

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

На правах рукопису

ЄЛЬНІКОВА ЛІДІЯ ОЛЕГІВНА

УДК 656.212.5(23.01)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ НА
ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ
ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ЛОКОМОТИВНОГО
ПАРКУ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Вернигора Роман Віталійович
канд. техн. наук, доцент

Дніпропетровськ – 2016

ЗМІСТ

<u>ВСТУП.....</u>	5
<u>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ</u> <u>ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ.....</u>	11
<u>1.1 Дослідження методів планування роботи локомотивного парку.....</u>	11
1.1.1 Проблеми ефективного використання рухомого складу.....	11
1.1.2 Аналіз методів планування роботи локомотивів.....	13
1.1.3 Проблеми удосконалення системи організації праці локомотивних бригад.....	16
1.1.4 Аналіз впливу системи організації пропуску поїздів на роботу локомотивного парку.....	24
1.2 Аналіз моделей функціонування технічних станцій.....	28
1.3 Аналіз методів прогнозування тривалості руху поїздів.....	31
1.4 Проблеми та перспективи створення автоматизованих систем керування роботою локомотивним парком.....	33
1.5 Аналіз сучасного стану локомотивного господарства України.....	38
1.6 Постановка задачі дослідження. Структура, послідовність та методи їх розв'язання.....	40
1.7 Висновки по розділу 1.....	44
<u>РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УМОВ РОБОТИ</u> <u>ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ.....</u>	46
<u>2.1 Аналіз існуючої системи організації роботи локомотивів та локомотивних бригад.....</u>	46
2.1.1 Нормативне забезпечення планування роботи локомотивного парку.....	46
2.1.2 Планування необхідної кількості локомотивів при оперативному плануванні поїзної та вантажної роботи.....	47
2.1.3 Організація роботи та облік робочого часу локомотивних бригад.....	49
2.1.4 Складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад.....	51
2.2 Проблеми оперативного планування роботи локомотивного парку.....	56
2.3 Аналіз нерівномірності в роботі технічних станцій України.....	62
2.4 Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку.....	67
2.5 Висновки по розділу.....	75
<u>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО</u> <u>КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ НА</u> <u>ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ.....</u>	76
<u>3.1 Структура та задачі адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку.....</u>	76
3.2 Модуль прогнозу прибуття поїздів на технічну станцію.....	79
3.2.1 Структура та принципи побудови модуля прогнозу прибуття поїздів.....	80

3.2.2	<u>Структура та методика побудови нейронної мережі для прогнозу прибуття поїздів</u>	82
3.2.3	<u>Нормалізація даних для вхідного вектора нейромережі</u>	84
3.2.4	<u>Вибір архітектури нейронної мережі для прогнозування моментів прибуття поїздів</u>	85
3.2.5	<u>Дослідження впливу параметрів вхідного вектору на точність прогнозу тривалості руху вантажних поїздів</u>	88
3.2.6	<u>Перевірка адекватності нейромережі</u>	91
3.3	<u>Удосконалення імітаційної моделі роботи технічної станції</u>	94
3.4	<u>Математична модель роботи локомотивного депо</u>	98
3.4.1	<u>Модуль прогнозування роботи локомотивів</u>	99
3.4.2	<u>Модуль прогнозування роботи локомотивних бригад</u>	102
3.5	<u>Висновки по розділу 3</u>	105
	РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУ РОБОТИ ЛОКОМОТИВІВ ТА ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД	107
4.1	<u>Постановка задачі розроблення плану роботи локомотивного парку</u>	107
4.2	<u>Розв'язок задачі оптимального призначення бригад на локомотиви</u>	110
4.3	<u>Розв'язок задачі оптимального призначення локомотивів з бригадами на состави</u>	113
4.4	<u>Методика коригування плану роботи локомотивних бригад</u>	121
4.5	<u>Висновки по розділу 4</u>	123
	ВИСНОВКИ	124
	ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	126
	ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	144
	ДОДАТОК Б Техніко-експлуатаційна характеристика ділянки П'ятихатки - Нижньодніпровськ-Вузол- Синельникове 1	147
	ДОДАТОК В Приклад розрахунку парку локомотивів та штату локомотивних бригад та часу їх готовності до відправлення	149
	ДОДАТОК Г Аналіз роботи технічних станцій України та нерівномірності руху вантажних поїздів	151
	ДОДАТОК Д Графік роботи станції	171
	ДОДАТОК Е Періодичність та тривалість планових ремонтів та технічного обслуговування вантажних електровозів	172
	ДОДАТОК Ж Норми знаходження локомотивів на станційних коліях в залежності від необхідності заходу в локомотивне депо станції Нижньодніпровськ-Вузол	175
	ДОДАТОК З Норми витрат робочого часу локомотивних бригад в основному та оборотних депо	176

