

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 **Удосконалення конструкції і технічного оснащення залізничних станцій з метою підвищення їх експлуатаційної надійності**

Theme **Improving the design and technical equipment of the railway stations in order to increase their operational reliability**

Керівник дипломної роботи

доц. \_\_\_\_\_ В. В. Малашкін

Нормоконтролер

доц. \_\_\_\_\_ В. В. Малашкін

Студентка групи УЗ1926

\_\_\_\_\_ Д. Д. Штаненко

Student

Shtanenko Daria

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 У31926 Штаненко Дар'я Дмитрівна  
(номер групи) (ПІБ)

1 Тема дипломного проекту (роботи): Удосконалення конструкції і технічного  
оснащення залізничних станцій з метою підвищення їх експлуатаційної надійності

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

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

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу):

5.1. Креслення: план підсистеми розформування сортувальної станції Б

5.2. Слайди презентації: класифікація відмов на залізничному транспорті; аналіз умов  
функціонування сортувальних станцій; параметри вхідного потоку вимог; параметри  
системи обслуговування; мережевий графік обробки поїзда у розформування;  
визначення раціональної конструкції та ефективної технології роботи 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 оцінки впливу конструкції та технології роботи залізничних станцій на їх експлуатаційну надійність	строк 1	20
2. Дослідження умов роботи залізничних станцій України	строк 1	10
3. Техніко-експлуатаційна характеристика станції та аналіз технологічного процесу роботи з вантажними поїздами	строк 2	8
4. Дослідження вхідного потоку поїздів та тривалості виконання операцій з їх обслуговування	строк 2	15
5. Формалізація роботи станції з вантажними поїздами та розробка математичної моделі їх обслуговування	строк 2	15
6. Дослідження та визначення раціональної конструкції колійного розвитку станції та її технології роботи з вантажними поїздами	строк 3	20
7. Організація роботи з охорони праці на станції	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)

Штаненко Д. Д.  
(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається з реферату, змісту, переліку умовних позначок, символів, скорочень та термінів, вступу, 7 основних розділів (викладених на 86 сторінках основного тексту, які містять 16 рисунків і 14 таблиць), висновків, 4 додатків, переліку посилань з 81 найменувань. Повний обсяг роботи складає 115 сторінок.

**Об'єктом дослідження** є процес функціонування сортувальної станції.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності функціонування та експлуатаційної надійності сортувальної станції за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі імітаційного моделювання роботи станції.

**Методи дослідження:** математична статистика, кореляційний аналіз, регресійний аналіз, сітьове планування та управління, імітаційне моделювання.

В роботі виконано аналіз наукових робіт стосовно проблеми підвищення ефективності функціонування та експлуатаційної надійності залізничних станцій, а також методів імітаційного моделювання їх роботи. Виконана техніко-експлуатаційна характеристика роботи сортувальної станції Б. Розглянуто декілька варіантів удосконалення колійного розвитку вказаної станції та технології обробки поїздів у розформування. Для оцінки ефективності запропонованих проектних рішень використана імітаційна модель залізничних станцій. В роботі розглянуто її структуру і виконано ідентифікацію 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:** СОРТУВАЛЬНА СТАНЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ, КОЛІЙНИЙ РОЗВИТОК, ТЕХНОЛОГІЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ...	6
ВСТУП.....	7
1 ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ.....	8
1.1 Експлуатаційна надійність залізничних станцій та фактори, що її визначають.....	8
1.2 Проблеми оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних станцій	13
1.3 Аналіз методів функціонального моделювання залізничних станцій.....	17
2 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ.....	29
2.1 Особливості існуючих схем сортувальних станцій.....	29
2.2 Дослідження корисної довжина приймально-відправних колій.....	30
2.3 Дослідження конструкції стрілочних горловин парків сортувальних станцій .....	32
2.4 Постановка задачі дипломної роботи.....	38
3 ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНЦІЇ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ.....	39
3.1 Технічна характеристика станції.....	39
3.2 Спеціалізація парків сортувальної станції .....	39
3.3 Технічне оснащення станції.....	41
3.4 Характеристика експлуатаційної роботи .....	43
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ ТА ТРИВАЛОСТІ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ З ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ .....	45
4.1 Визначення параметрів вхідного потоку поїздів на станцію .....	45
4.2 Визначення параметрів системи обслуговування .....	53
5 ФОРМАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СТАНЦІЇ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ ТА РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ .....	59

Зам. Інв. №					
Підпис Дата					
Інв. № ор.	Зм.	Арк.	Нодок	Підпис	Дата
	Розробив	Штаненко			
	Керівник	Малашкін			
	Зав. каф.	Березовий			
0042.196414.ДР.2020.000					
Удосконалення конструкції і технічного оснащення залізничних станцій з метою підвищення їх експлуатаційної надійності				Стадія	Аркуш
					4
				ДНУЗТ	
				115	

5.1 Технологія роботи підсистеми розформування з вантажними поїздами ..	60
5.2 Формалізація технологічного процесу обслуговування поїздів у розформування .....	63
5.3 Основні принципи імітаційного моделювання роботи станції.....	64
6 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ СТАНЦІЇ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ.....	69
6.1 Постановка задачі дослідження.....	69
6.2 Вихідні дані та умови дослідження.....	71
6.3 Результати моделювання роботи станції та їх аналіз.....	72
6.4 Економічне обґрунтування раціональних техніко-технологічних параметрів станції .....	75
7 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА СТАНЦІЇ.....	80
7.1 Загальні положення .....	80
7.2 Вимоги безпеки при знаходженні на залізничних коліях станції.....	85
7.3 Вимоги безпеки при очищенні стрілочних переводів.....	87
7.4 Вимоги електробезпеки.....	88
7.5 Вимоги безпеки під час роботи на ЕОМ .....	89
7.6 Порядок комерційного огляду вагонів.....	89
7.7 Порядок повідомлення про нещасний випадок .....	90
7.8 Заходи безпеки при роботі в зоні негабаритних місць.....	90
ВИСНОВКИ .....	92
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	93
ДОДАТОК А ВИХІДНІ ДАНІ.....	102
ДОДАТОК Б РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ	106
ДОДАТОК В ПЕРЕЛІК МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ.....	110
ДОДАТОК Г ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	115

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

АСК – автоматизована система керування  
ГП – гальмівна позиція  
ДС – начальник станції  
ДСІОП – інженер з охорони праці  
ДСП – черговий по станції  
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина  
ЕЦ – електрична централізація  
ЗПП – запірно-пломбовий пристрій  
ІСИ – Інструкція з сигналізації на залізницях України  
ЛД – людина диспетчер  
ЛСА – логічна схема алгоритмів  
МРЦ – маршрутно-релейна централізація  
ОВМ – особа, що виконує моделювання  
ОДП – оперативно-диспетчерський персонал  
ОПЦ – оператор поста централізації  
ПК – під’їзна колія  
ПР – промисловий район  
ПТО – пункт технічного огляду  
СА – скінчений автомат  
СГ – сортувальна гірка  
СМО – система масового обслуговування  
СП – сортувальний парк  
СТЦ – станційний технологічний центр  
СУОП – система управління охороною праці  
ТП – технологічний процес  
ФМС – функціональна модель станції  
ЦП – центр стрілочного переводу

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку економіки України залізничний транспорт зберіг за собою роль основного перевізника, продовжуючи виконувати понад 60% вантажних та близько 40% пасажирських перевезень. 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, спрямованих на комплексне удосконалення їх роботи, адже від чіткої та злагодженої роботи залізничних станцій залежить досить багато у виробничій діяльності дирекцій, залізниць та Укрзалізниці в цілому. Згідно з [1] потрібно удосконалювати існуючі та створювати нові технології роботи залізничних станцій. В цьому зв'язку підвищення надійності функціонування залізничних станцій за рахунок використання їх раціональних техніко-технологічних параметрів представляє собою важливу науково-практичну задачу.

Об'єктом дослідження є процес функціонування сортувальної станції.

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 та експлуатаційної надійності сортувальної станції за рахунок визначення раціональних техніко-технологічних параметрів на основі імітаційного моделювання роботи станції.

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 вантажної станції за допомогою ЕОМ.



# **1 ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ**

## **1.1 Експлуатаційна надійність залізничних станцій та фактори, що її визначають**

В умовах сучасної економіки автоматизація є одним з основних напрямків технічного прогресу. Рішення стратегічного завдання підвищення ефективності роботи залізничного транспорту, перш за все, за рахунок збільшення пропускної і провізної здатності сортувальних станцій неможливо без їх оснащення сучасними технічними засобами. Автоматизація технологічних процесів на сортувальних станціях є одним з напрямків стратегічного розвитку залізничного транспорту. Особлива роль в цьому належить засобам залізничної автоматики і телемеханіки. Це викликано переходом на автоматизоване і автоматичне керування різними виробничими і технологічними процесами, створенням автоматизованих систем і цілих комплексів.

В умовах слабого інвестування дедалі актуальнішими стають питання підвищення надійності різноманітних технічних пристроїв і систем: механізмів, машин, апаратів, приладів, систем автоматики, електронного обладнання, зв'язку і т.д. Надійність є найважливішим техніко-економічним показником якості будь-якого технічного пристрою або системи. Підвищення ефективності та якості автоматизованих систем керування, що проектуються, неможливо без підвищення надійності технічних засобів управління (ТСУ). Також причиною для підвищення надійності, є зростання складності технічних систем (ТС), апаратури їх обслуговування, жорсткості умов експлуатації та відповідальності завдань, які на них покладаються. Недостатня надійність ТС призводить до збільшення частки експлуатаційних витрат у порівнянні з загальними витратами на проектування, виробництво і впровадження цих систем. При цьому вартість експлуатації ТС може у багато разів перевершити вартість їх розробки і виготовлення. Крім того, відмови ТС призводять до різного роду наслідків: втрат інформації, простоїв пов'язаних з ТС

інших пристроїв і систем, до аварій і технологічним збоїв. Таким чином, ще однією причиною підвищення ролі надійності роботи в сучасних умовах є економічний фактор. У цьому зв'язку при широкому застосуванні машин і виконавчих механізмів в системах автоматичного управління виробничими процесами технічний рівень виробництва більшою мірою визначається надійністю цих машин і систем.

Багато років на більшості промислових підприємств надійність розраховували, забезпечували, проводили випробування, випускали нормативні регламентуючі документи. Становище не змінилось і після того, як надійність зробили одним з показників якості.

Поряд з математичною надійністю в кінці 60-х – початку 70-х років минулого століття з'явилися поняття «фізична надійність» і «технологічна надійність» [2, 3].

Засновники вітчизняної школи надійності добре розуміли вплив технології виробництва на надійність продукції.

Важливість робіт з фізики відмов постійно наголошував у своїх роботах Б. В. Гнеденко. Так, в роботі [4] автор писав «Ще існує думка, що наука про надійність включає в себе лише сукупність різних математичних методів, необхідних для проведення розрахунків і рішення різних оптимізаційних задач. Це, безумовно, є помилкою. У теорію надійності включаються і всі питання, пов'язані з вивченням фізики відмов і певні питання матеріалознавства, пов'язані з вібраційної, теплової та радіаційної стійкістю, і багато інших інженерних питань (в тому числі певні завдання аналізу допусків, уніфікації, компонування і т.і.)». Однак поняття «фізична надійність» так і не було легалізовано, а коло пов'язаних з ним питань поступово локалізувався в поняття «фізика відмов». Поняття «технологічна надійність» використовувалося з найрізноманітніших приводів і для оцінки надійності технологічних процесів, і для оцінки надійності технологічного обладнання, технологічних систем, і т.і. [5].

В роботі [6] В. А. Наумов зробив спробу обґрунтувати це поняття у взаємозв'язку з надійністю продукції, але піддався критиці з боку І. З. Аронова і В. Л. Шпера [7]. Основну суть незгоди можна висловити коротко: наука про на-

дійність об'єктів не є наука про фізико-механічні процеси, які в них протікають. Таким чином, міркування і висновки Наумова пояснюються тим, що він розглядає надійність як науку про фізичні процеси, які протікають в об'єктах, що суперечить, на думку опонентів, як історії виникнення і розвитку теорії та практики надійності, так і її сучасному трактуванню і застосуванню. Те ж можна сказати і про розвиток того напрямку, яке прийнято називати фізикою надійності (аналіз фізичних, хімічних, інших процесів, що призводять до відмов виробів). Щоб стимулювати роботи в цьому напрямку, в нову редакцію стандарту були введені (ГОСТ 27.002-89) терміни «раптова відмова» і «поступова відмова», які пов'язують процес переходу виробів в неробочий стан зі зміною його параметрів у часі.

Автори роботи [8] пропонують наступну редакцію визначення технологічної надійності: «технологічна надійність виробу – це сукупність ознак конструкції, що визначає її пристосованість до стабільного виконання у виробництві вимог до точності вихідних параметрів виробу і його елементів, без дефектності матеріалу і рівнем залишкових явищ технологічних процесів».

Найбільш повно загальне поняття надійності сформульовано П. С. Грунтовым [9-11], який відзначає, що надійність – це властивість системи зберігати свої функції і характеристики роботи в певних заданих межах і заздалегідь встановлених умовах експлуатації. Надійність є складним поняттям, що включає у себе і безвідмовність роботи системи, і її працездатність. Чим складніше система, тим більша кількість факторів, що впливають на її експлуатаційну надійність. На надійність такої транспортної системи, як залізнична станція, впливає надійність функціонування технічних елементів – колії, пристроїв автоматики, телемеханіки і зв'язку, локомотивів, вагонів, а також число і довжина колій, пропускна здатність, навантаження на систему управління і безліч інших факторів, включаючи людський.

В роботі станцій, ділянок і напрямків часто виникають збої – тимчасові відмови, що призводять до затримок транспортного потоку. Вони пов'язані також з недостатньою продуктивністю робіт по обслуговуванню, розформуванню і фор-

муванню поїздів, несвоєчасним їх відправленням зі станцій, недостатнім числом колій і т.і.

За природою виникнення все експлуатаційні відмови можна розділити на відмови технічних засобів і організаційно-технологічні відмови (рисунок 1.1). Останні є наслідком нераціонального використання технічних засобів, що призводить до повного заповнення шляхів і парків станцій, несвоєчасної обробці, розформуванню і формуванню вантажних поїздів, відсутності поїзних локомотивів або локомотивних бригад і т.д.

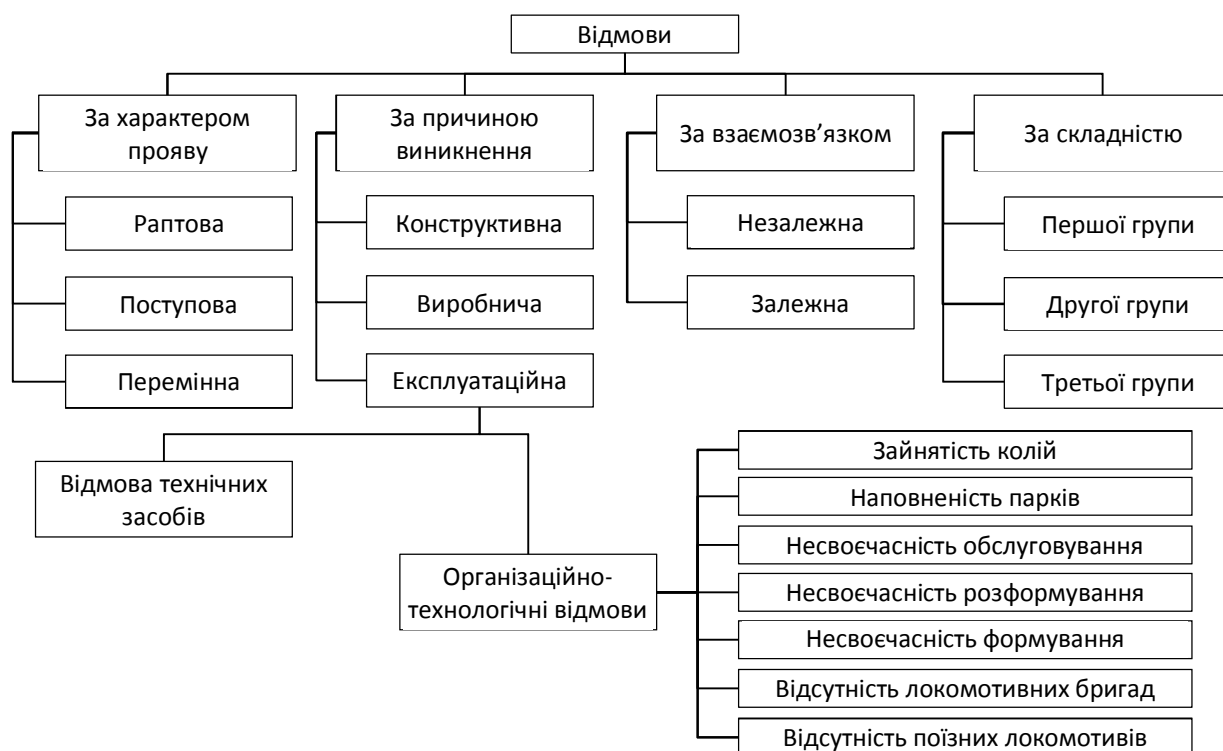


Рисунок 1.1 – Класифікація відмов

П. С. Грунтов [12] виділяє в функціонуванні сортувальної станції п'ять зон, що утворюють окремі підсистеми: вхідні ділянки і парк прийому, сортувальна гірка, сортувальний парк, витяжки формування, парк відправлення і вихідні ділянки. Для кожної підсистеми дана систематизація технологічних відмов. Наприклад, для підсистеми «вхідні ділянки – парк прийому – гірка» характерні такі відмови: зайнятість всіх шляхів парку прийому складами, недостатня маневреність горловин, наявність у складі вагонів з браком, відсутність документів на поїзд, неготовність сортувального листка на розформувувати складу, зайнятість гіркового

локомотива, наявність вагонів, що вимагають особливих умов розпуску, нерозчеплення вагонів, помилки в складанні сортувального листка та ін.

Слід зазначити, що наведений перелік відмов включає в себе як відмови, що призводять до затримок поїздів через неприйняття, збоїв у функціонуванні даної підсистеми, так і відмови, наслідком яких є одиничні браки в роботі. Є. В. Архангельский у роботі [13] відмічає, що відмови технічних засобів на станціях в середньому на добу викликають втрати, що не перевищують 1 % їх потужності, тому при визначенні експлуатаційної надійності станції ними можна знехтувати.

Можливо, цими втратами колись можна було б знехтувати, коли прибуток компанії не було першорядним завданням, але зараз ринкові відносини накладають свій відбиток. І якщо нехтувати хоча б 1 % для сортувальної станції, то для мережі залізниць це виливається в колосальні витрати. Таким чином, у зв'язку з переходом до ринкових відносин, нехтувати відмовами технічних засобів при визначенні експлуатаційної надійності станції не можна.

П. С. Грунтов в роботі [12] дає формулювання терміну «надійність сортувальної станції», в якій зазначає, що слід розуміти залежне від технології, управління і колійного розвитку властивість по безвідмовного прийому, розформуванню, формуванню і відправленню поїздів протягом заданого часу  $t$  при нерівномірному їх надходженні, накопиченні і відправленні. Кількісно ця властивість може бути виражена через ймовірність безвідмовної роботи за період часу  $t$ . Величина цієї ймовірності обґрунтовується по трьом окремим підсистемам:

- 1) вхідні ділянки – парк прибуття – гірка;
- 2) гірка – парк формування – витяжки формування;
- 3) витяжки формування – парк відправлення – вихідні ділянки.

Однак для станції в цілому обґрунтування експлуатаційної надійності немає. Чисельне визначення ймовірності безвідмовної роботи в силу складності системи і різноманіття її функціональних зв'язків викликає значні складності. Тому для кількісної оцінки технічних і технологічних відмов використовуються методи статистичної оцінки та методи моделювання станційних процесів на ЕОМ, що до-

зволяють врахувати взаємодію станційних підсистем з урахуванням роботи основних каналів. Недоліком застосовуваних методів є те, що імітація процесів проводиться по трьом перерахованим вище підсистем; всередині цих підсистем враховується взаємодія елементів між собою, але зв'язку між підсистемами для станції, як єдиного об'єкта, немає.

У роботах П. С. Грунтова наводиться перелік заходів щодо підвищення надійності сортувальних станцій. Відзначається значний вплив планування і управління підготовки локомотивів під поїзди. Але чіткі рекомендації щодо застосування зазначених заходів відсутні.

Транспортні об'єкти зі складною структурою, такі як залізничні станції та транспортні вузли, не піддаються чіткої формалізації і параметри їх роботи розрахувати за допомогою аналітичних методів дуже складно. Тому необхідно створювати імітаційні моделі транспортних об'єктів, що проектуються, досліджувати їх роботу проведенням експериментів на моделі і робити комплексну оцінку отриманих параметрів.

