А.И., Столяров А.С. Улучшить подготовку дежурных по станциям // Железнодорожный транспорт. – 1997. - №1. – с. 16-19.

60. Сапунов Н.А. Об оценке количества информации в системе управления сортировочной станцией // Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 364. - Л.: ЛИИЖТ, 1973. - с. 80 – 91.

61. Прашил Я., Садлонь Л. Имитационная модель работы дежурного по промежуточной станции // Совершенствование управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 716. - М.: МИИТ, 1982. - с. 120 - 127.

62. Бобровский В.И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций. Автореф. дис. докт. техн. наук: ДНУЗТ. - 2002. - 36 с.

63. Бобровский В.И. Моделирование системы управления пропуском поездов через пересечения // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. - Вип. 33. - Харків: ХарДАЗТ, 1998. - с. 71 - 79.

64. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н., Вернигора Р. В. Эргатические модели железнодорожных станций. // Зб. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології», Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – с. 80-86.

65. Малашкін В.В. Удосконалення методів техніко-технологічної оцінки залізничних станцій з метою підвищення ефективності їх функціонування. Автореф. дис. канд. техн. наук: ДНУЗТ. - 2012. - 22 с.

66. Терёшина Н.П. Экономика железнодорожного транспорта [Текст]: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терёшина, В.Г. Галабурда, М.Ф. Трихунков и др.; Под ред. Н.П. Терёшиной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. – М.: УМЦ ЖДТ, 2006.

67. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. - М.: ВПТИТРАНССТРОЙ, 1988. - 468 с.

68. Таблицы по математической статистике / П. Мюллер, П. Нойман, Р. Шторм. - М.: Финансы и статистика, 1982. - 278 с.

69. Про охорону праці [Текст] – Закон України №5459-17 від 18.11.2012 р. – 180 с.

70. Правила безпеки праці для працівників залізничних станцій і вокзалів (НПАОП 63.21-1.12-07) [Текст] / затв. нак. Держпромгiрнагляд України від 12.03.2007 №44 – С., 2007 – 24 с.

71. Положення про розробку інструкцій з охорони праці [Текст] / затв. нак. Держнагляд охорони праці України від 29.01.98 № 9 – С., 1998.

72. Типове Положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) [Текст]/ затв. нак. Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15 – С., 2005. – 32 с.

73. Пам'ятка з охорони праці для працівників станції – ЦД – 0030 [Текст] / затв. нак. УЗ від 07.06.2000р. № 207-Ц – С., 2000.

74. Правила пожежної безпеки на залізничному транспорті (НАПБ В.01.010-97/51) [Текст]/ затв. нак. Мін-ва тр-ту і зв'язку України від 21.12.2009 № 1322 – С.: МГУ, 2009. – 72 с.

75. Правила безпеки для працівників залізничного транспорту на електрифікованих лініях ДНАОП 5.1.11-1.48.00 [Текст] / затв. нак. Мін-ва праці та соц. політики України 31.05.2000 № 120.

76. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій залізничного транспорту, метрополітенів та підприємств міжгалузевого промислового залізничного транспорту України [Текст] / затв. нак. Мін-ва тр-ту та зв'язку України від 29.04.2010 №240.