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах демонополізації ринку вантажних перевезень висувуються нові, більш жорсткі умови щодо ефективності використання рухомого складу та раціональної організації перевізного процесу на залізничному транспорті. Одним з основних показників ефективності експлуатації рухомого складу є обіг вантажного вагона, величина якого протягом останніх років збільшилась у 1,5 рази. Як показують дослідження, від 35% до 45% загальної величини обігу вагона складають простої на технічних, насамперед, сортувальних станціях.

Тривалість знаходження вагонів на технічних станціях включає час на виконання власне технологічних операцій і час очікування виконання цих операцій. Для скорочення тривалості перебування вагонів на технічних станціях, насамперед, необхідно зменшити непродуктивні простої в очікуванні операцій за рахунок удосконалення технології роботи станцій і дільниць. Одним з таких непродуктивних елементів простою, який має істотний вплив на загальний час знаходження вагонів на технічних станціях, є очікування готовими до відправлення складами вантажних поїздів подачі поїздних локомотивів у приймально-відправних парках. Основними причинами виникнення таких простоїв є нестача справних локомотивів та неефективне використання наявних тягових ресурсів.

В умовах значного рівня зношеності та низьких темпів оновлення локомотивного парку особливо гостро постають питання підвищення ефективності використання наявного парку локомотивів. У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи, яка спрямована на зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних з простоєм локомотивів, локомотивних бригад, а також складів вантажних поїздів на технічних станціях України, є актуальною.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010), Стратегії розвитку залізничного транспорту до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р.), Державній цільовій програмі реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Розробка вимог до інфраструктури залізничного транспорту та удосконалення методів її експлуатації в умовах розділення парку вантажних вагонів» (№ державної реєстрації 0114U002544), «Формування підходів щодо покращення використання вантажних вагонів та оперативного управління просуванням вагонопотоків в міжнародних перевезеннях» (№ державної реєстрації 0115U002423), «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ державної реєстрації 0109U000480).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є зменшення витрат, пов'язаних з непродуктивним простоем вантажних локомотивів, локомотивних бригад, составів поїздів на технічних станціях за рахунок удосконалення системи планування роботи локомотивного парку на залізничних напрямках. Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних завдань:

- аналіз проблеми удосконалення системи експлуатації локомотивного парку;
- аналіз сучасних умов експлуатації парку вантажних локомотивів;
- дослідження процесу руху вантажних поїздів між технічними станціями;
- розроблення адаптивної математичної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку;
- розроблення методики прогнозування прибуття вантажних поїздів на технічні станції та оцінка її адекватності;
- удосконалення імітаційної моделі технічної станції для прогнозування моментів готовності локомотивів та локомотивних бригад до відправлення;
- розроблення процедури оперативного планування роботи вантажного локомотивного парку на залізничному напрямку;
- оцінка ефективності розробленої процедури оперативного планування роботи локомотивного парку.

Об'єктом досліджень є процес експлуатації парку вантажних локомотивів на залізничних напрямках.

Предметом досліджень є взаємозв'язки між системою організації експлуатації локомотивного парку та показниками ефективності вантажних перевезень на залізничних напрямках.