## **1.2 Проблеми оцінки техніко-технологічних параметрів 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 роз-

витку 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 [14]. 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 [15] 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 використання 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 [16-19]. 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 [20-27]. 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 проект-



ними 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 [28] 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

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

де  $H$  – значення натурального показника;

$e_b$  – 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 нау-

кового 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, Ветуховим Е. А. і Шабалінім Н. Н. в 60-х роках минулого століття з появою серійних ЕОМ [29, 30]. 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. [31], 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 обслуговування, визначення пропускної 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 [32, 33], 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 [34]. В [32, 33] також розглянута проблема вибору черговості пересувань при виникненні конфліктних ситуацій. Для її рішення запропоновано встановити систему правил на вибір черговості. З цією метою в [32] 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 [33] розглядаються способи вибору варіантних маршрутів. При цьому рекомендується при розробці моделі станції список варіантних маршрутів доповнювати даними про порядок їх переваги.

У роботах Федотової Т. М. [35-37] 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 [37]. 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 [38] Федотов В. А. 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 [31], 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 [38] спрощено моделюється заняття горловин станції рухомим складом при його переміщенні і не враховується ворожість маршрутів.

Метод статистичного моделювання розв'язок перед станціями у вузлах розглядався в роботі Мацкеля С. С. [39], 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 рухо-

мого состава. Для рішення даної проблеми в [34] горловини станцій пропонується ділити на окремі елементи (секції), що дозволяє визначати ворожість маршрутів і достатньо точно моделювати процес їх посекційного розмикання. Недоліком методу є його громіздкість внаслідок необхідності завдання тривалості заняття кожного елемента пересуваннями різних категорій. В [40] 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, особливо 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 [41] Бикадоров А. В. розглядається 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 [42]. 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 РПЗТі [43]. Станція розглядається як багатоканальна багатofазна 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. Запро-

понована 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 показники 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 ДПТА: Мухи Ю. О., Шафіта Є. М., Бобровського В. І., Жуковицького І. В. Так, в [44-46] 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 [47-49] 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 [49].

Заслужовує на увагу також досвід польських залізниць [50]. 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 швидкодіючих ЕОМ швидкість моделювання не є істотним чинником при виборі методу моделювання.

В роботі Е. Лещинського [50] 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 Сотникова Е. А. [51]. 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 [11, 52, 53]. 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 [11] 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 [11] модель дозволяє визначити показники роботи основних підсис-

тем станції, завантаження технічних засобів і виконавців, а також виконати елементний 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 [54, 55]. 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 [55]. Крім того, розглядається можливість застосування розробленої моделі для нормування різних показників роботи станції, а також аналізу якості роботи оперативної зміни [54]. 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 [25]. 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 [56]. 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 [57]. У ряді робіт моделювання використовується для аналізу окремих підсистем станцій (фаз обслуговування).

Останнім часом для моделювання транспортних систем досить широко використовується апарат мереж Петри [27, 58, 59]. 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 широке 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 Нагорного Є. В. [27] 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 [27] 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 ХІПТі [60]. 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 [61] 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 [62]. 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 [62] 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 [63]. Імітаційна модель використовується для оперативного планування роботи станції в різних умовах і може бути використана при розробці автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера. Модель 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.

Для моделювання технологічного процесу залізничної станції на базі імітаційних моделей, запропоновано значна кількість програмних засобів, але вони розв'язують задачі моделювання технологічних процесів однобічно та не дають однозначних відповідей на питання логістики або моделювання технологічних процесів залізничних станцій. Розглянемо деякі з них.

AnyLogic [64] – потужний інструмент імітаційного моделювання, що підтримує всі підходи до розробки імітаційних моделей: процесно-орієнтований, системно-динамічний, агентний, а також підтримує будь-яку їх комбінацію. Гнучкість та універсальність мови моделювання Java дозволяє врахувати всі аспекти модельованої системи з різним рівнем деталізації процесів та множини їх параметрів. Графічний інтерфейс AnyLogic, інструменти та бібліотеки дозволяють прискорити розробку моделей для широкого спектру задач – від моделювання виробництва, логістики, управління до стратегічних проблем розвитку складних транспортних систем. Розвинені мультимедійні засоби та можливості анімації процесів роботи імітаційної моделі в реальному часі надають додаткові переваги при розробці та проведенні експериментів.

Програмне забезпечення AutoMod [65] призначене для графічного моделювання систем логістики та виробництва. Воно розроблене для детального аналізу операцій і потоків, хоча головним чином використовується у виробництві та матеріальному аналізі систем обробки. Гнучка архітектура AutoMod дозволяє застосувати його в широкому діапазоні прикладних галузей.

Пакет імітаційного моделювання Aimsun [66] – програмне забезпечення для моделювання трафіку. Маючи тисячі ліцензованих користувачів у органах державної влади, університетах, а також безліч консультантів по всьому світу, Aimsun виділяється надзвичайно високою швидкістю моделювання та злиття попиту моделювання, статичний і динамічний призначення трафіку з мезоскопічного, мікроскопічного і гібридною моделювання - все в межах одного додатку програмного забезпечення.

Середовище моделювання фізичних систем MvStudium [67] призначене для моделювання складних динамічних систем. Дозволяє швидко створювати візуальні інтерактивні моделі багатокомпонентних безперервних, дискретних і гібридних (неперервно-дискретних) систем і виконувати з ними активні обчислювальні експерименти. Створення моделі, візуалізація результатів і управління обчислювальним експериментом не вимагає написання програмного коду. Моделі задаються на математичному рівні абстракції. Для опису безперервної поведінки використовуються диференціально-алгебраїчні рівняння. Для опису дискретної і гібридної поведінки застосовуються візуальні карти поведінки, що є розширенням карт станів UML. MvStudium автоматично створює комп'ютерну модель, відповідну заданій математичній, і забезпечує проведення активного обчислювального експерименту.

Виконаний аналіз наукових праць з проблеми оцінки впливу техніко-технологічних параметрів залізничних станцій на їх експлуатаційну надійність дозволяє зробити наступні висновки.

Аналіз наукових праць показав, що сьогодні в них переважно розглядається питання розробки ефективних функціональних моделей здебільшого з використанням ЕОМ. У той же час питанням ідентифікації вказаних моделей, їх параметризації, визначення умов проведення імітаційних експериментів приділяється недостатня увага. Помилки в ідентифікації моделей станцій та неправильно обрані умови моделювання можуть суттєво спотворювати їх техніко-експлуатаційну оцінку.

Для формалізації технологічних процесів залізничних станцій ефективно використовувати автоматизовані системи імітаційного моделювання, які дозволяють візуально формалізувати технологічний процес транспортної системи.

## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ**

Основна робота по формуванню та розформуванню поїздів на залізницях України [68, 69] виконується на 35 сортувальних станціях, із яких 31 станція є позакласними, а 4 – віднесені до 1 класу. Побудовані такі станції були на протязі минулого сторіччя, найстаріші з них в процесі експлуатації були реконструйовані, причому основними причинами реконструкції являлись електрифікація ліній, впровадження більш потужних локомотивів, збільшення вагових норм поїздів та обсягів переробки вагонів, тобто схеми станцій, як правило, склалися історично.

Статистичні дані обігу вагонів на Придніпровській залізниці показують, що, в залежності від виду відправки, вагон за час обігу близько 25-30 % часу знаходиться саме на сортувальних станціях. Аналогічна ситуація спостерігається і на інших залізницях [70]. Недосконала конструкція станційних парків призводить до збільшення їх тривалості, і, як наслідок, збільшення енергоресурсів. У цьому зв'язку питання раціоналізації конструкції колійного розвитку парків сортувальних станцій, забезпечення надійності функціонування та приведення їх технічного оснащення у відповідність обсягам переробки вагонів є актуальними.

### **2.1 Особливості існуючих схем сортувальних станцій**

Значна кількість існуючих сортувальних станцій побудовані по нетиповим схемам. Деякі з них потребують реконструкції.

До однієї з поширених схем відноситься комбінована, частина парків якої розташовуються паралельно один до одного, наприклад, сортувальний і парк відправлення. До таких станцій можна віднести станції Одеса-Застава-1, Одеса-Сортувальна, Коростень, Запоріжжя-Ліве, Верхівцеве та інші. Звичайно такі схеми виникають із-за труднощів у розміщенні всіх парків на площадці послідовно. При таких схемах перевантажуються горловини парків відправлення і переривається маневрова робота на витяжках при перестановці готових составів в парк відправлення.

Окремі двосторонні станції (Іловайськ Донецької залізниці) мають нетипове розміщення локомотивного і вагонного господарств. При таких схемах утворюється значна кількість ворожих перетинань маневрових локомотивів з рухом організованих поїздів, тяжкі маневри по перестановці вагонів на колії вагоноремонтного депо. Подібні схемі сформувалися в результаті перебудов в межах раніше сформованої станційної площадки.

Існують і нетипові схеми станцій, які враховують місцеві умови відносного розташування залізниці і міста. Зустрічаються схеми станцій з парками, що розташовані у вигляді трикутника (Жмеринка Південно-Західної залізниці) на підходах, що примикають. В таких схемах локомотивне господарство відірвано від основних парків і передачі локомотивів викликають значні ворожі перетинання. Зустрічаються також схеми станцій зі зміщеними парками, що розташовуються поряд з пасажирськими пристроями. Локомотивне господарство розташовано на них не раціонально.

Необхідно відмітити, що до теперішнього часу є сортувальні станції (Харків-Сортувальний Південної залізниці), в яких всі парки розташовані паралельно один до одного, а головні колії проходять між ними. Такі станції повинні бути реконструйовані у першу чергу. Більшість нетипових станцій не відповідають сучасним вимогам і повинні бути перебудовані.

## **2.2 Дослідження корисної довжина приймально-відправних колій**

Корисну довжину приймально-відправних колій [71] для вантажного руху слід встановлювати з урахуванням уніфікованої корисної довжини колій на прилеглих напрямках; її мінімальне значення приймати рівним 850 м і 1050 м, а для частини станційних колій при техніко-економічному обґрунтуванні – 1700 м і 2100 м.

В роботі проведено аналіз корисних довжин колій, які використовуються для прийому або відправлення поїздів, 60 парків сортувальних станцій України, в тому числі парків прийому, відправлення та приймально-відправних. Всього проаналізовано довжину 440 колій, з яких 197 колій призначених для прийому поїздів, 134 колії – для прийому та відправлення поїздів і 109 колій – для відправлен-

ня поїздів. Колії приймально-відправних парків, що використовуються для інших потреб (відстою вагонів, тупикові, витяжні, тощо) в розрахунках не враховувались.

Необхідно зазначити, що переважна кількість парків (98%) запроектована з урахуванням стандартної корисної довжини колій 850 м, а решта (2%) – з корисною довжиною колій 1050 м. Гістограми розподілу приймально-відправних колій за довжиною наведені на рисунку 2.1.

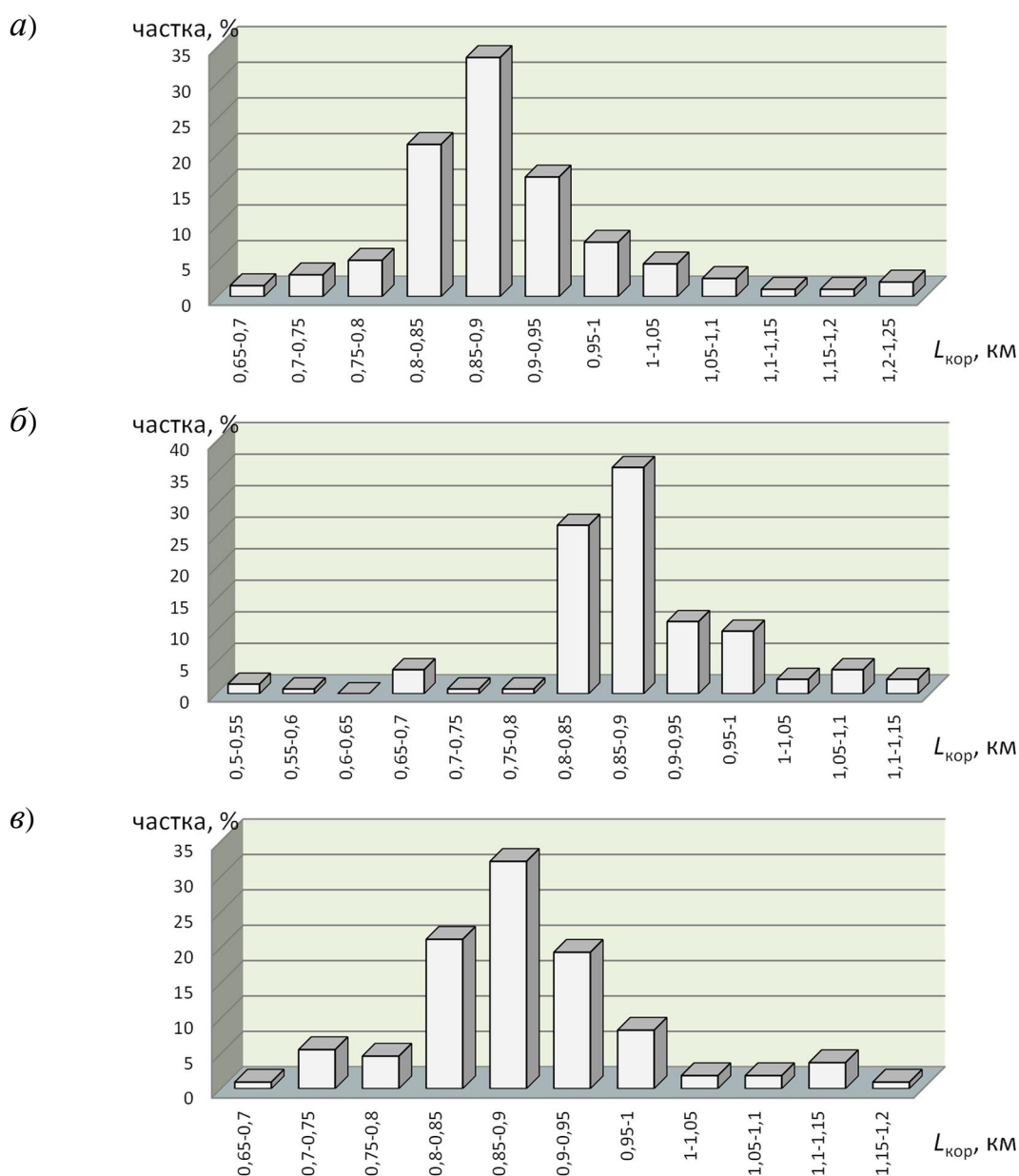


Рисунок 2.1 – Гістограми розподілу колій за корисною довжиною:

а) в парках прийому; б) в приймально-відправних парках;

в) в парках відправлення



Аналіз розподілу колій в парках прийому за їх довжиною показав, що значна частка колій (69%) має корисну довжину не менше ніж 850 м, відповідає нормативам, встановленим в [71]. У той же час існують і такі колії (31%), довжина яких менша за рекомендовану. Необхідно також відзначити, що деякі парки прийому мають колії з корисною довжиною понад 1100 м (4%). Це обумовлено наявністю довгосоставних поїздів на прилягаючих до них напрямках.

В приймально-відправних парках сортувальних станцій розподіл колій за корисною довжиною значно відрізняється від попередніх результатів. Насамперед, слід відзначити достатньо малу частку колій (5%), довжина яких не відповідає стандартній – 850 м. Це обумовлено обслуговуванням на даних коліях транзитних поїздів з технічним оглядом і екіпіровкою локомотивів на «канавах», які розташовуються безпосередньо на коліях. В приймально-відправних парках також є коліє, довжина яких більше 1100 м, але їх в два рази менше ніж в парках прийому (2%).

Нарешті, розподіл колій за довжиною в парках відправлення практично не відрізняється від розподілу колій в парках прийому. Тут також присутні колії (32%), корисна довжина яких не відповідає стандартній, зазначеній в [71], але частка колій з довжиною понад 1100 м вище (6%). Це пояснюється наступним. Значна кількість парків відправлення (86%) розташовані послідовно до сортувального парку і, як відомо з [72], між такими парками витримується відстань 400-600 м для виконання операцій по закінченню формування. Для деяких відправних колій до їх корисної довжини включається вказана відстань або її частка.

Таким чином, корисна довжина більшої частини колій приймально-відправних парків сортувальних станцій України відповідає довжині, яка рекомендується [71].

### **2.3 Дослідження конструкції стрілочних горловин парків сортувальних станцій**

До конструкції горловин приймально-відправних парків або залізничних станцій висувають наступні вимоги [73]:

- забезпечення найбільшої пропускної здатності та числа одночасно виконуваних операцій при дотриманні умов безпеки їх виробництва;
- досягнення максимальної компактності і скорочення довжини горловин;
- забезпечення необхідного технологічного зв'язку між коліями та парками станції і взаємозамінності колій у парках;
- забезпечення виходів зі станції на вантажні пункти (фронти) підприємств і на під'їзні колії з можливо більшого числа приймально-відправних і сортувальних колій при найменшій числі пересічних маршрутів;
- при підході до станції декількох під'їзних і з'єднувальних колій горловини повинні забезпечувати паралельний прийом та відправлення поїздів цих напрямків;
- забезпечення рівномірного завантаження стрілочних переводів при найменшій їх числі на головних коліях станції.

Безпека прийому та відправлення поїздів і маневрової роботи досягається застосуванням раціональних схем горловин з найменшим перетинанням головних колій станцій, устаткуванням станції обладнаннями електричної централізації і автоматики. На великих станціях приймально-відправні парки секціонують для здійснення паралельних операцій. Для скорочення довжини горловин у приймально-відправних парках застосовують перехресні з'їзди та перехресні стрілочні переводи.

В роботі виконаний аналіз конструкції горловин 60 приймально-відправних парків сортувальних станцій України. У відповідності до [73] конструкція стрілочних горловин повинна забезпечувати мінімальну дисперсію корисної довжини колій приймально-відправних парків з метою їх рівномірного зносу. Конструкції горловин існуючих парків не всі відповідають вказаній вимозі.

Розподіл середнього квадратичного відхилення корисної довжини  $\sigma_L$  від кількості колій  $m$  в приймально-відправних парках сортувальних станцій України наведений на рисунку 2.2.

Як показує аналіз, при збільшенні кількості колій в приймально-відправних парках зростає значення величини  $\sigma_L$ , на що значним чином впливає

конструкція стрілочних горловин парків. Цей факт є одним з недоліків існуючих стрілочних горловин парків сортувальних станцій України. Міру взаємозв'язку між кількістю колій  $m$  і  $\sigma_L$  визначено на основі кореляційного аналізу.

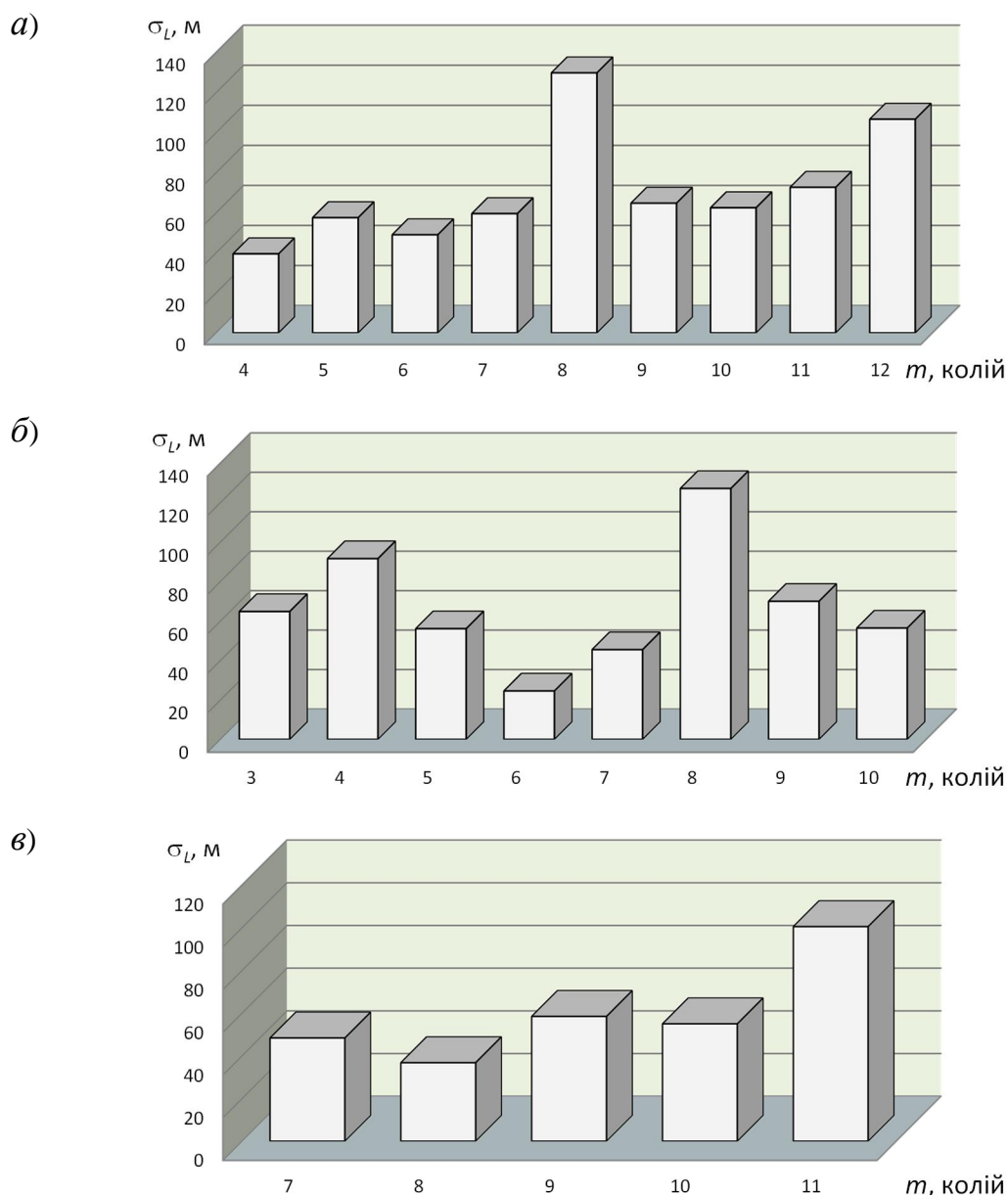


Рисунок 2.2 – Гістограми розподілу середнього квадратичного відхилення корисної довжини колій  $\sigma_L$ : *a)* в парках прийому; *б)* в приймально-відправних парках; *в)* в парках відправлення

При розрахунках тісноти кореляційного зв'язку між випадковими величинами  $x$  та  $y$  їх середні арифметичні значення визначаються за допомогою формул:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість спостережень;

$x_i, y_i$  – значення випадкових величин у окремих спостереженнях.

Емпіричні дисперсії розраховуються за формулами

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right), \quad S_y^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2 \right). \quad (2.2)$$

Наведені параметри відповідно характеризують ознаки  $X$  та  $Y$ . Емпірична коваріація між значеннями  $x$  та  $y$  визначається за формулою

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} \right). \quad (2.3)$$

Емпіричний коефіцієнт кореляції розраховується за формулою

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (2.4)$$

Сила зв'язку між випадковими величинами  $x$  та  $y$  може бути оцінена за шкалою Чеддока, яка наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Шкала Чеддока

Показник щільності зв'язку, $r_{xy}$	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99
Характеристика сили зв'язку	слабкий	помірний	помітний	значний	дуже значний

На рисунку 2.3 наведені поля точок вказаних величин, а також коефіцієнти кореляції  $r$ .

Аналіз залежностей, приведених на рис. 2.3 показує, що величина  $\sigma_L$  має значний зв'язок із кількістю колій в парках відправлення і помітний для парків прийому. Зв'язку між  $\sigma_L$  і  $m$  в приймально-відправних парках сортувальних станцій зовсім не існує, що безумовно є перевагою у порівнянні до інших категорій парків.

Таким чином, встановлено, що в парках прийому та відправлення на корисну довжину колій значно впливає їх кількість, а отже конструкція стрілочних горловин парків є не досконалою і потребує детального аналізу, дослідження і можливої реконструкції.

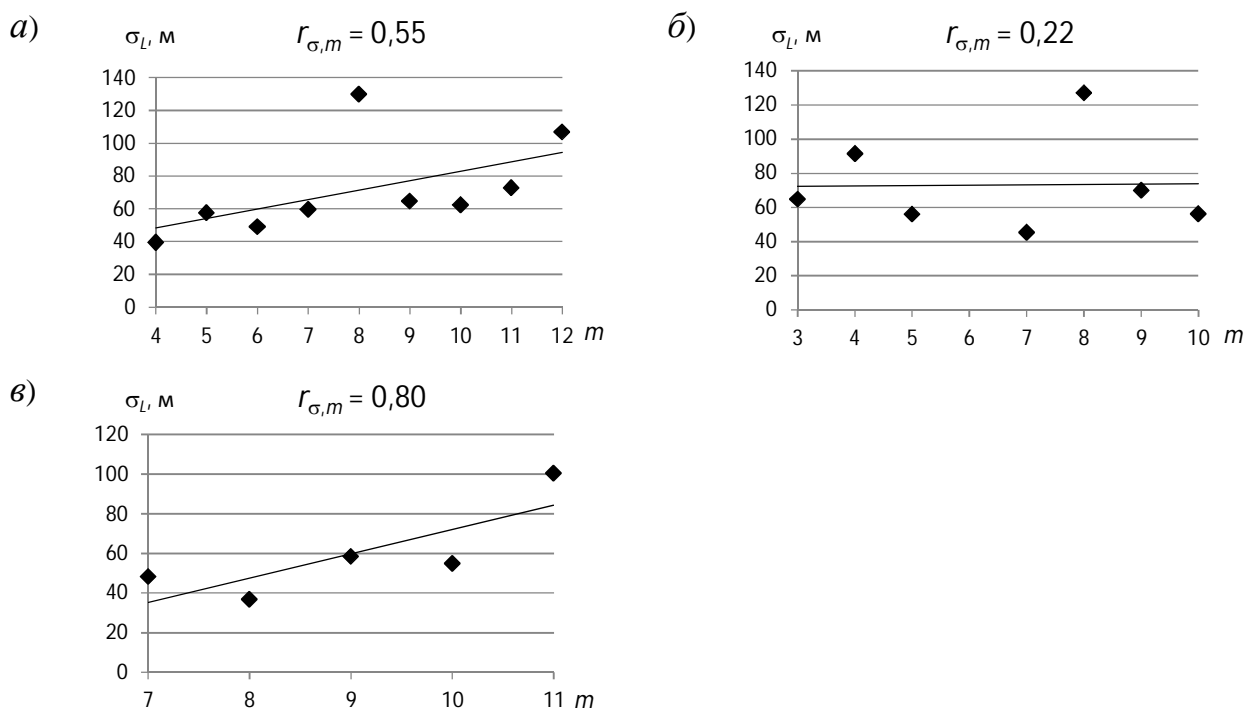


Рисунок 2.3 – Залежність  $\sigma_L$  від  $m$ : а) в парках прийому; б) в приймально-відправних парках; в) в парках відправлення

Рівень безпеки руху в стрілочних горловинах приймально-відправних парків при виконанні поїзної або маневрової роботи залежить від відповідності конструктивних елементів горловин значенням, які рекомендуються в [71]. З метою перевірки сучасного стану конструкції колійного розвитку залізничних станцій в роботі був виконаний аналіз масштабних планів стрілочних горловин приймально-відправних парків двох крупних сортувальних станцій України Нижньодніпровськ-Вузол та Верхівцеве. Результати аналізу наведені на рисунку 2.4.

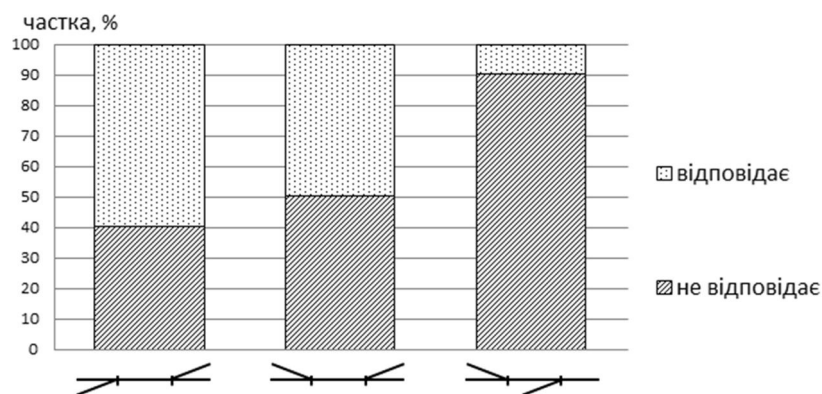


Рисунок 2.4 – Аналіз відповідності конструктивних вставок нормам проектування

Одним з факторів безпеки руху на станції є відокремлення маневрової роботи від поїзної. Аналіз конструкції колійного розвитку парків прийому показав, що у 29 % парків прийому двосторонніх та 17 % односторонніх сортувальних станцій відсутні локомотивні тупики. Вказані тупики призначені для виконання заїзду маневрового локомотиву під состав для розформування, а на односторонніх станціях ще і для прибирання поїзних локомотивів від составів, що прибувають з напрямку протилежного напрямку сортування. За відсутності локомотивних тупиків такі маневри виконують на головних коліях підходів, що примикають до парків прийому. Недосконалість конструкції колійного розвитку подібних парків прийому значно зменшую рівень безпеки на сортувальних станціях України.

## 2.4 Постановка задачі дипломної роботи

Сортувальний комплекс є одним з головних елементів сортувальних станцій, що забезпечує процес переробки вхідних вагонопотоків. В умовах ринкової економіки одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи сортувальних станцій є мінімізація витрат, пов'язаних з переробкою вагонів. У зв'язку з цим великого значення набувають питання подальшого розвитку сортувальних комплексів станцій, удосконалення їх конструкції і технології на базі наукових досліджень і оптимізації, як технічних засобів, так і організації процесу переробки вагонів на станціях. Це дозволить підвищити їх експлуатаційну надійність та продуктивність, зменшити простої вагонів на станціях, і за рахунок цього прискорити доставку вантажів, скоротити оборот вагонів і їх необхідний парк. Крім того, це буде сприяти подальшому поліпшенню економічних показників роботи станцій, в першу чергу, за рахунок зниження собівартості переробки вагонів.

У технологічному процесі роботи сортувального комплексу станції існує складний взаємозв'язок елементів і процесів на всіх етапах переробки вагонів. Тому при виборі раціональних техніко-технологічних параметрів комплексу, його необхідно розглядати в цілому, не розриваючи зв'язків між окремими елементами. При існуючому розвитку аналітичних методів дослідження сортувального комплексу станції як багатофазної багатоканальної системи не представляється можливим. У цьому зв'язку актуальною проблемою є розробка імітаційної моделі функціонування сортувального комплексу станції, яка дозволить досліджувати його роботу при різних режимах експлуатації як єдиної системи.

Таким чином, в дипломній роботі поставлена задача підвищення ефективності функціонування та експлуатаційної надійності залізничної станції за рахунок визначення її раціональних техніко-технологічних параметрів на основі імітаційного моделювання роботи станції.

## **З ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНЦІЇ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ**

### **3.1 Технічна характеристика станції**

Станція Б, схема якої наведена на рисунку 3.1 є непарним комплектом дво-системної сортувальної станції Н, що за характером та обсягами роботи є позакласною. У межах станції Н розташовані вагоноремонтне та локомотивне депо.

Станція обслуговує під'їзні колії підприємств міста Д.

Безпосередньо до станції Н примикають перегони:

- І-Б– двоколійний, обладнаний засобами автоматичного блокування;
- С-Б – двоколійний, обладнаний засобами автоматичного блокування;
- Б-Н– двоколійний, обладнаний засобами автоматичного блокування;
- Б-Ю – одноколійний, обладнаний засобами двостороннього автоматичного блокування.

### **3.2 Спеціалізація парків сортувальної станції**

Станція Б є сортувальною станцією з послідовним розташуванням парків, колійний розвиток якої згрупований у три парки (див. рисунок 3.1):

- парк прибуття «Г»;
- сортувальний парк «Б»;
- приймально-відправний парк «Л».

Парк прийому «Г» складається з 7 колій. Колії № 1–6 призначені для прийому непарних вантажних поїздів, що надходять на станцію у розформування з підходів І та С. Колія № 7 призначена для переставлення составів кутового потоку та маневрових составів з парної системи станції Н. Колія № 8 використовується для пропуску локомотивів з локомотивного депо в парк «Г» та у зворотному напрямку. Корисна довжина колій у парку прибуття складає 850 м, якої достатньо для розміщення поїздів, що надходять у розформування.





Сортувально-відправний парк «Б» призначений для накопичення вагонів та їх формування у состави згідно з планом формування. Парк «Б» складається з 16 сортувальних колій, 12 сортувально-відправних колій для вантажних поїздів, однієї сортувальної колії для затриманих вагонів, однієї ходової колії та двох колій для проведення маневрів. Корисна довжина колій у сортувальному парку відповідає розмірам надходження вагонів на кожне призначення.

Приймально-відправний парк «Л» призначений для прийому, відправлення транзитних поїздів і поїздів свого формування та складається з 10 колій.

### **3.3 Технічне оснащення станції**

Стрілочні переводи і сигнали парку прибуття «Г» обладнані пристроями електричної централізації (ЕЦ) стрілок та сигналів релейного типу з центральними залежностями; приймально-відправний парк «Л» – маршрутно-релейною централізацією (МРЦ) стрілочних переводів та сигналів. Колії парку «Г» обладнані пристроями автоматичної гіркової локомотивної сигналізації при насуванні на гірку.

Розформування поїздів здійснюється на механізованій сортувальній гірці великої потужності. Вона має по три гальмових позиції (ГП), із яких:

- перша ГП розташована перед розділювальною стрілкою і обладнана двома вагоноуповільнювачами типу НК-114;
- друга ГП розташована перед головними стрілками пучків і обладнана двома вагоноуповільнювачами типу ЗВУ у кожному пучку;
- третя ГП розташована на початку колій сортувальних парків і обладнана трьома вагоноуповільнювачами типу РНЗ-2 на кожній колії.

На території станції Б розташоване локомотивне господарство. Локомотивне депо розташоване між парком прийому «Г» і першою колією №1Г. В депо виконують всі види поточного ремонту (ТР-1, ТР-2, ТР-3), технічного обслуговування електровозів (ТО-2, ТО-3) і тепловозів (ТР-1, ТО-2, ТО-3). Для виконання цих операцій в депо існують: деповські споруди і майстерні, оглядові канами, деповські колії, пристрої реостатного випробування тепловозів, механізовані екіпірувальні пристрої, піскороздачі для електровозів та тепловозів.

В локомотивному депо виконується технічне обслуговування і екіпірування всіх поїзних локомотивів – електровозів, які прямують в парному і непарному напрямках.

На станції Б є такі пристрої вагонного господарства:

– ВЧДР, яке розташоване між приймальним парком «З» парної системи і приймально-відправним парком «Л» (в депо виконується деповський ремонт вагонів);

– МПОВ ВЧДЕ, який розташований на спеціально виділеній колії № 3 ВЧДЕ і на тупикових коліях № 23-27 МПОВ, на яких здійснюється обслуговування вагонів з відчепленням;

– ПТО – для огляду і поточного безвідчепного ремонту вагонів;

– автоконтрольний пункт – для ремонту повітророзподільника;

– пристрої централізованого огороження составів в парках «Г», «Л»;

– пристрої централізованого випробування автогальм в парках «Л», «Б».

Для зарядки гальмової мережі і випробування автогальм в поїздах автоконтрольний пункт має компресорну установку, повітропровідну мережу і повітророзбірні колонки, які знаходяться у вихідній горловині парку.

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

– радіозв'язок;

– поїзний радіозв'язок призначений для зв'язку чергових по станції із машиністами поїзних локомотивів;

– внутрішньостанційний розпорядничий прямий телефонний зв'язок;

– гучномовний двосторонній парковий зв'язок між ДСП, ДСЦ, ДСПГ;

– станційний(маневровий) призначений для радіозв'язку маневрового диспетчера, чергових по гірці з машиністами маневрових локомотивів, бригадою складачів, операторами СТЦ і сигналістами.

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

Так як сортувальна станція пропускає пасажирські та приміські поїзди із короткочасною зупинкою, то на ній передбачено низьку пасажирську платформу довжиною 500 м та шириною 4 м. Вона призначена для посадки і висадки пасажирів та розташована паралельно сортувальному парку «Б».

### **3.4 Характеристика експлуатаційної роботи**

#### **3.4.1 Основні операції, що виконуються на станції**

Відповідно до плану формування, графіку руху поїздів, плану вантажної роботи станція Б виконує наступні операції:

- розформування поїздів, що прибувають у переробку і внутрішньостанційні передачі;
- формування наскрізних, дільничних, збірних, вивізних поїздів;
- пропуск транзитних поїздів зі зміною локомотивів і локомотивних бригад;
- технічне обслуговування і комерційний огляд поїздів;
- відчеплення вагонів від транзитних поїздів з технічними чи комерційними несправностями, що вимагають їхнього усунення;
- подачу вагонів до пунктів навантаження-вивантаження на під'їзні колії станції і збирання їх на станцію;
- пропуск пасажирських поїздів, пропуск із зупинкою пасажирських приміських поїздів у низьких платформ і обслуговування пасажирів;
- подачу на колії МВРП вагонів, що вимагають відцепного ремонту і збирання після ремонту;
- подачу поїзних локомотивів, що вимагають технічного огляду й екіпірування в локомотивне господарство.

### 3.4.2 Характеристика маневрової роботи

Маневрова робота з формування, розформування, подачі, збирання і перестановки вагонів виконують п'ять локомотивів:

- два електровози серії ВЛ-8 в приймальному парку «Г» здійснюють насув составів на гірку;

- один тепловоз серії ЧМЕ-3 в підгірковій горловині виконує роботу з формування та закінчення формування, а також виконує маневри з вагонами, які потребують особливих заходів остереження, осаджування, та інші розпорядження ДСПГ;

- один тепловоз серії ЧМЕ-3 виконує роботу з перестановки готових составів із сортувально-відправного парку «Б» в приймально-відправний парк «Л»;

- один тепловоз серії ЧМЕ-3) здійснює подачу та прибирання вагонів з під'їзних колій промислових підприємств.

Усі маневрові локомотиви обладнані пневматичними приводами для відчеплення від маневрового составу з кабіни машиніста.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВХІДНОГО ПОТОКУ ПОЇЗДІВ ТА ТРИВАЛОСТІ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ З ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Підвищення експлуатаційної надійності функціонування сортувальної станції Б можливо реалізувати за рахунок використання її раціональних техніко-технологічних параметрів, які визначаються на основі імітаційного моделювання роботи станції у різних експлуатаційних умовах. У цьому зв'язку потрібно виконати ідентифікацію імітаційної моделі станції, тобто визначити всі числові параметри і характеристики вхідного потоку поїздів та системи їх обслуговування на станції.

### 4.1 Визначення параметрів вхідного потоку поїздів на станцію

Для визначення параметрів вхідного потоку поїздів, які прибувають з напрямків С, І та з парної системи (кутовий потік) у парк прибуття сортувальної станції Б, використано графік виконаної роботи, в якому вказані моменти прибуття поїздів на станцію та їх категорію. Фрагмент такого графіку наведено в Додатку А. Використовуючи моменти прибуття поїздів на станцію у відповідності до графіку їх руху, визначаються інтервали прибуття поїздів за формулою:

$$I_j = T_{j+1} - T_j, \quad (4.1)$$

де  $T_j, T_{j+1}$  – моменти прибуття суміжних поїздів, хв.

В результаті виконання вказаної процедури отримано варіаційний ряд інтервалів прибуття поїздів на станцію. Статистичний ряд випадкової величини утворюється шляхом групування спостережень у розряди. Інтервал групування (ширина розряду) приймається однаковим для усіх розрядів і визначається за формулою:

$$\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg n}. \quad (4.2)$$

Знаменник формули (4.2) являє собою кількість розрядів статистичного ряду.

При  $I_{\min} = 0$  хв (у випадку одночасного прибуття на станцію двох і більше поїздів) та  $I_{\max} = 170$  хв ширина розряду складає

$$\Delta I = \frac{170 - 0}{1 + 3,2 \cdot \lg 88} = \frac{170}{7,22} = 23,5 \text{ хв.}$$

Прийнято  $\Delta I = 24$  хв.

Статистичний ряд розподілу випадкової величини  $I$  наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Статистичний ряд інтервалів прибуття поїздів на станцію

№	Межа розряду		$\bar{I}_i$	$n_i$	$P_i$	$P_i \cdot \bar{I}_i$	$P_i \cdot \bar{I}_i^2$	$h_i$
	ліва	права						
1	0	24	12	34	0,387	4,64	55,68	0,0161
2	24	48	36	23	0,261	9,40	338,40	0,0109
3	48	72	60	18	0,205	12,30	738,00	0,0085
4	72	96	84	6	0,068	5,71	479,64	0,0028
5	96	120	108	3	0,034	3,67	396,36	0,0014
6	120	144	132	2	0,023	3,04	401,28	0,0010
7	144	168	156	1	0,011	1,72	268,32	0,0005
8	168	більше	180	1	0,011	1,98	356,40	0,0005
Разом				88	1,000	42,46	3034,08	

На основі приведених у табл. 4.1 згрупованих розрядів і кількості спостережень у кожному розряді  $n_i$ , розраховуються статистичні ймовірності  $P_i$  за формулою:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (4.3)$$

де  $n_i$  – кількість спостережень у  $i$ -му розряді;

$k$  – кількість розрядів статистичного ряду.