Методи дослідження. Постановка завдань дослідження, вибір методів їх розв'язання та аналіз результатів здійснені з використанням методів системного аналізу. Математична статистика та кореляційний аналіз використані для дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями та визначення факторів, що впливають на дану величину. Методи імітаційного моделювання, а також методи теорії організації експлуатаційної роботи залізниць використані для моделювання роботи сортувальної станції та локомотивного депо. Апарат штучних нейронних мереж використано для прогнозування моментів прибуття вантажних поїздів на технічні станції. Багатокритеріальне лінійне програмування та економіко-математичне моделювання використані для розроблення оперативних планів роботи парку вантажних локомотивів на залізничних напрямках.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні актуального наукового завдання підвищення ефективності експлуатаційної роботи залізничних напрямків за рахунок удосконалення оперативного керування парком вантажних локомотивів. Зокрема у дисертації отримано наступні наукові результати:

- вперше задачу розроблення оперативного плану роботи локомотивного парку на залізничному напрямку формалізовано та вирішено як багатокритеріальну задачу про призначення, що дозволяє врахувати множину критеріїв ефективності та можливих обмежень при закріпленні локомотивних бригад за локомотивами та складами вантажних поїздів;
- удосконалена методика прогнозування тривалості руху вантажних поїздів на залізничних напрямках на основі використання апарату штучних нейронних мереж, що дає можливість з достатньо високою точністю визначати моменти прибуття поїздів на технічні станції з урахуванням параметрів поїздів, а також дати та часу їх відправлення з сусідніх технічних станцій;
- удосконалено імітаційну модель функціонування технічної станції за рахунок розроблення моделі локомотивного депо, що дає можливість отримувати прогнозні моменти готовності локомотивів та локомотивних бригад до відправлення з поїздами;
- удосконалено процедуру планування роботи локомотивних бригад за рахунок підвищення точності прогнозного плану відправлення поїздів, що дозволяє мінімізувати тривалість очікування бригадами відправлення з технічних станцій.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані при розробці сучасних автоматизованих систем оперативного керування роботою локомотивного парку.

Результати роботи використані: для удосконалення роботи локомотивного парку на Придніпровській залізниці; у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів зі спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті»; під час виконання дипломних робіт та в курсі лекцій з дисципліни «Оперативне керування рухом і роботою локомотивного парку». Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Усі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Стаття [142] опублікована без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в статті [10] автором проаналізовано тривалість очікування поїзного локомотива складами вантажних поїздів; у статті [137] виконані дослідження щодо виявлення зв'язку між інтенсивністю відправлення поїздів з технічних станцій та тривалістю їх руху на дільницях; у статті [144] проаналізована можливість використання апарату штучних нейронних мереж при прогнозуванні роботи залізничного транспорту; у статті [153] автором виконані дослідження щодо вибору типу та структури нейронної мережі для прогнозування тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями; у статті [143] розроблена структура прогнозовної моделі поїзної роботи залізничного напрямку; у статті [161] розроблена методика складання

оперативних планів роботи локомотивного парку з використанням багатокритеріальної задачі про призначення; у статті [131] проаналізовано існуючі методи оперативного планування роботи локомотивного парку, визначено недоліки та запропоновано шляхи удосконалення роботи локомотивів та бригад; у статті [73] виконано дослідження тривалості затримок поїздів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 6-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, БелГУТ, 2012); на 2-й, 3-й та 4-й міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Кострина, Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2013, 2014, 2015 рр.); на 73-й, 74-й та 75-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2013, 2014, 2015 рр.); на міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ 2014 р.); на 7-й міжнародній науково-практичній конференції «Электрификация транспорта «ТРАНСЭЛЕКТРО-2014»: (Одеса - Дніпропетровськ, 2014 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ 2014 р.); на 77-й міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 2015). У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (грудень, 2015 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 23 наукові праці, з них: 7 наукових статей у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженому Департаментом атестації кадрів МОН України та включені у міжнародні бази даних, 1 наукова стаття опублікована в іноземному виданні, 1 наукова стаття опублікована в іноземному виданні, що входить до міжнародної бази даних Scopus, 2 наукових статті в інших виданнях та 12 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 176 сторінок, з яких основного тексту 125 сторінок, роботу ілюстровано 38 рисунками, наведено 8 таблиць. Список використаних джерел складає 166 найменувань на 19 сторінках; 8 додатків на 32 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

1.1 Дослідження методів планування роботи локомотивного парку

1.1.1 Проблеми ефективного використання рухомого складу

В даний час залізниці України знаходяться на етапі реформування. При цьому, серед стратегічних цілей цього процесу є перехід від технологічно-адміністративної до технологічно-економічної моделі управління залізничним транспортом та збільшення питомої ваги залізничних перевезень [1-3] у загальному обсязі перевезень вантажів всіма видами транспорту.