До основних числових характеристик випадкової величини інтервалу прибуття  $I$  відносяться:

- математичне очікування  $M[I]$ ;
- дисперсія  $D[I]$ ;

- середнє квадратичне відхилення  $\sigma[I]$ ;
- коефіцієнт варіації вхідного потоку  $v_{\text{вх}}$ ;
- інтенсивність вхідного потоку  $\lambda_{\text{вх}}$ ;
- параметр Ерланга  $K$ .

Математичне очікування інтервалу прибуття і математичне очікування квадрату інтервалу прибуття можна визначити відповідно за формулами [74]:

$$M[I] = \sum_{i=1}^k \bar{I}_i \cdot P_i, \quad (4.4)$$

$$M[I^2] = \sum_{i=1}^k \bar{I}_i^2 \cdot P_i, \quad (4.5)$$

де  $\bar{I}_i$  – середнє значення  $i$ -го розряду.

$$D[I] = M[I^2] - (M[I])^2, \quad (4.6)$$

$$\sigma[I] = \sqrt{D[I]}, \quad (4.7)$$

$$v_{\text{вх}} = \frac{\sigma[I]}{M[I]}, \quad (4.8)$$

$$\lambda_{\text{вх}} = \frac{1}{M[I]}, \quad (4.9)$$

$$K = \frac{(M[I])^2}{D[I]} \quad (4.10)$$

Визначимо числові характеристики випадкової величини  $I$ :

$$M[I] = 42,46_{\text{хв}}; \quad M[I^2] = 3034,08_{\text{хв}};$$

$$D[I] = 3034,08 - (42,46)^2 = 1231,23_{\text{хв}^2};$$

$$\sigma[I] = \sqrt{1231,23} = 35,09_{\text{хв}}; \quad v_{\text{вх}} = \frac{35,09}{42,46} = 0,83;$$



$$\lambda_{\text{вх}} = \frac{1}{42,46} = 0,024 \text{ поїздів/хв}; \quad K = \frac{(42,46)^2}{1231,23} = 1,46.$$

Для наочності статистичний ряд подано у графічному вигляді (рисунок 4.1), для чого попередньо розраховано ординати гістограми, тобто щільності ймовірностей відповідних розрядів:

$$h_i = \frac{P_i}{\Delta I}, \quad (4.11)$$

де  $\Delta I$  – ширина розряду, хв.

Ординати гістограми розраховані у табл. 4.1.

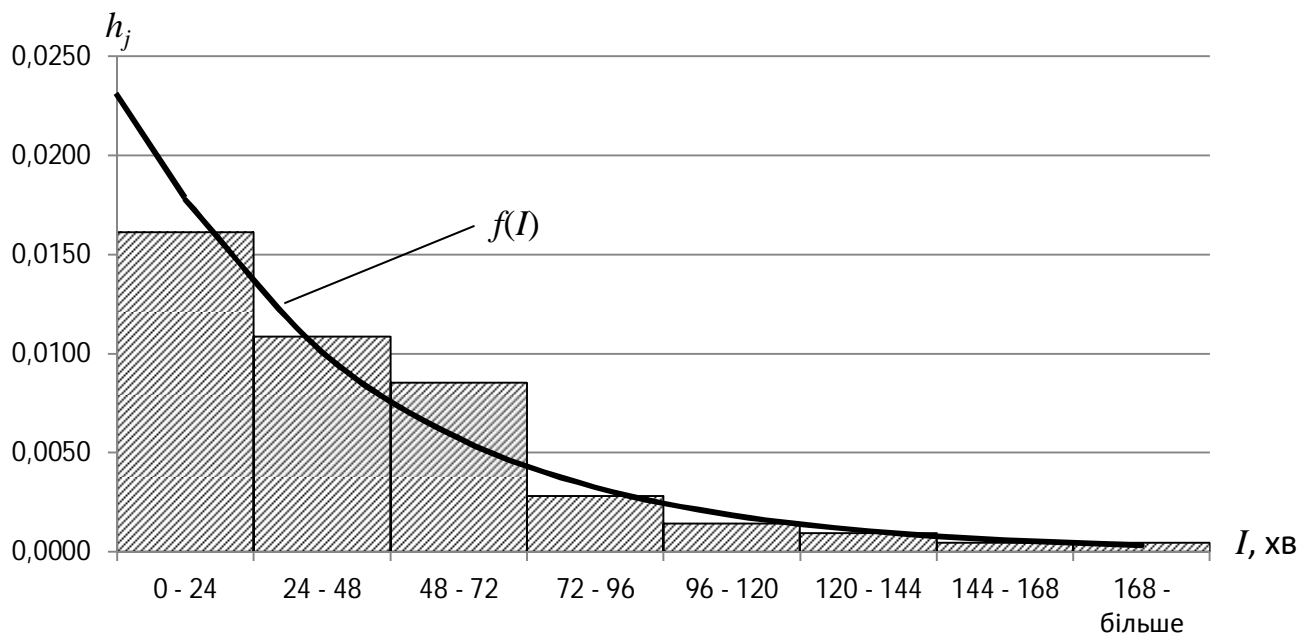


Рисунок 4.1 – Гістограма та диференціальна функція  $f(I)$  розподілу інтервалів прибуття передаточних поїздів на станцію

Аналіз результатів виконаних розрахунків показує, що інтервали прибуття поїздів на станцію змінюються у досить широких межах. Це свідчить про випадковість вхідного потоку. У цьому зв'язку необхідно визначити закон розподілу випадкової величини  $I$ .

Виходячи з зовнішнього вигляду гістограми та враховуючи параметр Ерланга ( $K = 1,46$ ), висунута гіпотеза про розподілення інтервалів прибуття поїздів

за законом Ерланга з параметром  $K = 1$ . Функція щільності для цього закону має вигляд [74]:

$$f(I) = \lambda e^{-\lambda I}. \quad (4.12)$$

Значення функції  $f(I)$  на серединах розрядів розраховані у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Значення диференціальної функції  $f(I)$

$I$	0	24	48	72	96	120	144	168
$f(I)$	0,0236	0,0134	0,0076	0,0043	0,0025	0,0014	0,0008	0,0005

Графік функції  $f(I)$  зображений на рис. 4.1.

Між статистичним та теоретичним розподіленням є деякі розходження, міру яких можна оцінити за допомогою критерію згоди Пірсона  $\chi^2$  [74]:

$$\chi^2 = n \cdot \sum_{i=1}^k \frac{(P_i - P_i^*)^2}{P_i}, \quad (4.13)$$

де  $P_i^*$  – теоретична ймовірність влучення випадкової величини у  $i$ -й розряд;

$n$  – об'єм вибірки.

Теоретична ймовірність являє собою площу, що обмежується кривою  $f(I)$  у межах окремого розряду, яка визначається за формулою:

$$P_i^* = \int_a^b f(I) dI = F(b) - F(a), \quad (4.14)$$

де  $F(I)$  – інтегральна функція розподілу випадкової величини.

Функція  $F(I)$  закону Ерланга для довільного параметра  $K$  виражається формулою:

$$F(I) = 1 - \sum_{n=0}^{K-1} \frac{(K\lambda I)^n}{n!} e^{-K\lambda I}. \quad (4.15)$$

При  $K = 1$  функція  $F(I)$  має вигляд:

$$F(I) = 1 - e^{-\lambda I}. \quad (4.16)$$

Більш докладну інформацію про розрахунок інтегральної функції викладено в [74]. Перевірка відхилення теоретичного розподілення від статистичного виконана у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок критерію Пірсона

$I, \text{хв}$	$F(I)$	$P_i$	$P_i^*$	$\frac{(P_i - P_i^*)^2}{P_i}$
0	0	—	—	—
24	0,432	0,387	0,432	0,0052
48	0,677	0,261	0,245	0,0009
72	0,817	0,205	0,139	0,0210
96	0,896	0,068	0,079	0,0019
120	0,941	0,034	0,045	0,0036
144	0,966	0,023	0,026	0,0003
168	0,981	0,011	0,015	0,0011
—	1,000	0,011	0,019	0,0060
		—	—	<b>0,0400</b>

Розрахуємо значення критерію Пірсона

$$\chi^2 = 88 \cdot 0,04 = 3,52.$$

Число ступенів свободи розраховується за формулою:

$$r = c - S - 1, \quad (4.18)$$

де  $c$  – число розрядів статистичного ряду;

$S$  – кількість накладених зв'язків,  $S = 2$ .

$$r = 8 - 2 - 1 = 5$$

Згідно з [74] табличне значення критерію Пірсона  $\chi_{\text{табл}}^2$  складає  $\chi_{\text{табл}}^2 = f(0,1; 5) = 9,24$ . Так як розраховане значення  $\chi^2$  менше за табличне

$(3,52 < 9,24)$ , то можна вважати, що статистичне розподілення випадкової величини  $I$  несуттєво відхиляється від теоретичного розподілу. Таким чином, інтервали прибуття поїздів на сортувальну станцію Б розподілені за законом Ерланга з параметром  $K = 1$ .

Ймовірність прибуття поїзду окремих категорій у вхідних потоках поїздів кожного напрямку наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Розподіл потоків поїздів по категоріям

Напрямок прибуття	Ймовірність прибуття
С	0,25
І	0,55
кутовий потік з парної системи	0,20

Одним з основних параметрів вимоги (поїзда) у вхідному потоці є кількість вагонів у складі поїзда  $m$ . Результати натурних спостережень кількості вагонів у поїзді, що прибуває на станцію наведено у Додатку А. Очевидно, що для кожного поїзда кількість вагонів у його складі різна і є випадковою. Також відомо, що тривалість виконання деяких технологічних операцій залежить безпосередньо від кількості вагонів. У цьому зв'язку потрібно визначити числові характеристики випадкової величини кількості вагонів у складі поїзда  $m$ .

При  $m_{\min} = 14$  вагонів,  $m_{\max} = 65$  вагонів та обсязі варіаційного ряду  $n = 72$  ширина розряду статистичного рядку складає

$$\Delta m = \frac{65 - 14}{1 + 3,2 \lg 72} = 7,3.$$

Прийнято  $\Delta m = 7$  вагонів.

Статистичний ряд розподілу величини  $m$  наведений у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Статистичний ряд кількості вагонів в складі поїзда

№ розряду	Межі розряду	Середина розряду $m_i$	Кількість спостережень	$P_m$	$P_m \cdot m_i$	$P_m \cdot m_i^2$
1	14 – 21	17,5	1	0,0139	0,24	4,20
2	22 – 29	25,5	1	0,0139	0,35	8,93
3	30 – 37	33,5	7	0,0972	3,26	109,21
4	38 – 45	41,5	2	0,0278	1,15	47,73
5	46 – 53	49,5	15	0,2084	10,32	510,84
6	54 – 61	57,5	23	0,3194	18,37	1056,28
7	62 – 69	65,5	23	0,3194	20,92	1370,26
Разом			72	1,0000	54,61	3107,45

Розрахуємо основні числові характеристики випадкової величини  $m$ .

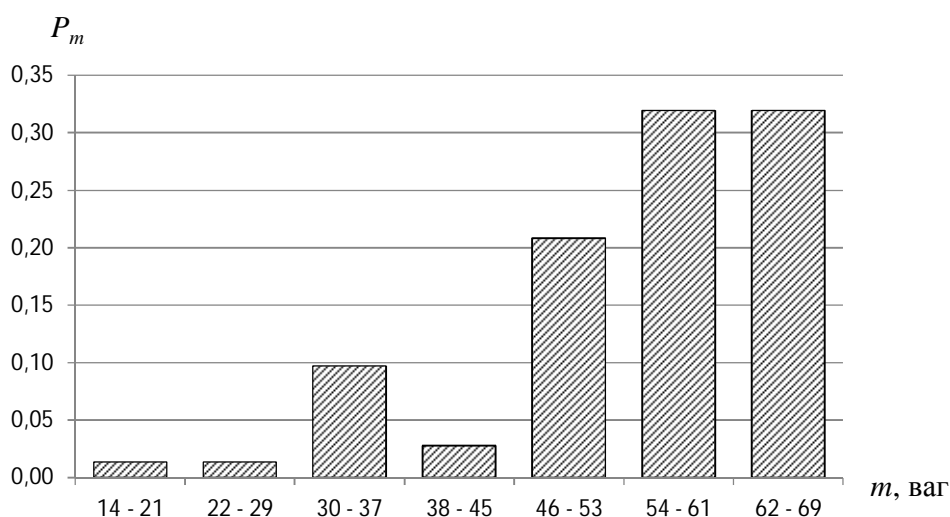
– математичне очікування  $M[m] = 54,61$  ваг;

– дисперсія  $D[m] = 3107,45 - (54,61)^2 = 125,20$  ваг<sup>2</sup>;

– середнє квадратичне відхилення  $\sigma[m] = \sqrt{125,20} = 11,19$  ваг;

– коефіцієнт варіації кількості вагонів в складі  $v_m = \frac{11,19}{54,61} = 0,20$ .

За даними статистичного ряду побудовано гістограму статистичного розподілу ймовірностей  $P_m$  випадкової величини  $m$  (рисунк 4.2).

Рисунок 4.2 – Гістограма розподілу випадкової величини  $m$ 

При моделюванні кількості вагонів у складі поїзда, що прибуває на станцію використовується значення  $P_m$ .

## 4.2 Визначення параметрів системи обслуговування

Імітаційна модель станції в процесі моделювання повинна відтворювати 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 72-х поїздів. При цьому фіксувалися кількість вагонів в поїзді  $m$ , тривалість закріплення  $t_{\text{закр}}$ , тривалість огляду складу  $t_{\text{то}}$ , тривалість очікування составу початку розформування  $t_{\text{оч}}$ , тривалість розпуску  $t_{\text{р}}$ , тривалість обробки документів  $t_{\text{док}}$ . Дані хронометражу наведені у додатку А (див. таблицю А.2).

Слід зазначити, що випадкові величини  $t_{\text{закр}}$ ,  $t_{\text{то}}$  і  $t_{\text{р}}$  не є незалежними, так як тривалість виконання відповідних технологічних операцій залежить від числа вагонів  $m$  у складі поїзда, тобто  $t = f(m)$ . Про наявність вказаної залежності свідчать поля точок (див. рисунок 4.3). Коефіцієнти кореляції для вказаних величин розраховані у Додатку Б і наведені на рис. 4.3.

Для залежних від  $m$  величин  $t_{\text{закр}}$ ,  $t_{\text{то}}$  і  $t_{\text{р}}$  за допомогою регресійного аналізу отримані вирази типу  $t = f(m)$ , які мають вигляд:

– тривалість закріплення

$$t_{\text{закр}} = e^{0,251+0,028m}, \text{ залишкова дисперсія } S_m^2 = 1,44;$$

– тривалість технічного огляду составу

$$t_{\text{то}} = \frac{1}{0,02 + 0,015\sqrt{m} - 0,002m}, \text{ залишкова дисперсія } S_m^2 = 41,52;$$

– тривалість розпуску составу

$$t_{\text{р}} = \frac{1}{1 - e^{0,002m - 0,21}}, \text{ залишкова дисперсія } S_m^2 = 5,20.$$

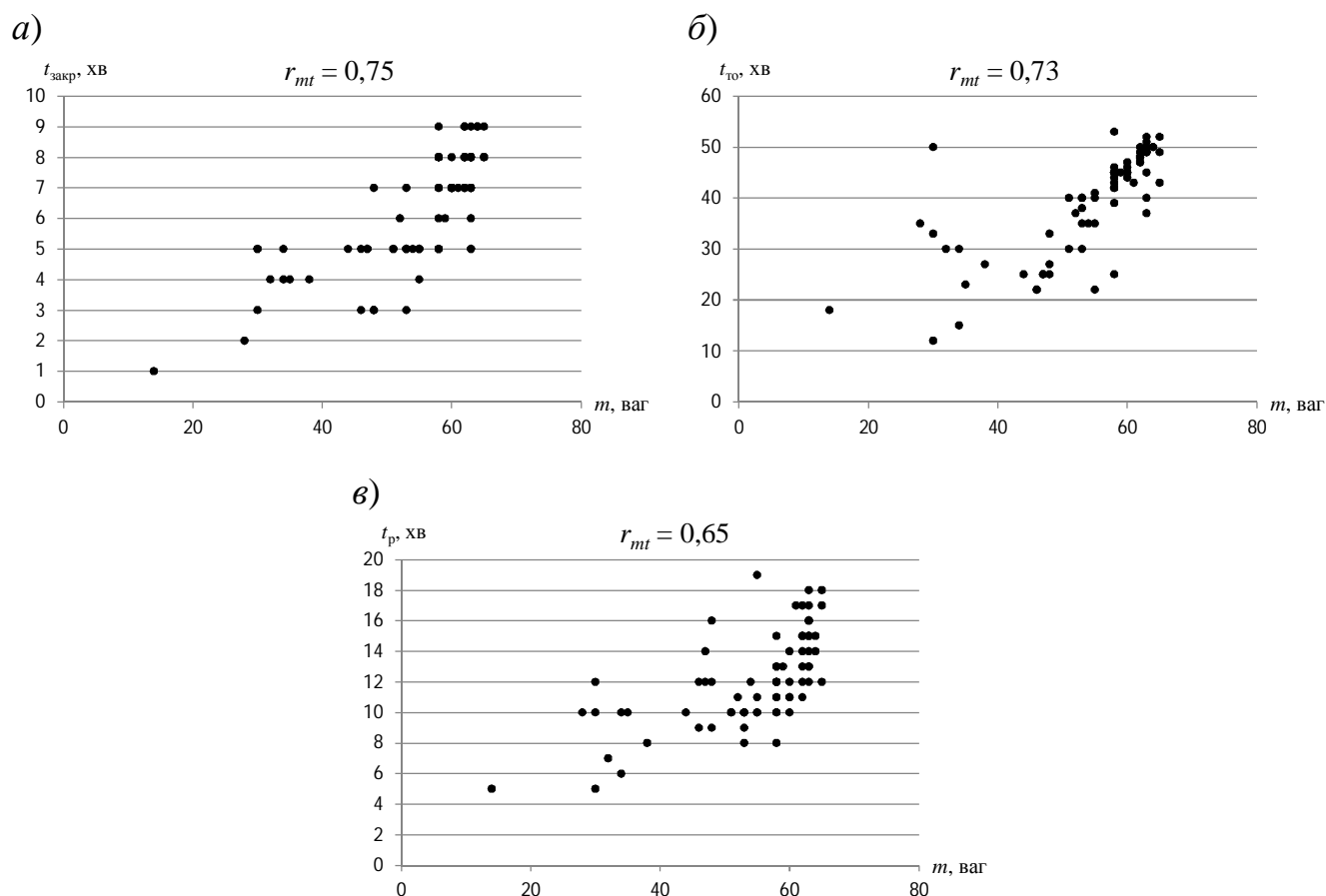


Рисунок 4.3 – Залежність тривалості операції від числа вагонів у складі поїзда:  
а) закріплення складу; б) технічний огляд; в) розпуск составу

У той же час, як видно з рисунку 4.4, випадкові величини  $t_{\text{оч}}$  і  $t_{\text{док}}$  практично не залежить від числа вагонів у складі поїзда, а відповідні коефіцієнти кореляції близькі до нуля.

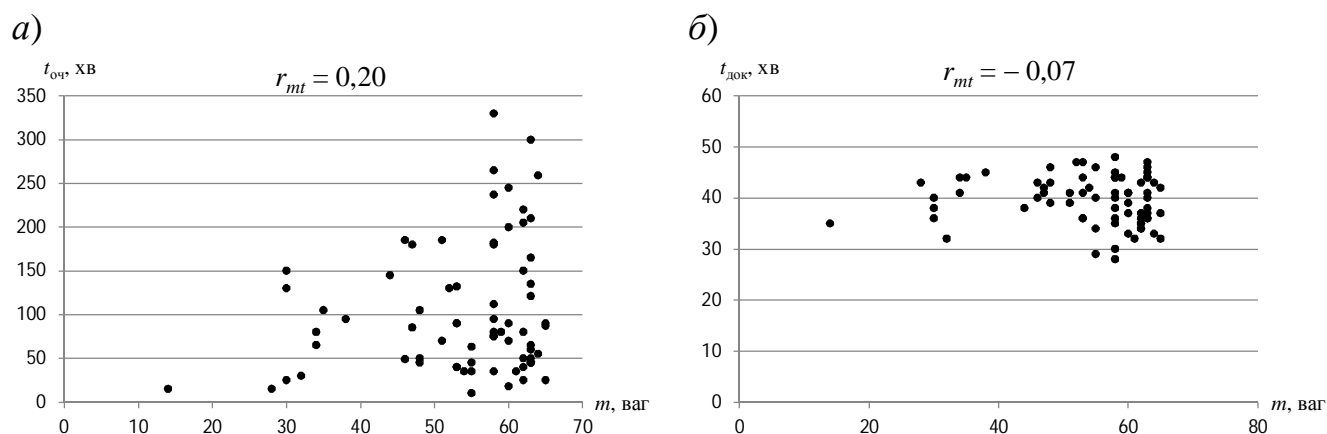


Рисунок 4.4 – Залежність тривалості операцій від числа вагонів у складі поїзда:  
а) очікування составу початку розпуску; б) обробка документів

У цьому зв'язку значення величин  $t_{\text{оч}}$  і  $t_{\text{док}}$  може моделюватися як випадкова величина з певним законом розподілу і параметрами, для чого потрібно виконати статистичну обробку даних, отриманих в результаті натурних спостережень (Додаток А), і розрахувати числові характеристики випадкової величини.

Ширина розряду для величини  $t_{\text{оч}}$  при обсязі спостережень  $n = 72$ ,  $t_{\text{min}} = 10$  хв і  $t_{\text{max}} = 330$  хв складає:

$$\Delta t = \frac{330 - 10}{1 + 3,2 \lg 72} = 46,1 \text{ хв.}$$

Прийнято  $\Delta t = 46$  хв.

Результати розрахунку параметрів статистичного ряду випадкової величини тривалості очікування составом початку розпуску  $t_{\text{оч}}$  наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Статистичний ряд випадкової величини  $t_{\text{оч}}$

№ розряду	Межі розряду	Середина розряду $\bar{t}_j$ , хв	Кількість спостережень $k_j$	$P_j$	$\bar{t}_j \cdot P_j$	$\bar{t}_j^2 \cdot P_j$	$h_j$
1	10 – 56	33	25	0,3472	11,46	378,18	0,0075
2	56 – 102	79	20	0,2778	21,95	1734,05	0,0060
3	102 – 148	125	9	0,1250	15,63	1953,75	0,0027
4	148 – 194	171	8	0,1111	19,00	3249,00	0,0024
5	194 – 240	217	5	0,0694	15,06	3268,02	0,0015
6	240 – 286	263	3	0,0417	10,97	2885,11	0,0009
7	286 – більше	309	2	0,0278	8,59	2654,31	0,0006
Разом			72	1,0000	102,66	16122,42	

Для наочності статистичний ряд (див. табл. 4.6) подано у вигляді гістограми, яка зображена на рисунку 4.5.

За даними табл. 4.6 визначені параметри розподілу тривалості очікування составом початку розпуску:

$$M[t_{\text{оч}}] = 102,66 \text{ хв}; \quad M[t_{\text{оч}}^2] = 16122,42 \text{ хв}^2;$$

$$D[T] = 16122,42 - (102,66)^2 = 5583,34 \text{ хв}^2; \quad \sigma[T] = \sqrt{5583,34} = 74,72 \text{ хв};$$

$$\nu_{\text{обс}} = \frac{\sigma[T]}{M[T]} = \frac{74,72}{102,66} = 0,73; \quad \mu = \frac{1}{M[t_{\text{оч}}]} = \frac{1}{102,66} = 0,0097 \text{ сост./хв};$$



$$K = \frac{(102,66)^2}{5583,34} = 1,88. \text{ Прийнято } K = 2.$$

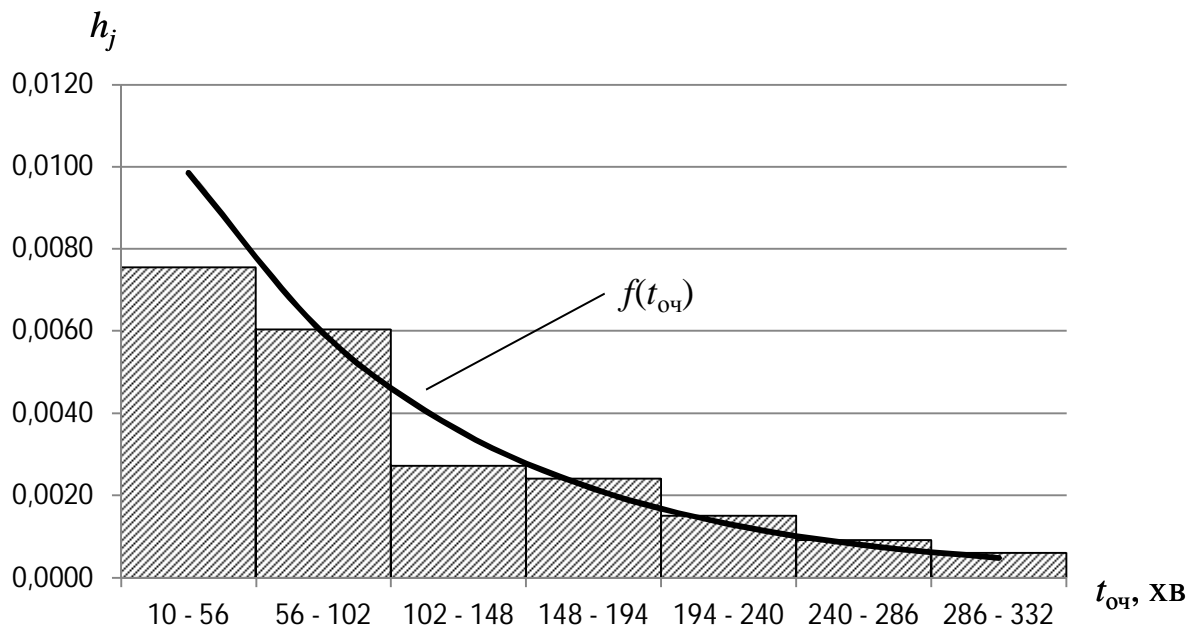


Рисунок 4.5 – Гістограма розподілу тривалості очікування составом початку розпуску

Виходячи з зовнішнього вигляду гістограми (див. рис. 4.5), висунута гіпотеза про розподіл випадкової величини  $t_{оч}$  за зміщеним показниковим законом.

Показниковий закон розподілу розглядається не для величини  $t_{оч}$ , а для величини  $\Delta t_{оч}$ , яка являє собою різницю між значеннями величини  $t_{оч}$  та її мінімальним значенням  $t_{min} = 10$  хв (див. табл. 4.6), тобто  $\Delta t_{оч} = t_{оч} - t_{min}$ . Таким чином, розглянемо розподіл випадкової величини  $\Delta t_{оч}$ , для якої визначені відповідні числові характеристики:

$$M[\Delta t_{оч}] = M[t_{оч}] - t_{min} = 102,66 - 10 = 92,66 \text{ хв};$$

$$\begin{aligned} M[\Delta t_{оч}^2] &= M[(t_{оч} - t_{min})^2] = M(t_{оч}^2 - 2 \cdot t_{оч} \cdot t_{min} + t_{min}^2) = \\ &= M[t_{оч}^2] - 2 \cdot t_{min} \cdot M[t_{оч}] + M[t_{min}^2] = 16122,42 - 2 \cdot 10 \cdot 102,66 + 10^2 = 14169,22 \text{ хв}^2; \end{aligned}$$

$$D[\Delta t_{оч}] = 14169,22 - (92,66)^2 = 5583,34 \text{ хв}^2;$$

$$\sigma[\Delta t_{оч}] = \sqrt{5583,34} = 74,72 \text{ хв};$$

$$v_{\text{оч}} = \frac{\sigma[\Delta t_{\text{оч}}]}{M[\Delta t_{\text{оч}}]} = \frac{74,72}{92,66} = 0,81;$$

$$\rho = \frac{1}{M[\Delta t_{\text{оч}}]} = \frac{1}{92,66} = 0,011;$$

$$K = \frac{(M[\Delta t_{\text{оч}}])^2}{D[\Delta t_{\text{оч}}]} = \frac{(92,66)^2}{5583,34} = 1,54$$

Прийнято  $K = 1$ .

Щільність ймовірностей для показникового закону розподілу випадкової величини  $\Delta t_{\text{оч}}$  визначається за формулою:

$$f(\Delta t_{\text{оч}}) = \rho e^{-\rho \Delta t_{\text{оч}}} . \quad (4.19)$$

Результати розрахунку значень функції  $f(\Delta t_{\text{оч}})$  на межах розрядів статистичного ряду наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Значення функції  $f(\Delta t_{\text{оч}})$

$\Delta t_{\text{оч}}, \text{ хв}$	10	56	102	148	194	240	286	322
$f(\Delta t_{\text{оч}})$	0,0099	0,0059	0,0036	0,0022	0,0013	0,0008	0,0005	0,0003

За результатами табл. 4.7 на рис. 4.5 побудований графік функції  $f(\Delta t_{\text{оч}})$ .

Інтегральна функція  $F(\Delta t_{\text{оч}})$  показникового закону визначається за формулою:

$$F(\Delta t_{\text{оч}}) = 1 - e^{-\rho \Delta t_{\text{оч}}} . \quad (4.20)$$

Результати розрахунку значень інтегральної функції  $F(\Delta t_{\text{оч}})$  і теоретичної ймовірності  $P_j^*$  наведені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Значення функції  $F(\Delta t_{\text{оч}})$  і ймовірності  $P_j^*$

$\Delta t_{\text{оч}}, \text{ хв}$	10	56	102	148	194	240	286	322
$F(\Delta t_{\text{оч}})$	0	0,4599	0,6744	0,8037	0,8816	0,9286	0,9570	1,000
$P_j^*$	0,4599	0,2145	0,1293	0,0779	0,0470	0,0284	0,0430	—

З використанням значень  $P_j$  та  $P_j^*$  кожного розряду у таблиці 4.9 наведені розрахунки елементів формули (4.13).

Таблиця 4.9 – Розрахунок елементів формули для визначення критерія Пірсона

№ розряду	$P_j$	$P_j^*$	$\frac{(P_j - P_j^*)^2}{P_j}$
1	0,3472	0,4599	0,0366
2	0,2778	0,2145	0,0144
3	0,1250	0,1293	0,0001
4	0,1111	0,0799	0,0088
5	0,0694	0,0470	0,0072
6	0,0417	0,0284	0,0042
7	0,0278	0,0430	0,0083
Разом			<b>0,0796</b>

Розрахуємо значення критерію Пірсона

$$\chi^2 = 72 \cdot 0,0796 = 5,73.$$

Кількість степенів вільності складає  $r = 7 - 2 - 1 = 4$ . Критичне значення критерію Пірсона при цьому складає  $\chi^2_{\text{табл}} = f(0,1; 4) = 7,78$ .

Таким чином, розрахункове значення  $\chi^2$  менше  $\chi^2_{\text{табл}}$  ( $5,73 < 7,78$ ) і гіпотеза про розподіл випадкової величини  $\Delta t_{\text{оч}}$  за зміщеним показниковим законом з параметром  $K = 1$  не суперечить дослідним даним.

Слід зазначити, що окреме випадкове значення тривалості очікування составом початку розпуску  $t_{\text{оч}}$  може бути визначено як сума мінімального значення тривалості обслуговування  $t_{\text{min}}$  та випадкового значення тривалості очікування  $\Delta t_{\text{оч}}$ , тобто  $t_{\text{оч}} = t_{\text{min}} + \Delta t_{\text{оч}}$ .

Аналогічним чином визначаються числові характеристики та закон розподілення випадкової величини тривалості обробки документів  $t_{\text{док}}$  (див. Додаток Б).

В результаті розрахунків встановлено, що випадкова величина  $t_{\text{док}}$  розподілена за нормальним законом з параметрами  $M[t_{\text{док}}] = 39,17$  хв і  $\sigma[t_{\text{док}}] = 4,72$  хв.

## **5 ФОРМАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ СТАНЦІЇ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ ТА РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Під формалізацією розуміють подання реального процесу у будь-якому абстрактному (формальному) вигляді:

- графічному, наприклад, добовий план-графік роботи станції, криві швидкості та тривалості руху поїзда;
- аналітичному, тобто за допомогою формул.

Формалізації будь-якого реального процесу передуює вивчення структури його елементів, їх функцій та взаємодії з іншими елементами. Результати вивчення подаються у вигляді змістовного опису процесу, який являє собою перший етап формалізації.

Змістовний опис у словесному вигляді (вербальному) викладає відомості про фізичну природу процесу, дає характеристику його явищ і елементів, їх роль, функції та взаємодію. Змістовний опис процесу розробляють, як правило, спеціалісти-технологи відповідної галузі. Тому він може і не мати чіткого математичного опису процесу та формулювання задачі дослідження. Але повинен містити чітку ідею мети дослідження та усі фактори, які впливають на процес функціонування і повинні враховуватися при створенні математичної моделі.

Крім постановки задачі, змістовний опис повинен містити необхідні для дослідження вихідні дані:

- значення числових характеристик;
- параметри процесу та початкових умов.

Для транспортного об'єкту, що розглядається в роботі, прикладом змістовного опису є технологічний процес станції та її техніко-розпорядчий акт, які розкривають технологічний процес роботи об'єкта та порядок використання технічних елементів.

На основі змістовного опису виконується розробка формалізованої схеми процесу, яка є проміжним етапом між змістовним описом і математичною моделлю. Прикладом функціональної схеми є технологічні графіки обслуговування

заявок на транспортних об'єктах, мережеві (сітьові) графіки, функціональні схеми на базі систем масового обслуговування або кінцевих автоматів.

### **5.1 Технологія роботи підсистеми розформування з вантажними поїздами**

Поїзда, що надходять у розформування з напрямків С та І приймаються на колії парку «Г».

При підході поїзда до станції черговий по станції парку прибуття сповіщає по гучномовному парковому зв'язку працівників станційного технологічного центру (СТЦ), пунктів технічного огляду (ПТО) і комерційного огляду (ПКО), сигналістів про номер поїзда, його індекс, колію прийому для підготовки до зустрічі поїзда, який прибуває.

При отриманні від чергового по станції (ДСП) інформації про підхід поїзда приймальники поїздів парку «Г» оглядають поїзд, що прибуває, під час руху з двох сторін. При одночасному прибутті кількох поїздів ДСП повідомляє працівників ПТО і ПКО про черговість обробки поїздів. Після зупинки поїзда ДСП дає вказівки сигналістам про закріплення состава на колії прибуття.

Обробка составів в парку прийому складається з таких операцій:

- контрольної перевірки і передачі інвентарних номерів вагонів поїздів, що прибувають за допомогою телетайпних апаратів або ЕОМ;
- технічного обслуговування вагонів;
- комерційного огляду вагонів.

Після відчеплення локомотива ДСП сповіщає працівників ПТО про закріплення состава і дозволяє починати технічне обслуговування. Оператор ПТО огорожує состав за допомогою пристроїв централізованого огородження, а бригада приступає до його обслуговування. Кількість бригад і груп, їх розставлення, порядок огородження составів, огляд і ремонт вагонів, час на виконання операцій встановлюються технологічним процесом роботи станції і пункту технічного обслуговування вагонів. При технічному огляді вагонів у парках прибуття виявляються вагони, що потребують відчепного ремонту у вагонному депо, а також вагони з технічними несправностями, які можуть бути усуненні в парку відправлен-

ня «Л». Про всі несправності, що підлягають усуненню при безвідчепному ремонті, оглядачі парків приймання наносять крейдянні позначки на бокових стінках кузовів вагонів, на бортах платформ, на котлах або рамах цистерн.

При технічному огляді вагонів оглядачі виявляють у складі поїзда вагони, які не можуть прямувати далі, або подаватися під завантаження на станції, Дирекції і промисловим підприємствам, під'їзні колії яких примикають до станцій, через необхідність відставлення їх на плановий вид ремонту чи виконання технічного обслуговування з відчепленням і негайно повідомляють номери таких вагонів оператору СТЦ парку прибуття для їх подальшого відчеплення від составу.

У процесі підготування составів до розформування одночасно з технічним оглядом оглядачі здійснюють відпускання гальм, паралельно з технічним оглядом проводиться комерційний огляд составів та усунення виявлених ушкоджень.

Отримавши від ДСП інформацію про прибуття поїзда на станцію, приймальники поїздів отримують через оператора СТЦ (списувача) довідку про наявність запорно-пломбувальних пристроїв (ЗПП) та завчасно виходять зустрічати поїзд в зазначене місце. Під час руху поїзда приймальники поїздів оглядають вагони в комерційному відношенні: спостерігають за станом люків та дверей, розміщенням та кріпленням вантажів на відкритому рухомому складі, наявністю ЗПП, закруток на дверях вагонів, а також станом кузовів та підривом покрівлі вагона. Після зупинки поїзда на колії приймання, огороження його працівниками ПТО, закріпленням гальмовими башмаками, приймальники поїздів проводять двосторонній огляд, проходячи вздовж состава одночасно з обох боків. В процесі двостороннього огляду приймальники поїздів особливу увагу спрямовують на наявність ЗПП на вагонах, виявляють та усувають комерційні несправності, що загрожують безпеці руху і збереженню вагонів і вантажів. При огляді вагона за ЗПП приймальниками поїздів наноситься крейдяна відмітка, вказуючи дату огляду і ПКО парку. При виявленні пошкоджених запірних пристроїв вагонів, створок дверей або їх відсутності та інших несправностей приймальник сумісно з працівником ПТО складають акти ГУ-23 та ВУ-23.

Про результати огляду составів в комерційному відношенні старший приймальник поїздів повідомляє оператору СТЦ та ДСП, реєструє в книзі форми ГУ-98 на ПКО. При виявленні комерційних несправностей старший приймальник поїздів реєструє їх в книзі реєстрації комерційних несправностей форми ГУ-98. При відсутності несправностей – роблять відмітку «Комерційних несправностей не виявлено», завіряючи кожний запис підписом. Усунення комерційних несправностей проводиться порядком, вказаним в «Інструкції з охорони праці для приймальників поїздів».

Після обробки составів в технічному та комерційному відношенні виконується розформування. Графік виконання технологічних операцій з поїздами, що прибули у розформування, наведено на рисунку 5.1.

операція	до при- буття	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 5.1 – Графік обробки поїзда, що прибув у розформування

У технологічному графіку (див. рис. 5.1) тривалість операцій нормована та прийнята у відповідності до Технологічного процесу роботи станції Б.

## 5.2 Формалізація технологічного процесу обслуговування поїздів у розформування

Технологічний процес обслуговування поїздів у розформування представляє собою послідовність виконання елементарних операцій з транспортною вимогою у системі. Для формалізації технологічного процесу можуть бути використані діаграми Ганта (стрічкові графіки), скінчені автомати та ін. Але найбільш зручним способом є сітьовий графік.

Сітьовий графік являє собою модель технологічного процесу у виді мережі, тобто фігури, що складається з вершин і з'єднуючих їх ребер [75]. У сітьовому графіку розрізняють три елементи: роботу, подію і шлях. Сітьовий графік технологічного процесу обслуговування поїзда у розформування наведено на рисунку 5.2.

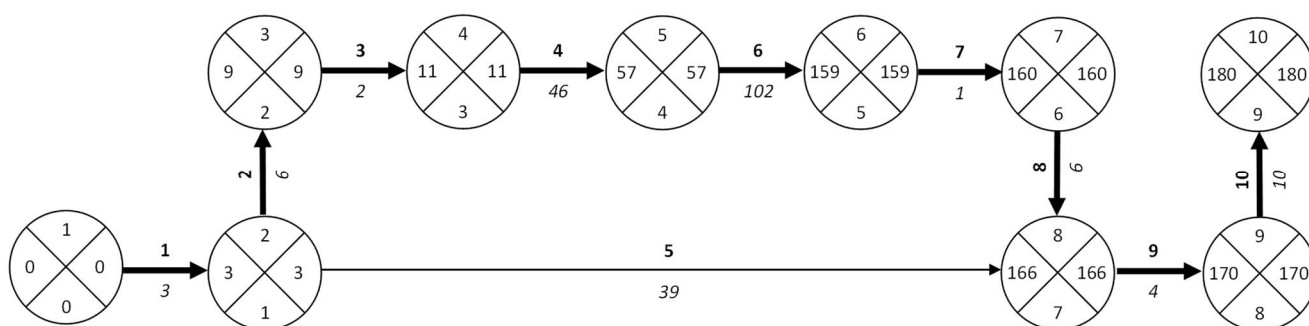


Рисунок 5.2 – Сітьовий графік процесу обслуговування поїзда у розформування

Табличним аналогом сітьового графіку є структурно часова таблиця, в якій вказується весь перелік елементарних робіт, дані про їх тривалість і взаємну обумовленість, а також виконавці елементарних робіт та їх кількість. Структурно-часова таблиця комплексу технологічних операцій, що виконуються з транзитним поїздом зі зміною локомотива наведена у таблиці 5.1.