В Стратегії розвитку залізничного транспорту до 2020 року [1] (далі - Стратегія) відмічено, що основними проблемами галузі є значний рівень зношеності основних виробничих фондів, насамперед – рухомого складу, а також недосконалість організаційної структури та системи управління галузю. Основними напрямками реалізації Стратегії є забезпечення залізниць рухомим складом для істотного покращення техніко-технологічних показників, а також удосконалення технології організації перевезень шляхом створення автоматизованої системи керування перевезеннями через головні та регіональні центри управління; централізація управління рухом поїздів. Метою реалізації [1], Транспортної стратегії України до 2020 року [2] та Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки [3] є підвищення ефективності використання вагонів та локомотивів, а також зменшення строків доставки вантажів.

Досягнення поставлених цілей передбачає підвищення конкурентоздатності залізниць на ринку транспортних послуг, в т.ч. за рахунок покращення якості транспортного сервісу та гнучкої тарифної політики. Якість транспортних послуг значною мірою визначається таким показником як термін доставки вантажів, скорочення якого є наразі актуальним завданням, що стоїть перед українськими залізницями. В свою чергу, термін доставки вантажів тісно пов'язаний з обігом вагону, що є одним з основних експлуатаційних показників роботи залізниць. Слід зазначити, що величина обігу вантажного вагону значною мірою визначає якість організації перевізного процесу, а також впливає на собівартість перевезень.

Як показує аналіз, за роки незалежності обіг вагону в цілому демонструє тенденцію до зростання: у порівнянні з 1992 р, коли обіг складав 3,6 доб., у 2014 р. обіг склав 8,7 доб., тобто виріс у 2,4 рази. Важливо зазначити, що збільшення обігу вагона відбувається на тлі загального збільшення дільничної швидкості на 22% (з 31,8 км/год у 1992 р. до 38,8 км/год у 2012 р.) [3-6]. Таким чином, основною причиною зростання обігу вагона є збільшення простоїв вагонів на станціях. Дослідження показують, що від 40% до 45% від загальної величини обігу вагона складають простої вагонів на технічних станціях [7]. Причому, як показав факторний аналіз, найбільший вплив (більше 60%) на зміну величини обігу вагона

спричиняють саме простої на технічних станціях [8]. За останні 20 років середній простій вагонів на технічних станціях зріс майже у двічі: з 5,3 год. у 1992 р. до 10,1 год. у 2014 р. [3, 6]. Отже, контроль за виконанням норм простою вагонів на технічних станціях займає важливе місце в експлуатаційній роботі залізниць.

Для скорочення тривалості знаходження вагонів на технічних станціях необхідно, в першу чергу, скоротити непродуктивні простої, пов'язані з очікуванням початку технологічних операцій. Як відмічено в [9], значна частка у загальній величині простою вагонів на технічних станціях припадає на очікування складами локомотивів та локомотивних бригад. Однією з причин такої ситуації є певний дефіцит тягового рухомого складу на залізницях України [10]. Враховуючи вкрай низькі темпи оновлення парку магістральних локомотивів, проблема удосконалення системи оперативного керування наявним локомотивним парком є наразі досить актуальною [11]. Вирішення вказаної проблеми дозволить підвищити ефективність використання локомотивів та зменшити непродуктивні простої вагонів на технічних станціях в очікуванні локомотивів та локомотивних бригад.

1.1.2 Аналіз методів планування роботи локомотивів

Для ефективного управління перевізним процесом, для своєчасної доставки вантажів та ритмічності перевезень, окрім розробки власне графіку руху поїздів, необхідно також розробити план роботи локомотивів, який за безпечує своєчасне відправлення поїздів зі станцій формування вантажопотоків, а також включає план прикріплення локомотивів до поїздів в пунктах обороту. Треба зазначити, що не дивлячись на те, що проблема розробки ефективного плану роботи локомотивного парку не є новою та над нею працювали видатні вчені-залізничники 20-го століття, вирішення цієї задачі є актуальним і по теперішній час.