Таблиця 5.1 – Структурно-часова таблиця комплексу операцій по обслуговуванню поїзда у розформування

№	Робота	Попередні роботи	Виконавець	Тривалість, хв
1	Прийом поїзда	–	черговий по станції	3,0
2	Закріплення составу	1	сигналіст	$t_{\text{закр}} = e^{0,251+0,028m}$
3	Відчеплення поїзного локомотиву	2	поїзний локомотив	2,0
4	Технічний огляд	3	бригада ПТО	$t_{\text{то}} = \frac{1}{0,02 + 0,015\sqrt{m} - 0,002m}$
5	Обробка документів	4	оператор СТЦ	нормальний закон $M[t] = 39,17$ , $\sigma[t] = 4,72$
6	Очікування составом причеплення гірочного локомотива	5	–	показниковий закон $M[t] = 102,66$
7	Причеплення гірочного локомотива	6	гірочний локомотив	1,0
8	Прибирання башмаків	7	сигналіст	$t_{\text{приб}} = e^{0,251+0,028m}$
9	Насув		гірочний локомотив	4,0
10	Розпуск		гірочний локомотив	$t_p = \frac{1}{1 - e^{0,002m - 0,21}}$

Примітка \*  $m$  – кількість вагонів в составі поїзда.

У структурно-часовій таблиці (див. табл. 5.1) тривалість операцій представлена постійним числом, виразом або законом розподілення з певними параметрами. При моделюванні процесу обслуговування поїзда у розформування тривалість технологічних операцій визначається для кожної окремої транспортної вимоги встановленим способом.

### 5.3 Основні принципи імітаційного моделювання роботи станції

При дослідженні роботи станції Б процес її функціонування можна розглядати як багатофазну, багатоканальну систему масового обслуговування (СМО) [76]. Фазами обслуговування є окремі операції, що виконуються відповідно до технологічного процесу обробки поїздів у визначеній послідовності, частково паралельно, частково послідовно. Обслуговуючими каналами в СМО є виконавці різної спеціалізації (сигналіст, бригада ПТО, маневровий локомотив, оператор СТЦ і ін.).

Прийнято, що кожен елементарну роботу може виконати виконавець строго визначеної спеціалізації (наприклад, закріплення поїзда здійснює сигналіст, огляд вагонів – бригада ПТО й ін.). У той же час виконавець даної спеціалізації може виконувати кілька різних елементарних робіт (наприклад, сигналіст закріплює поїзд башмаками і прибирає башмаки і т.д.). Формалізація технологічного процесу обробки поїзда виконана на базі сітьового графіка [20-22], який представлено за допомогою структурно-часової таблиці.

Кожна елементарна робота в імітаційній моделі представлена структурою

$$W_i = \{N_w, w, e, \rho, t, \alpha, \beta\}, \quad i = 1, 2, \dots, s, \quad (5.1)$$

де  $N_w$  – ідентифікатор роботи (порядковий номер);

$w$  – список ідентифікаторів попередніх робіт,  $w = \{N_{w1}, N_{w2}, \dots, N_{wr}\}$ ;

$e$  – спеціалізація (ідентифікатор) виконавця даної роботи;

$\rho$  – признак вільності виконавця;

$t$  – тривалість виконання операції, яка може бути задана константою або функцією,  $xv$ ;

$\alpha$  – признак початку даної роботи, «0» – робота не почата, «1» – робота почата;

$\beta$  – признак виконання даної роботи, «0» – робота не виконана, «1» – робота виконана;

$s$  – загальна кількість робіт технологічного процесу обробки состава.

Кожний виконавець в моделі станції представлений структурою

$$E_i = \{N_e, \mu, N_{obj}\}, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (5.2)$$

де  $N_e$  – ідентифікатор (спеціалізація) виконавця;

$\mu$  – признак вільності даного виконавця, «0» – виконавець вільний, «1» – виконавець зайнятий;

$N_{obj}$  – ідентифікатор об'єкту (составу), який обслуговується даним виконавцем;

$k$  – загальна кількість виконавців.

Транзитні поїзда представляють собою об'єкти, що обслуговуються виконавцями у відповідності до технологічного процесу. Такі об'єкти в моделі представлені структурою

$$O_i = \{N_{\text{obj}}, N_{\text{pod}}, \mathbf{w}, T_{\text{in}}, T_{\text{out}}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5.3)$$

де  $N_{\text{obj}}$  – ідентифікатор об'єкту;

$N_{\text{pod}}$  – ідентифікатор підходу, з якого прибув даний об'єкт в СМО;

$\mathbf{w}$  – список елементарних робіт технологічного процесу обробки поїзда;

$T_{\text{in}}$  – момент входу об'єкта в СМО;

$T_{\text{out}}$  – момент виходу об'єкта із СМО;

$n$  – загальна кількість об'єктів.

Станція в імітаційній моделі є контейнером, в якому зберігаються списки виконавців і обслугованих поїздів та представляється структурою:

$$P = \{\mathbf{O}, \mathbf{E}\}, \quad (5.4)$$

де  $\mathbf{O}$  – список об'єктів, які покинули СМО;

$\mathbf{E}$  – список виконавців,  $\mathbf{E} = \{E_1, E_2, \dots, E_k\}$ .

До станції примикає один підхід. В імітаційній моделі підходи представлені у вигляді структури:

$$H_i = \{N_{\text{pod}}, Q_{\text{obj}}, M[L], I_{\text{min}}, K\}, \quad i = 1, 2, \dots, r, \quad (5.5)$$

де  $N_{\text{pod}}$  – ідентифікатор підходу;

$Q_{\text{obj}}$  – черга поїздів, що мають прибути на станцію із даного підходу;

$M[L]$  – математичне очікування інтервалу прибуття, хв;

$I_{\text{min}}$  – мінімальний інтервал прибуття, хв;

$K$  – параметр Ерланга;

$r$  – загальна кількість підходів.

Завдяки такій структуризації в імітаційній моделі, можна у будь-який час моделювання одержати певний стан системи і об'єктів у неї.

Інтервали прибуття поїздів з підходу на станцію моделюються за законом Ерланга (див. п. 3.1) за формулою

$$I_{i,i-1} = -\frac{M[I] - I_{\min}}{K} \ln \prod_{j=1}^K R_j + I_{\min}, \quad (5.6)$$

де  $M[I]$  – математичне очікування інтервалу прибуття,  $хв$ ;

$I_{\min}$  – мінімальний інтервал прибуття,  $хв$ ;

$K$  – параметр Ерланга;

$R_j$  – чергове випадкове число, рівномірно розподілене в інтервалі  $[0 \div 1]$ .

Тривалість технологічних операцій вказана у в табл. 5.1 і може бути представлена конкретним значенням або залежністю від деяких параметрів.

При моделюванні тривалості операцій за встановленими законами з певними параметрами використовуються формули:

– для зміщеного показникового закону розподілення

$$t_j = t_{\min} + (t_{\max} - t_{\min}) \ln R_j, \quad (5.7)$$

– для нормального закону розподілення

$$t_j = M[t] + Z_j \sigma[t], \quad (5.8)$$

де  $Z_j$  – чергове нормально розподілене число, яке можна визначити за формулою

$$Z_j = \sum_{i=1}^{12} R_i - 6. \quad (5.9)$$

Імітаційна модель роботи станції працює наступним чином. В момент запуску моделі виконується ініціалізація всіх структур об'єктів – моделювання тривалості робіт технологічного процесу обробки поїзда у розформування, моделювання моментів прибуття поїздів на станцію, а також формування черги поїздів,

що мають прибути з кожного підходу. При цьому момент прибуття кожного поїзду визначається за формулою

$$T_j = T_{j-1} + I_{j,j-1}. \quad (5.10)$$

В черговий момент системного часу ( $T_c$ ) перевіряється стан кожного підходу на наявність прибулих поїздів, тобто перевіряється умова:

$$T_c \geq T_{\text{приб}}. \quad (5.11)$$

Якщо вона виконується, то вважається, що поїзд готовий до обслуговування на станції і перевіряється її стан на наявність вільних виконавців початкових робіт технологічного процесу. При позитивній відповіді перевірки поїзд з черги видаляється і заноситься до структури станції. В протилежному випадку поїзд залишається у черзі і перевіряється у наступний момент системного часу.

Після перевірки стану підходів, перевіряється стан станції – перевіряється виконання робіт технологічного процесу по кожному поїзду, що знаходиться на станції. При цьому чергова робота не може бути почата, якщо не виконані попередні роботи і не знайдений вільний виконавець даної роботи. Якщо всі роботи технологічного процесу обробки поїзда у розформування виконані, об'єкт даного поїзда заноситься до списку об'єктів, що покинули СМО (див. формулу 5.4). Це зроблено з метою отримання результатів обробки кожного поїзда по закінченні моделювання.

## **6 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ СТАНЦІЙ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ З ВАНТАЖНИМИ ПОЇЗДАМИ**

### **6.1 Постановка задачі дослідження**

В процесі транспортування вантажів по залізничним дорогам вагони знаходяться у русі по дільницям, стоять на залізничних станціях і вантажних об'єктах при виконанні різноманітних технологічних операцій, а також в очікуванні їх виконання. Величина простою вагона має важливе значення для експлуатаційної діяльності залізниць і оказує безпосередній вплив на ефективність використання вагонного парку. Простій вагона складається з двох основних складових – простою під технологічними операціями і в очікуванні їх виконання. При розробці заходів з покращення використання вагонів особлива увага повинна бути приділена мінімізації другої складової – тривалості очікування виконання технологічних операцій [77]. Очевидно, що надійність роботи станції значно впливає на невиробничі простої рухомого складу.

Завдання підвищення експлуатаційної надійності залізничних станцій і, як наслідок, скорочення тривалості знаходження вагонів на них, повинна вирішуватися комплексно, тобто за рахунок удосконалення технології роботи станції та її технічного оснащення.

В якості транспортного об'єкту дослідження для удосконалення технології обслуговування поїздів прийнято підсистему розформування сортувальної станції Б, в якій обслуговуються поїзда у розформування. Схема колійного розвитку підсистеми розформування наведена на рисунку 6.1.

Тривалими технологічними операціями, які виконуються з даними поїздами є технічний огляд, обробка документів і розформування. Але найбільш тривалою нетехнологічною операцією є очікування составом початку розформування, яка залежить від значної кількості факторів. Серед основних факторів можна виділити зайнятість колій сортувально-відправного парку «Б». Але на ці фактори неможливо прямо впливати.

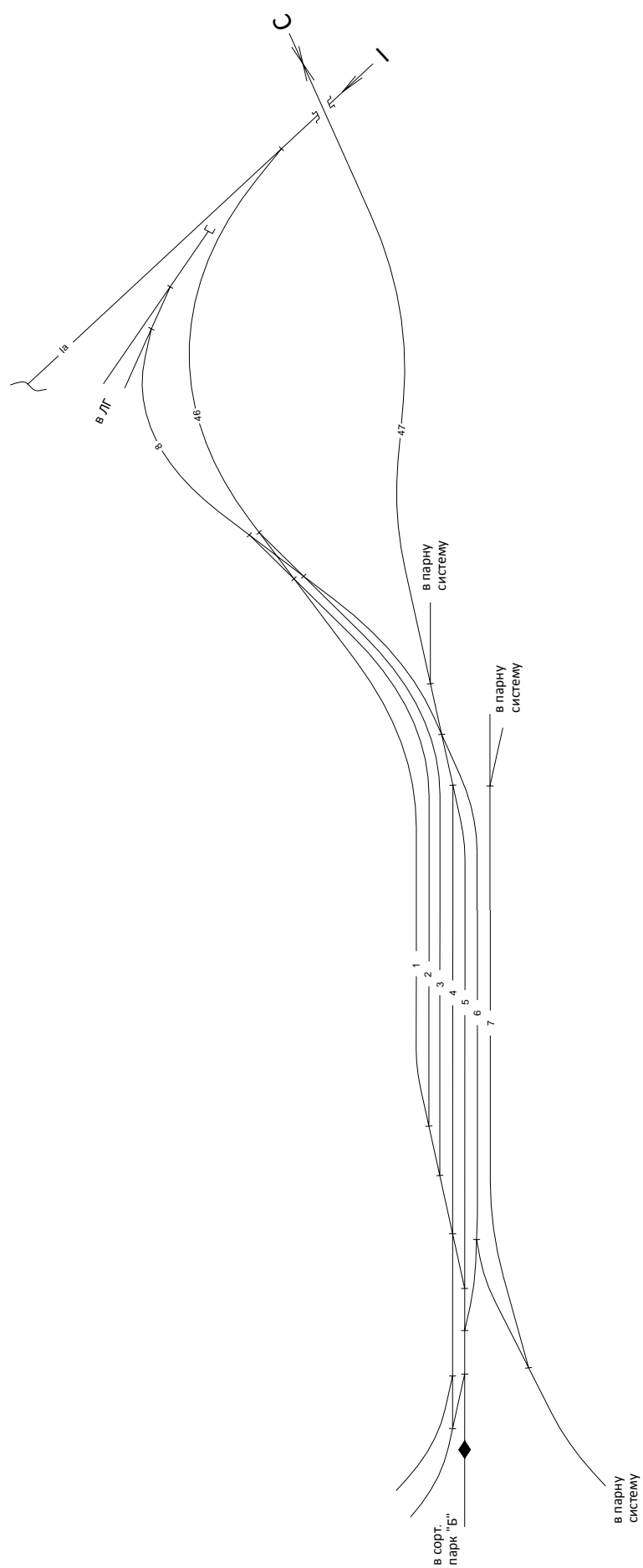


Рисунок. 6.1 – Схема колійного розвитку підсистеми розформування станції Б

Експлуатаційна надійність підсистеми розформування залежить оцінюється безвідмовним прибуттям поїздів у розформування з підходів С та І, а також можливістю приймати кутові передачі з парної системи станції Н. У свою чергу безвідмовне прибуття можливе за наявності достатньої кількості колій у парку прибуття «Г». При встановленій кількості колій прибуття у парку, підвищити експлуатаційну надійність підсистеми розформування можливо за рахунок скорочення часу знаходження вагонів в ній, а це потребує використання новітніх технологій та додаткових виконавців технологічних операцій.

Основним недоліком існуючого колійного розвитку парку прибуття «Г» підсистеми розформування є неможливість приймання поїздів з напрямку С на усі колії парку, а лише на колії №4-6. При значній тривалості зайняття колій та інтенсивному прибутті поїздів з напрямку С можливе зниження експлуатаційної надійності підсистеми розформування в результаті відмови у прийомі поїзда у парк. Разом з тим, прийом кутових передач можливий лише на колії №6 і №7, що також не є раціональним.

Таким чином, у роботі поставлена задача пошуку ефективної технології обслуговування поїздів у розформування та раціональної конструкції колійного розвитку парку прибуття. Зменшення тривалості виконання технологічних операцій та мінімізація часу очікування їх виконання дозволить скоротити власні витрати сортувальної станції та підвищити ефективність її функціонування і експлуатаційну надійність.

Для вирішення поставленої задачі використовується метод імітаційного моделювання, який дає найбільш точні результати функціонування системи. Для побудови імітаційної моделі підсистеми розформування сортувальної станції Б попередньо визначені параметри вхідного потоку поїздів, а також системи їх обслуговування на станції (див. розділ 3).

## **6.2 Вихідні дані та умови дослідження**

Вихідними даними для дослідження впливу технології обслуговування вантажних поїздів і технічного оснащення станції на показники її функціонування є



інтервал прибуття поїздів  $M[I]$  та ймовірність появи  $i$ -ої категорії поїзда  $p_i$ , які визначені у розділі 3.

Для отримання адекватних результатів необхідно виконати імітаційне моделювання роботи станції за достатньо великий період часу. При цьому добова кількість поїздів, що обслуговується на станції  $N_{\text{доб}}$  визначається за формулою

$$N_{\text{доб}} = \frac{N_{\text{обр}} \cdot 1440}{T_{\text{мод}}}, \quad (6.1)$$

де  $N_{\text{обр}}$  – загальна кількість оброблених поїздів;

$T_{\text{мод}}$  – період моделювання, хв.

Для дослідження впливу техніко-технологічних параметрів станції на її експлуатаційну надійність пропонується розглянути варіанти організаційно-технічних заходів, які наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Варіанти організаційно-технічних заходів

Показник	Значення показників по варіантам							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Кількість бригад ПТО	1	1	2	2	1	1	2	2
Можливість прибуття поїздів з підходу С на колії №1-3	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так
Можливість перестановки составів кутового потоку на колію №5	ні	ні	ні	ні	так	так	так	так

### 6.3 Результати моделювання роботи станції та їх аналіз

Для визначення впливу колійного розвитку станції і технології обслуговування поїздів за допомогою імітаційної моделі підсистеми сортувальної станції виконано серію експериментів. При цьому змінювалася кількість бригад ПТО  $S_{\text{бр}}$ , а також забезпечувався прийом поїздів з підходу С та кутових передач з парної системи на додаткові колії за рахунок удосконалення конструкції колійного розвитку парку прибуття «Г» (див. рисунок )

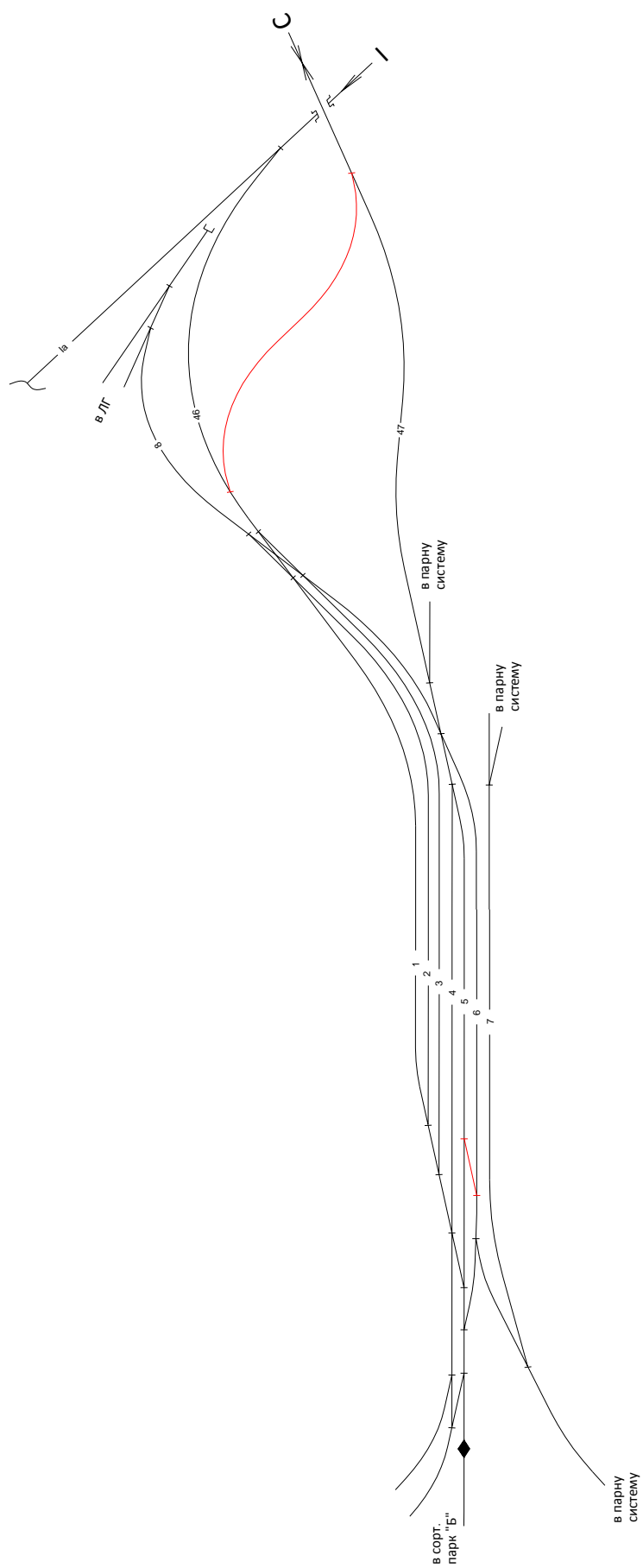


Рисунок. 6.2 – Варіанти удосконалення колійного розвитку парку прибуття станції К

При моделювання фіксувалися наступні параметри:

- добова переробна спроможність парку прибуття  $N_{\text{пер}}$  у вагонах;
- добова кількість поїздів  $N$ , що прибула у парк «Г»;
- середня тривалість знаходження вагонів у підсистемі розформування  $T_{\text{п}}$ ;
- середня тривалість затримки поїзда на сусідніх станціях або у парній системі  $T_3$  внаслідок відсутності в парку «Г» вільних колій для прийому;
- ймовірність відмови у прийомі поїздів  $p_3$ .

Результати моделювання наведені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати моделювання роботи парку

Показник	Значення показників по варіантам							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$S_{\text{бр}}$	1	1	2	2	1	1	2	2
Можливість прибуття поїздів з підходу С на колії №1-3	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так
Можливість перестановки составів кутового потоку на колію №5	ні	ні	ні	ні	так	так	так	так
$N_{\text{пер}}$ , вагонів на добу	1375	1770	1440	1890	1425	2150	1500	2330
$N$ , поїздів на добу	25	32	27	34	26	39	29	42
$T_{\text{п}}$ , год.	3,1	2,9	2,7	2,3	2,8	2,6	2,5	2,1
$T_3$ , хв.	32,4	13,1	13,7	5,7	12,2	8,6	10,4	–
$p_3$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Значення переробної спроможності станції  $N_{\text{пер}}$  при моделюванні її роботи фіксується у тих випадках, коли відказ у прийомі заявок вхідного потоку складає 5%, тобто надійність системи (підсистеми розформування сортувальної станції Б) відповідає 95%. Для досягнення таких результатів при моделюванні потрібно збільшувати інтенсивність вхідного потоку, що відповідає поступовому зменшенню інтервалів прибуття заявок у систему.

Як видно з результатів моделювання, при покращенні конструкції колійного розвитку парку прибуття «Г» та збільшення виконавців найбільш тривалих технологічних операцій добова переробна спроможність сортувальної станції збільшується, але при цьому збільшуються витрати на утримання вказаних виконавців та заходів щодо реконструкції станції. У цьому зв'язку, найбільш ефективним буде той варіант, при якому модифіковані приведені витрати будуть мінімальними.

#### **6.4 Економічне обґрунтування раціональних техніко-технологічних параметрів станції**

В якості узагальненого критерію для оцінки розглянутих варіантів удосконалення технічного оснащення та технології роботи станції використовуються модифіковані приведені витрати [78]

$$\text{МПВ} = K + (E \cdot (1 - H_{\text{пп}}) - A \cdot H_{\text{пп}}) \cdot \frac{1 - (1 + D)^{-T}}{D}, \quad (6.2)$$

де  $K$  – капітальні вкладення, грн.;

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

$A$  – амортизаційні відрахування, грн.;

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

$D$  – 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:

$$K_i = L_k \cdot C_{\text{км}} + n_{\text{сп}} \cdot C_{\text{сп}}, \quad (6.3)$$

де  $L_k$  – загальна довжина колій, які потрібно укласти додатково, км;

$n_{\text{сп}}$  – кількість комплектів стрілочних переводів, які потрібно укласти додатково;

$C_{\text{км}}$  – вартість укладання 1 км залізничної колії,  $C_{\text{км}} = 2000$  тис. грн.;

$C_{\text{сп}}$  – вартість укладання комплекту стрілочного переводу,  $C_{\text{сп}} = 250$  тис. грн.;

Експлуатаційні витрати за варіантом визначаються за формулою:

$$E = E_{\text{кр}} + E_{\text{пто}} + E_{\text{р}}, \quad (6.4)$$

де  $E_{\text{к}}$  – витрати на утримання додаткового колійного розвитку, грн.;

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

$E_{\text{р}}$  – витрати, пропорційні розмірам руху.

Витрати, пов'язані з утриманням додаткового колійного розвитку парку, визначаються за формулами:

$$E_{\text{кр}} = L_{\text{к}} \cdot e_{\text{к}} + n_{\text{сп}} \cdot e_{\text{сп}}, \quad (6.5)$$

де  $e_{\text{к}}$  – вартість утримання 1 км залізничних колій,  $e_{\text{к}} = 200$  тис. грн. / км;

$e_{\text{сп}}$  – вартість утримання одного комплекту стрілочного переводу,  $e_{\text{сп}} = 50$  тис. грн. / рік.

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

$$E_{\text{пто}} = 4,3 S_{\text{бр}} e_{\text{пто}}, \quad (6.6)$$

де  $S_{\text{бр}}$  – кількість бригад ПТО;

$e_{\text{пто}}$  – вартість утримання однієї бригади ПТО ( $e_{\text{пто}} = 120$  тис. грн./рік).

Для розрахунку статей експлуатаційних витрат, пропорційних розмірам руху, використовуються результати, отримані при моделюванні. Для розрахунків використовується методика групових норм [78].

Експлуатаційні витрати, пропорційні розмірам руху визначаються за формулою

$$E_p = 365 \left( t_{\Pi} e_{\text{в-г}} \cdot N \cdot m + N \cdot p_3 \frac{t_3}{60} e_{\text{п-г}} \right), \quad (6.7)$$

де  $t_{\Pi}$  – середній простій рухомого складу в парку прибуття, год;

$N$  – добова кількість вантажних поїздів;

$m$  – середня кількість вагонів у складі поїзда,  $m = 54,61$  вагона (див. розділ 3);

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

$t_3$  – 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

$$A = \frac{K}{T}. \quad (6.8)$$

При визначенні доцільного варіанта технічного оснащення і технології роботи станції вважається, що варіант з найменшим значенням показника МПВ (5.2) є найбільш ефективним.

Результати розрахунку модифікованих приведених витрат по варіантам організаційно-технічних заходів наведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунки модифікованих приведених витрат

Показник	Значення показників по варіантам							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$S_{бр}$	1	1	2	2	1	1	2	2
Можливість прибуття поїздів з підходу С на колії №1-3	ні	так	ні	так	ні	так	ні	так
Можливість перестановки составів кутового потоку на колію №5	ні	ні	ні	ні	так	так	так	так
$N_{пер}$ , вагонів на добу	1375	1770	1440	1890	1425	2150	1500	2330
$N$ , поїздів на добу	25	32	27	34	26	39	29	42
$T_{п}$ , год.	3,1	2,9	2,7	2,3	2,8	2,6	2,5	2,1
$T_3$ , хв.	32,4	13,1	13,7	5,7	12,2	8,6	10,4	–
$p_3$	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$L_k$ , км	0	0,26	0	0,26	0,05	0,31	0,05	0,31
$n_{сп}$ , комплект	0	2	0	2	2	4	2	4
$K$ , млн. грн.	0	1,02	0,00	1,02	0,60	1,62	0,60	1,62
$E_{кр}$ , млн. грн.	0	0,15	0,00	0,15	0,11	0,26	0,11	0,26
$E_{пто}$ , млн. грн.	0,52	0,52	1,03	1,03	0,52	0,52	1,03	1,03
$E_p$ , млн. грн.	4,78	5,64	4,43	4,72	4,42	6,14	4,40	5,29
$A$ , млн. грн.	0	0,10	0	0,10	0,06	0,16	0,06	0,16
МПВ, млн. грн.	19,95	24,62	20,58	23,13	19,52	27,45	21,38	26,21

Для наочності, дані табл. 6.3 представлено у вигляді діаграми на рисунку 6.3.

МПВ, млн. грн.

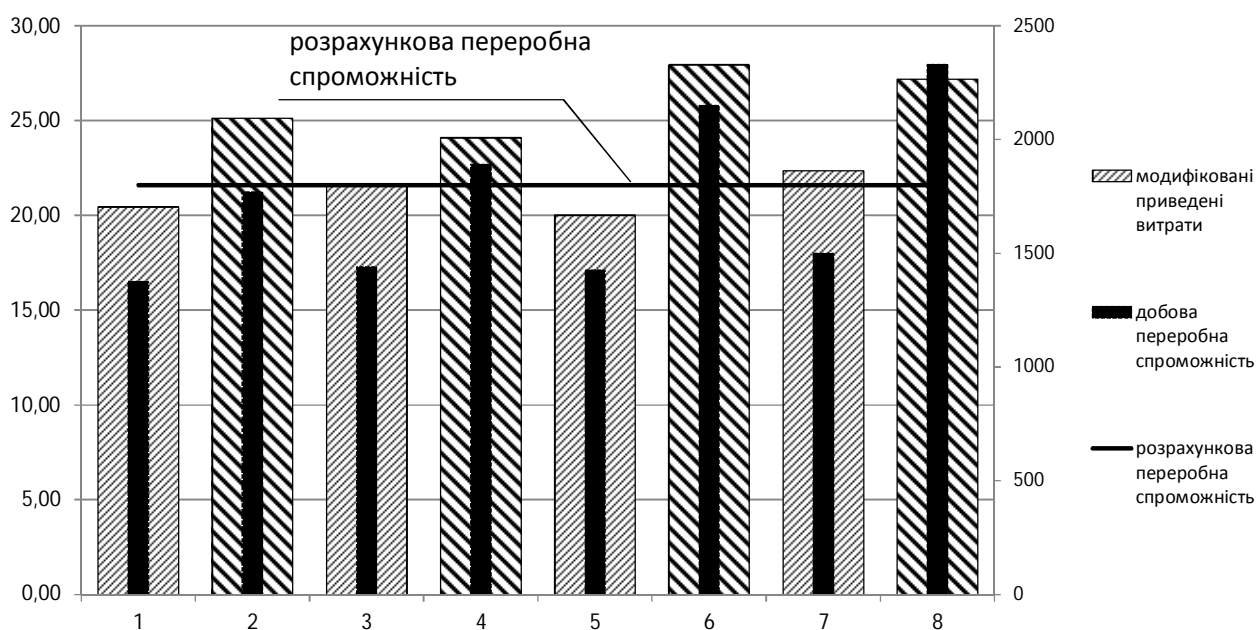
 $N_{\text{пер}}$ , ваг. / добу

Рисунок 6.3 – Модифіковані приведені витрати по варіантам

З графіка на рис. 6.3 видно, найбільш економним є варіант 5 з модифікованими приведеними витратами 19,52 млн. грн. Але вказаний варіант не забезпечує розрахункову переробну спроможність сортувальної станції Б у розмірі 1800 вагонів на добу. Серед варіантів, які дозволяють освоїти вказаний обсяг роботи, слід виділити варіанти 4, 6 та 8. З обраних варіантів ефективним, з точки зору мінімальних витрат, є варіант 4, при якому необхідно забезпечити функціонування у парку прибуття «Г» двох бригад ПТО та можливість прийому поїздів у розформування з підходу С на всі колії парку за рахунок улаштування додаткового фрагменту колії у вхідній горловині. Обраний варіант потребує 23,13 млн. грн. модифікованих приведених витрат.



## **7 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА СТАНЦІЇ**

### **7.1 Загальні положення**

Робота з охорони праці на станції організовується відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» [79] та згідно з Системою управління охороною праці в Регіональній філії «Придніпровська залізниця» (СУОП).

Згідно з СУОП прийняття та реалізацію заходів, спрямованих на забезпечення безпечних та здорових умов праці, запобігання дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів, попередження виробничого травматизму та професійних захворювань здійснюють начальник станції, заступник начальника станції та інженер з охорони праці.

Основним видом контролю за охороною праці на станції є оперативний контроль. Завданням оперативного контролю є оцінка рівня дотримання технологічних процесів, відповідності обладнання, засобів захисту, робочих місць вимогам безпеки, своєчасне виявлення порушень і порушників правил та норм охорони праці, вживання до них впливових заходів. Оперативний контроль здійснюється керівництвом станції та інженером з охорони праці (ДСІОП) з урахуванням тематики цільових перевірок та за розробленим графіком. Результати цільової перевірки оформлюються в журналі перевірок.

Адміністративно-громадський контроль є спільною формою контролю адміністрації і трудового колективу на станції.

Перший ступінь контролю проводять кожну зміну чергові по станції (ДСП). Другий ступінь – проводить щодавно заступник начальника станції та представник профспілки. Третій ступінь контролю проводиться затвердженою комісією під головуванням начальника станції (ДС). Результати перевірок адміністративно-громадського контролю фіксуються в журналі ступеневого контролю, а по третьому ступеню контролю оформлюються акти.

Проведення попередніх (при прийомі на роботу) й періодичних (на протязі трудової діяльності) медичних оглядів працівників певних категорій станції про-

водиться згідно з чинними наказами і постановами Кабінету Міністрів України [80].

На станції з метою підвищення відповідальності персоналу за виконанням нормативних актів з охорони праці діє система талонів-попереджень для працівників, які зайняті на роботах з підвищеною небезпекою. До цих професій віднесені: ДСП, оператор при ДСП, оператор поста централізації (ОПЦ), сигналіст, складач поїздів, прийомоздавальник вантажу та багажу, станційний робітник, агент комерційний.

Талони одержує кожний працівник після первинної перевірки знань з питань охорони праці. Встановлюються два види талонів-попереджень:

№ 1 – із жовтою смугою по діагоналі;

№ 2 – із червоною смугою по діагоналі.

Талон може бути вилучений у працівників за порушення ними вимог діючих правил, інструкцій і інших нормативно-правових актів з охорони праці. Вилучений талон № 1 підлягає заміні талоном № 2.

Кожний працівник станції при виконанні своїх обов'язків зобов'язаний дотримуватися вимог нормативно-правових актів з охорони праці та правил Пожежної безпеки.

Кожний працівник станції в межах своїх службових обов'язків несе особисту відповідальність щодо виконання вимог нормативно-правових документів з охорони праці, в разі порушень цих вимог працівники станції несуть відповідальність згідно з чинним законодавством. Згідно з Кодексом Законів про працю України [81] на працівника можуть бути накладені такі стягнення:

– догана;

– звільнення.

Робота залізничників основних професій, безпосередньо пов'язаних з рухом поїздів, протікає в умовах з небезпечними та шкідливими факторами, якими можуть бути небезпека наїзду рухомого складу, небезпека травмування електричним струмом, недостатня освітленість робочої зони при виконанні маневрової роботи, при прийомі, відправленні і пропуску поїздів протягом будь-якого часу до-

би., низька або підвищена температура зовнішнього повітря, підвищена вологість повітря, незадовільні метеорологічні умови.

З метою контролю за станом освітленості і стійкої роботи паркового зв'язку та радіозв'язку на станції розробляються «Карта освітленості станції», «Карти зон чутності гучномовного зв'язку та стійкого радіозв'язку». Карта освітленості є немасштабним планом станції, на який нанесені зони освітленості території з вказівкою норм освітленості у вказаних районах станції, а також відображаються точки освітлення з вказівкою їх типів. Дані заносяться в таблицю, розміщену на Kartі. Заміри освітленості проводяться двічі на рік під час весняного та осіннього оглядів стану охорони праці, та в разі необхідності (зміни обладнання, зменшення лімітів витрат електроенергії та ін.)

Карта зон чутності гучномовного паркового зв'язку та стійкого радіозв'язку – документ, в якому на немасштабному плані станції нанесені основні пристрої паркового зв'язку (переговорні колонки, динаміки) та станційного радіозв'язку (радіостанцій, поїзного радіозв'язку) і відображені зони стійкої їх чутності, а також «мертві» зони в парках станції.

З метою попередження випадків виробничого та невиробничого травматизму на станції використовуються засоби двостороннього паркового гучномовного зв'язку, за допомогою якого ДСП завчасно сповіщають про виконання маневрової роботи та прибуття і відправлення поїздів, робітників, що працюють на коліях станції.

Працівники станції під час прийняття на роботу проходять вступний інструктаж, спеціальне навчання, перевірку знань з охорони праці відповідно до Положення про порядок навчання та перевірку знань з питань охорони праці в Регіональній філії «Придніпровська залізниця». До початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником проводиться первинний інструктаж. Повторний інструктаж проводиться на робочому місці на роботах з підвищеною небезпекою – 1 раз на 3 місяці, без підвищеної небезпеки – 1 раз на 6 місяців. Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також внесенні змін та доповнень до них;
- при зміні технологічного процесу;
- при вилученні талона-попередження згідно з Положенням про застосування талонів-попереджень на Придніпровській залізниці;
- при порушеннях працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці;
- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж 30 календарних днів – для робіт з підвищеною небезпекою та 60 днів для всіх останніх. Обсяг і зміст позапланового інструктажу визначаються в кожному окремому випадку залежно від причин і обставин, що спричинили потребу його проведення;

Цільовий інструктаж проводиться індивідуально з окремим працівником або з групою працівників, його обсяг і зміст визначається залежно від виду робіт, що виконуватимуться при виконанні робіт не передбачених трудовою угодою (при виконанні разових робіт чи завдань), при ліквідації аварії або стихійного лиха.

Для робітників кожної професії та по видам робіт розроблені Інструкції з охорони праці з урахуванням місцевих умов роботи, які видаються на кожне робоче місце. Розроблення, узгодження і затвердження вказаних інструкцій з охорони праці здійснюється згідно з Положенням про розробку інструкцій з охорони праці.

Якщо на працівників станції у порядку ущільнення робочого дня або суміщення професій покладається виконання додаткових обов'язків, пов'язаних з рухом поїздів і виконанням маневрової роботи – то до виконання таких обов'язків вони допускаються лише після навчання і перевірки знань відповідних правил, інструкцій щодо професії за сумісництвом, або додатковими обов'язками.

Згідно з діючими правилами внутрішнього трудового розпорядку на станції працівники зобов'язані:

- працювати чесно і сумлінно;

- дотримуватись трудової дисципліни (вчасно приходити на роботу, продуктивно використовувати весь робочий час, своєчасно і точно виконувати розпорядження керівництва);
- дотримуватись трудової технологічної дисципліни;
- утримувати у чистоті й порядку робоче місто;
- виконувати вимоги охорони праці, протипожежної безпеки, передбачені правилами і інструкціями;
- користуватись спецодягом, спецвзуттям, іншими засобами індивідуального захисту.

При знаходженні на залізничних коліях для виконання своїх обов'язків всі працівники станції повинні бути одягнуті в сигнальні жилети. Одяг працівників, пов'язаних з рухом поїздів, повинен бути щільно застебнутим, не утрудняти рухів, відповідати розміру, плащ або куртку необхідно підв'язати поясом. Взуття повинне бути закритим, на широкому та низькому каблучі з твердою підошвою. Головний убір не повинен погіршувати чутність.

Забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям, іншими засобами проводиться в відповідності до Порядку забезпечення працівників залізничного транспорту спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та спецодягом виконується на підставі річної заявки, складеною станцією та наданої в технічний відділ Криворізької дирекції залізничних перевезень.

З метою безпечного виконання своїх обов'язків, безпечного слідування до робочих місць та назад, пересування по території та коліях станції в період чергування для усіх працівників станції розроблені та затверджені схеми службових та технологічних проходів. Витяги з цієї схеми розміщені на усіх робочих місцях в кутках з охорони праці. Технологічними проходами для працівників станції вважаються проходи для виконання посадових обов'язків, такими проходами встановлені міжколійї. Працівники станції в межах своїх обов'язків та при виконанні робіт, до яких вони можуть бути притягнені, можуть використовувати службові та

технологічні проходи при безумовному виконанні вимог безпеки при знаходженні на залізничних коліях, які встановлені основними нормативними документами з питань охорони праці

На станції відповідно до Порядку проведення атестації робочих місць за умовами праці один раз на 5 років проводиться атестація робочих місць працівників, зайнятих на роботах з важкими та шкідливими умовами праці. На станції згідно з результатами проведеної атестації складачам поїздів встановлено доплату у розмірі 12% від годинної тарифної ставки.

На робочих місцях розміщені кутки охорони праці, які містять в собі інформацію з питань охорони праці – довідкову, нормативно-правову, а також Інструкції з охорони праці відповідних професій.

Фінансові питання з охорони праці вирішує Криворізька дирекція залізничних перевезень (ДН-2). Комплексні заходи з досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці і виробничого середовища, попередження випадків виробничого травматизму, професійних захворювань та аварій розробляється в дирекції на кожний рік на підставі пропозицій, що надходять зі станції.

## **7.2 Вимоги безпеки при знаходженні на залізничних коліях станції**

При знаходженні на станційних коліях працівники зобов'язані дотримуватися наступних заходів безпеки:

- проходити уздовж колій тільки по узбіччю колії або посередині міжколій, при цьому стежити: за поїздами, маневровими складами і локомотивами, що рухаються, відчепами вагонів; чи немає предметів, виступаючих за межі контуру габаритів навантаження і рухомого складу, на відкриті борти вагонів, одночасно звертаючи увагу на граничні стовпчики, жолоби гнучких тяг, водовідвідні лотки та колодязі, електроприводи стрілочних переводів та ін.;

- при виході на колію з боку рухомого складу, з будівель потрібно заздалегідь переконатися у відсутності рухомого складу, що може рухатися по цій колії на небезпечній відстані;

- переходити колії під прямим кутом, заздалегідь переконавшись, що в цьому місці немає рухомого складу, локомотива, що рухається на небезпечній відстані;

- під час переходу через колію, зайняту рухомим складом, що стоїть, на іншу сторону користуватися тільки справними перехідними площадками та сходами на вагонах або обходити состав (групу вагонів);

- перш ніж зійти з перехідної площадки вагону на міжколійю, необхідно переконатися в справності підніжок, поручнів, а також у відсутності руху по суміжній колії на небезпечній відстані локомотивів, вагонів, поїздів і чи немає сторонніх предметів на міжколійї, об які можна спіткнутися. При сході з перехідної площадки вагону або площадки локомотива потрібно триматися за поручні і знаходитися обличчям до вагону або локомотива.

- сідати на перехідну площадку вагону або локомотива, і сходити з них дозволяється тільки при повній зупинці рухомого складу;

- при обході групи вагонів, составу або локомотивів, що стоять на коліях, працівникам під час роботи дозволяється переходити колію на відстані від них не менше ніж 5 м, а проходити в простір між розчепленими та закріпленими вагонами, між локомотивом і вагонами при відстані між ними не менше 10 м, а ДСП, ОПЦ, сигналісту, складацьким бригадам відповідно 3 м і 5 м;

- по території станції до місця роботи і з роботи проходити тільки по спеціально встановлених маршрутах службових і технологічних проходів і переходів, схеми яких вивішуються у кутках з охорони праці на робочих місцях;

- при русі поїздів, локомотивів з швидкістю до 120 км/год необхідно відійти на безпечне місце, на відстань не менше 2 м від головки крайньої рейки, стежачи при цьому, що по сусідній колії немає рухомих одиниць;

- при виконанні маневрової роботи, русі одиночних локомотивів або іншого рухомого складу в тому випадку, якщо працівник йде уздовж маршрутів їх пересування, він зобов'язаний завчасно відійти в безпечну зону (середину міжколійї, узбіччя колії) і стояти обличчям до вагонів (локомотивів, дрезин, колійних ма-

шин), які рухаються, доки вони не прослідкують або не зупиняться, і після цього продовжити прохід;

- проявляти особливу обережність і увагу в темний час доби, в місцях з низьким рівнем освітленості, а також при сильному тумані, зливах, снігопадах, завірюхах, які погіршують видимість рухомого складу, сигналів і пристроїв, а також чутність попереджувальних сигналів.

Під час переходу колії забороняється:

- ставати на рейки, а також переходити колію в районі стрілочних переводів;
- проходити в середині колії і по кінцях шпал;
- підлазити під вагонами і переходити по автозчепним пристроям;
- користуватися несправними перехідними площадками, підніжками, поручнями;
- підлазити під вагонами.

### **7.3 Вимоги безпеки при очищенні стрілочних переводів**

Роботи, пов'язані з утриманням централізованих і нецентралізованих стрілочних переводів в справному стані відноситься до робіт підвищеної небезпеки і включають такі роботи, як очищення від сміття, бруду, снігу, льоду і їх змащення. Для виконання вказаних робіт можуть притягуватися працівники станції, які пройшли навчання і перевірку знань встановленим порядком. Перед виконанням робіт відповідальний керівник станції проводить цільовий інструктаж причетним, а в журналі форми ДУ-46, оформляє відповідний запис. Працівники, що залучаються до очищення стрілочних переводів, зобов'язані бути одягнені в спецодяг, сигнальний жилет і при виконанні робіт по очищенню користуватися справним інструментом. Перед початком робіт місце виконання робіт огорожується сигналами зупинки. Під час виконання робіт обов'язкова присутність старшого групи, в обов'язки якого входить контроль по безпечному виконанню робіт і своєчасному виходу з небезпечної зони працівників при наближенні поїздів. Очищення стрілок виконується у вільний від поїздів період часу. Час початку виконання робіт узгоджується з ДСП або ОПЦ. Про всі маневрові і поїзні пересування ДСП або ОПЦ



зобов'язані оповіщати по парковому зв'язку, а також доводити до відома машиністів маневрових і поїзних локомотивів про знаходження працівників на коліях. При очищенні стрілочного перевodu виконавці зобов'язані зайняти робоче положення, при якому забезпечується видимість поїздів і маневрових складів і мінімальний захід всередину колії. По завершенню робіт по очищенню стрілки і виведення людей із зони роботи, старший групи повідомляє про це ДСП або ОПЦ встановленим порядком, на підставі чого відповідальним керівником станції оформляється запис про закінчення робіт в журналі форми ДУ-46.

#### **7.4 Вимоги електробезпеки**

На станційних електрифікованих коліях забороняється:

- наближатися до контактної мережі, що знаходиться під напругою, на відстань ближче 2 м;
- торкатися до електричного устаткування електрорухомого складу як безпосередньо, так і через будь-які предмети;
- підійматися на дахи вагонів і контейнерів;
- наближатися на відстань менше 10 м до обірваних дротів контактної мережі, а також до звисаючих з дротів контактної мережі сторонніх предметів.

У разі виявлення обриву дротів контактної мережі або лінії електропередач, які перетинають залізничні колії, а також звисання з дротів сторонніх предметів, працівник повинен про це негайно повідомити ДСП. До прибуття аварійної бригади контактної мережі небезпечне місце огорожується, і вживаються заходи, що виключають наближення людей на відстань ближче 10 м до місця обриву дроту.

Якщо обірваний дріт або інші елементи контактної мережі виходять за габарит наближення будови або рухомого складу, то це як місце перешкоди, огорожується сигналами зупинки відповідно до вимог Інструкції з сигналізації на залізницях України (ИСИ).

## **7.5 Вимоги безпеки під час роботи на ЕОМ**

Працівники станції при роботі на ЕОМ повинні:

- стежити за справністю і заземленням ЕОМ у відповідності до нормативних документів;
- бути уважним, дисциплінованим, обережним;
- перед виконанням роботи уважно вивчити хід її виконання;
- включення ЕОМ проводити послідовно;
- не торкатися до екрану дисплея, не чіпати дроту;
- під час роботи уникати різких рухів;
- по закінченню роботи послідовно відключити ЕОМ і вимкнути з електромережі;
- у разі виникнення аварійної ситуації негайно відключити ЕОМ від електромережі.

Середина екрану повинна знаходитися на рівні очей, перпендикулярно лінії погляду, на відстані 50-60 см від очей.

До роботи на ЕОМ допускаються особи, які не мають медичних протипоказань, для чого працівники проходять щорічний медичний огляд, згідно з наказом Міністерства охорони здоров'я.

Забороняється:

- експлуатація дротів з пошкодженою ізоляцією;
- використання саморобних подовжувачів;
- користуватися пошкодженими розетками, вимикачами і іншими електроприладами.

## **7.6 Порядок комерційного огляду вагонів**

Комерційний огляд составів здійснюється на приймально-відправних коліях станції по зовнішньому огляду при повній зупинці поїзду і його огороженні з обох боків сигналами зупинки.

Вагони, що вимагають комерційного огляду не тільки по зовнішньому огляду, а і з перевіркою верхніх завантажувальних люків, ЗПП (пломб), виставляються на не електрифіковані колії № 12, 13, 14, 15. Для перевірки внутрішнього

обладнання вагонів прийомоздавальники вантажу та багажу зобов'язані використовувати драбину, на яку нанесений інвентарний номер та дата наступного випробування.

Перед початком огляду прийомоздавальник вантажу та багажу повинен переконатися, що сходи та поручні справні, на них немає залишків вантажу, вони не замазучені. Починати огляд прийомоздавальник вантажу та багажу повинен тільки після повідомлення ДСП про повне припинення маневрової роботи з вагонами.

### **7.7 Порядок повідомлення про нещасний випадок**

Про кожен нещасний випадок працівник, який його виявив або сам потерпілий повинен негайно повідомити ДСП, а останній у свою чергу ставить до відома ДС або особу, яка його заміщує, і вживає заходів по наданню першої допомоги потерпілому від нещасного випадку.

Керівник зміни зобов'язаний:

- терміново організувати надання медичної допомоги потерпілому, у разі потреби доставити його в лікувально–профілактичний заклад;
- повідомити про те, що трапилося, керівництво станції;
- зберегти до прибуття комісії по розслідуванню нещасного випадку обстановку на робочому місці і устаткування в такому стані, в якому вони були на момент події (якщо це не загрожує життю і здоров'ю інших працівників і не приведе до важчих наслідків), а також вжити заходів по недопущенню подібних випадків.

Розслідування випадків виробничого травматизму проводиться на підставі Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві.

### **7.8 Заходи безпеки при роботі в зоні негабаритних місць**

Під час роботи в негабаритних місцях працівник зобов'язаний проявляти підвищену уважність і обережність. При отриманні інформації про приготування маршрутів приймання, відправлення та пропуску поїздів, маневрові пересування

завчасно відійти у безпечне місце. Забороняється знаходитися в негабаритних місцях під час руху рухомого складу.

Проїзд негабаритних місць складачам поїздів дозволяється тільки на перехідній площадці, при цьому не висовуючись за межі габариту рухомого складу, в кабіні локомотива або на спеціальній підніжці вагону з боку протилежному негабаритному місцю, а за відсутності перехідної площадки і можливості супроводжувати маневровий состав на спеціальній підніжці складач поїздів супроводжує маневровий состав попереду вагонів на безпечній відстані з протилежної сторони від негабаритного місця, по міжколійї.

На всіх негабаритних місцях встановлені попереджувальні знаки «Обережно! Негабаритне місце», нанесено попереджувальне забарвлення у вигляді жовтих і чорних смуг, які чергуються між собою та нанесені під кутом 45 градусів. Особливу обережність і пильність працівники станції мають проявляти в темний час доби, а також при сильному тумані, зливах, снігопаді, хуртовині, які погіршують видимість рухомого складу, сигналів і пристроїв та сприйняття попереджувальних сигналів.

Працівники станції, які беруть участь у приготуванні маршрутів приймання і відправлення поїздів та виконують маневрову роботу, повинні вчасно сповіщати всіх інших працівників станції, а також працівників інших служб, які виконують роботи на станційних коліях, про наступні пересування рухомого складу.

## 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 ідентифікації імітаційної моделі сортувальної станції виконані натурні статистичні дослідження параметрів потоку поїздів. 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.

4. 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.

5. Наведені методики та моделі використані для оцінки та порівняння варіантів конструкції та технології підсистеми сортувальної станції. Виконано дослідження впливу техніко-технологічних параметрів станції на її експлуатаційну надійність.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.12.2006 №651-р.
2. Меламедов, И. М. Физические основы надежности [Текст] / И. М. Меламедов – Л.: Энергия – 1970. – 150 с.
3. Гусев, В. П. Технология радиоаппаратостроения [Текст] / В. П. Гусев – М.: Высшая школа. – 1972. – 225 с.
4. Гнеденко, Б. В. Современная теория надежности: состояние, проблемы перспективы [Текст] / Б. В. Гнеденко, И. А. Ушаков // НиКК. – 1989. – № 1.
5. Медведь, М. В. О надежности технологических систем, технологической надежности и надежности технологических процессов [Текст] / М. В. Медведь // НиКК. – 1994. – №9.
6. Наумов, В. А. О физической сущности терминов и определений надежности и работоспособности [Текст] / В. А. Наумов // НиКК. – 1996. – № 3.
7. Аронов И. З. Еще раз о терминах в теории и практике надежности [Текст] / И. З. Аронов, В. Л. Шпер // НиКК. – 1997. – № 10.
8. Моисеев Ю. А. Технологическая надежность сложного изделия и ее отработка [Текст] / Ю. А. Моисеев, С. В. Чельшев. – М.: УРСС, 2003.
9. Грунтов, П. С. Расчет эксплуатационной надежности и путевого развития сортировочных станций [Текст] / П. С. Грунтов // Тр. БелИИЖТа, вып. 94. – Гомель, 1970. – 108 с.
10. Грунтов, П. С. Методика расчета надежности и оптимальной мощности парков и грузовых фронтов станций [Текст] / П. С. Грунтов, В. П. Ярошевич. – Гомель, 1971. – 38 с.
11. Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станции [Текст] / П. С. Грунтов. – М., 1986. – 248 с.
12. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. [Текст] / П.С. Грунтов и др. – М.: 1994. – 544 с.

13. Архангельский, Е. В. Железнодорожные станции (устройство и организация работы): Учеб. для техн. школ ж.-д. трансп. [Текст] / Е. В. Архангельский, Ю.Е. Лукьянов. – М.: 1996. – 352 с.

14. Образцов, В. Н. К вопросу о проектировании станций и их расчете [Текст] / В. Н. Образцов // Избранные труды. – М. Издательство академии наук СССР, 1955. – Т. 1. – С. 77-121.

15. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. (Исследование операций на станциях) [Текст] / И. Б. Сотников – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.

16. Основы эксплуатационной работы железных дорог: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования [Текст] / 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.

17. Рекомендований технологічний процес роботи вантажної станції: Затв. наказом Укрзалізниці від 17.12.2004 р. № 249-Ц. – К.: НВП Поліграф сервіс, 2005. – 224 с.

18. Типовий технологічний процес роботи сортувальної станції. ЦД-0017: Затв. наказом Укрзалізниці 23.12.98 р. № 324-Ц. – К.: 1998. – 243 с.

19. Типовий технологічний процес роботи дільничної станції. ЦД-0018: Затв. наказом Укрзалізниці 23.12.98 р. № 324-Ц. – К.: 1998. – 243 с.

20. Бобровский, В. И. Техничко-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Информационно–управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – №6. – С. 30-42.

21. Бобровский, В. И. Эргатические модели сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2001. – №5. – С. 7-11.

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

23. Бобровский, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций: Монография [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 156с.

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

25. Жук, Е. Имитационное моделирование работы сортировочной станции при составлении графика движения поездов [Текст] / Е. Жук // Вестник ВНИИЖТа. – 1995. - №3. – С.45-46.

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

27. Нагорный, Е. В. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция – прилегающие участки» с помощью сетей Петри [Текст] / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – С. 98-103.

28. 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.

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

30. Шабалин, Н. Н. Моделирование процессов массового обслуживания на станциях [Текст] / Н. Н. Шабалин // Железнодорожный транспорт. – 1971. – №5. – С. 64-65.



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

32. Таль, К. К. Основные вопросы применения методов моделирования при проектировании станции и узлов [Текст] / К. К. Таль // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 47. – М.: ЦНИИС – 1971. – С. 56-96.

33. Таль, К. К. О классификации методов моделирования, используемых для расчета станций и узлов [Текст] / К. К. Таль // Вопросы проектирования и расчета железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 90. – М.: ЦНИИС, 1976. – С. 74-90.

34. Руководство по расчету станций методом моделирования на ЕС ЭВМ [Текст] / М.: ЦНИИС, 1984. – 110 с.

35. Федотова, Т. Н. Статистическое моделирование работы сортировочных станций на ЭВМ [Текст] / Т. Н. Федотова // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1978. – С. 60-67.

36. Федотова, Т. Н. Имитация работы парков сортировочной станции на ЭВМ [Текст] / Т. Н. Федотова // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. – Гомель: БелИИЖТ, 1978. – С. 68–72.

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

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

39. Мацкель, С. С. Статистическое моделирование транспортных процессов в узлах [Текст] / С. С. Мацкель // Вопросы разработки систем автоматизиро-

ванного проектирования железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 203/47. – Ташкент: ТашИИТ, 1987. – С. 59-69.

40. Пилипченко, П. А. Структурное моделирование работы сортировочной станции [Текст] / П. А. Пилипченко // Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог: Сб. научн. тр. – Вып. 497. – М.: МИИТ. – 1975. – С. 60-61.

41. Быкадоров, А. В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания [Текст] / А. В. Быкадоров // Сб. трудов НИИЖТа. – 1973. – №146. – С. 63-80.

42. Падня, В. А. Применение теории массового обслуживания на транспорте [Текст] / В. А. Падня – М.: Транспорт, 1968. – 208 с.

43. Покавкин, В. А. Нормирование показателей работы и загрузки устройств сортировочных станций [Текст] / В. А. Покавкин // Железнодорожный транспорт. – 1972. – №11. – С. 14-17.

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

45. Муха, Ю. А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, С. А. Попов // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 181/10. – Днепропетровск. – 1976. – С. 23-40.

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

47. Шафит, Е. М. Моделирование функционирования системы автоматического управления сортировочным процессом с управляющей ЦВМ [Текст] / Е. М. Шафит, А. Н. Самков // Вопросы автоматического управления и применения

средств вычислительной техники на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа - Вып. 149/5. – Днепро-петровск. – 1973. – С. 3-7.

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

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

50. Лещинский, Е. И. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте [Текст] / Е. И. Лещинский – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.

51. Сотников, Е. А. Интенсификация работы сортировочных станций [Текст] / Е. А. Сотников – М.: Транспорт, 1979. – 239 с.

52. Грунтов, П. С. Решение практических задач с помощью моделирования работы станций [Текст] / П. С. Грунтов, В. А. Захаров //Железнодорожный транспорт. – 1979. – №1.– С. 22-25.

53. Грунтов, П. С. Прогнозирование работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ [Текст] / П. С. Грунтов, В. А. Захаров – Гомель. 1981. – 152 с.

54. Ивницкий, В.А. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования [Текст] / В. А. Ивницкий, А. Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. - №7. – С. 7-10.

55. Миркин, А. Г. Расчет прогнозных показателей работы сортировочной станции в изменяющихся условиях эксплуатации с использованием имитационного моделирования [Текст] / А. Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – №3. – С. 7-10.

56. Ульяненкова Н. В. Современные тенденции рационального использования технического оснащения грузовой станции [Текст] / Н. В. Ульяненкова, В. В. Храбров // Транспорт: Наука, техника, управление. – ВИНТИ. – 1999. – № 5. – С. 65-66.

57. Тютюнов, Ю. П. Исследование технологии работы железнодорожных узлов методом имитационного моделирования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.08 [Текст] / БелГУТ. – Гомель, 1995. – 16 с.

58. Загарий, Г. И. Моделирование процесса перевозок на железных дорогах Украины с помощью расширенных сетей Петри [Текст] / Г. И. Загарий, Ю. М. Федюшин // Информационно-управляющие системы на жел.-дор. транспорте. – 1997. – № 4. – С. 52-56.

59. Федюшин, Ю. М. Применение сетей Петри для моделирования процессов управления на железнодорожном транспорте [Текст] / Ю. М. Федюшин // Информационно-управляющие системы на жел.-дор. транспорте. – 1996. – № 3, 4. – С. 7-12.

60. Нагорный Е. В. Моделирование технологического процесса обработки вагонов, информации и перевозочных документов экспортно-импортного вагонопотока по прибытию на передаточных пограничных станциях [Текст] / Е. В. Нагорный, Т. В. Бутько, Н. Ф. Титов // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ, 1998. – Вип. 33. – С. 125-129.

61. Имитационные модели в условиях новой информационной технологии управления производственно-транспортными комплексами [Текст] / В. И. Гриценко, А. А. Панченко, Н. А. Назаренко – Киев. – 1986. – 58 с.

62. Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем [Текст] / И. Т. Козлов – М.: Транспорт, 1985. – 214 с.

63. Шавзис, С. С. Планирование поездообразования: новые подходы и решения [Текст] / С. С. Шавзис // Железнодорожный транспорт. – 2003. – №8. – С. 43-47.

64. Учебное пособие по железнодорожной библиотеке: официальный веб-сайт компании AnyLogic [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/anylogic/help/index.jsp> – Перевірено : 05.10.2018.

65. Огляд програмного забезпечення [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://www.automod.se/eng/home.html> – Перевірено: 05.10.2018.

66. Огляд програмного забезпечення [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://www.aimsun.com/> – Перевірено : 05.10.2018.

67. Огляд програмного забезпечення [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://www.mvstudium.com/> – Перевірено : 05.10.2018.

68. Березовий, М.І. Аналіз технічного забезпечення сортувальних станцій України [Текст] / М. І. Березовий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вип. 6/3 (42). – С. 60-66.

69. Яновський, П. О. Результати аналізу існуючого стану та пропозиції з перспективи розвитку і розміщення на мережі залізниць сортувальних станцій для забезпечення прогнозних обсягів перевезень до 2020 року [Текст] / П. О. Яновський, А. А. Акуленко // Залізничний транспорт України. – 2010. – №1. – С. 28-31.

70. Ломотько, Д. В. Дослідження зміни часу знаходження місцевих вагонів у харківському вузлі [Текст] / Д. В. Ломотько, Я. В. Запара // Зб. наук. праць. – 2009. – №17. – С. 9-16.

71. ДБН В.2.3-19-2008 Споруди транспорту залізниці колії 1520 мм. Норми проектування.

72. Проектирование железнодорожных станций и узлов: Справочное и методическое руководство [Текст] / под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.

73. Пособие по проектированию промышленных железнодорожных станций (к СНиП 2.05.07-85) [Текст] – М.: СТРОЙИЗДАТ. – 1990.

74. Шторм, Р. Теория вероятностей, Математическая статистика, Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм – Из-во «Мир» – 1970 г.

75. Зуховицкий, С. И. Математические методы сетевого планирования [Текст] / С. И. Зуховицкий, И. А. Радчик – М.: 1965

76. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций [Текст] / 7-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.

77. Ветухов, Е. А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов [Текст] / Е. А. Ветухов, М. А. Авекян – М.: Транспорт – 1986 – 206.

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

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

80. 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.

81. Кодекс законів про працю України [Текст] – Закон України № 9-рп/2013 від 15.10.2013.