Розроблені за часів планової економіки методи розрахунку експлуатованого парку локомотивів в роботі [12] на основі показників продуктивності локомотива та вагона, а також при заданих розмірах руху по розрахунковим ділянкам, відповідно, можуть бути застосовані при річному плануванні парку тягового рухомого складу та не використовуються при оперативному плануванні парку локомотивів. При цьому, в [13] зазначено, що нормування локомотивного парку необхідно виконувати з урахуванням впливу на потребу в локомотивах систем тягового обслуговування складів поїздів.

Балансовий метод визначення потреби та наявності локомотивів на кожній станції полігона, запропонований в [14], може бути використаний на полігонах з незначними коливаннями обсягів руху поїздів; в умовах же суттєвої нерівномірності руху вантажних поїздів використання даного методу є неефективним.

При добовому регулюванні локомотивів може бути застосований метод «ковзаючих» пунктів обороту локомотивів та бригад [14, 15] для пришвидшення вивозу вантажних поїздів з технічних станцій, в тому числі, із

залученням локомотивів з сусідніх ділянок обертання; при цьому, автори робіт не досліджують вплив застосування «ковзаючої» технології на роботу сусідніх технічних станцій та дільниць обертання локомотивів та бригад.

В роботі [16] наведена методика добового планування потреби локомотивів для запланованого обсягу перевезень з урахуванням заданих умов та обмежень: вивізної та передаточної, господарської роботи, підштовхування, пасажирського руху та маневрів. Розрахунки виконуються по дільницях, залізницях та полігону в цілому. Запропонована методика використовується при оперативному плануванні роботи локомотивів та локомотивних бригад, проте в статті не зазначена достовірність прогнозу, яка має істотний вплив на кінцевий результат.

Планування роботи локомотивного парку, що виконане за допомогою маршрутної системи експлуатації локомотивів [17, 18], забезпечує регулярне надходження локомотивів на ТО-2 незалежно від обсягів руху вантажних поїздів на залізничному напрямку. Проте, при визначенні тривалості міжекіпірувальних пробігів локомотивів не враховується стохастичний характер випадкової величини тривалості руху поїздів між станціями напрямку та фактори, що впливають на неї. В роботі [19] отримані висновки, що система технічного обслуговування та ремонту не має значного впливу на необхідні розміри парку, що експлуатується, оскільки тривалість знаходження в русі значно більша тривалості ремонту.

В роботі [20] проблему оптимального призначення локомотивів для поїздів наведено у вигляді двокритеріальної задачі оптимального планування в умовах невизначеності. У роботі запропоновано методику створення удосконаленої автоматизованої системи для оптимального управління роботою локомотивного парку. Її відмінність – у застосуванні нечітких моделей для прогнозування характеристик поїздопотоків та для прикріплення локомотивів до поїздів. Для оптимізації планування роботи локомотивів в поїздах в роботі [21] запропоновано використовувати математичний апарат «задачі про призначення» з мінімізацією сумарних витрат на перевезення. При цьому, автори використовують для оцінки витрат поняття статистичного ризику - очікувані витрати при конкретному виборі управлінських рішень в умовах невизначеності. Прогнозування готовності локомотивів виконується, виходячи з типових технологічних послідовностей операцій та поточної стадії підготовки локомотива. Недоліком запропонованої методики є те, що при розробленні плану роботи локомотивів не враховуються локомотиви в поїздах на підходах до станції.

В роботі [22] запропонована модель оптимального графіка обороту локомотивів, основу якої складає динамічна транспортна задача. Представлена модель дозволяє розробити графіки роботи кожного локомотива, розрахувати показники їх роботи та оптимальну кількість локомотивів. Проте, графік обороту локомотивів розробляється тільки з урахуванням обслуговування составів, та не враховуються графік та особливості роботи локомотивних бригад.

В науковій роботі [23] запропонована методика оперативного регулювання локомотивним парком, що включає складання стратегічного плану регулювання (намічається основна схема передислокації локомотивів з пунктів, де очікується надлишок) та тактичний план регулювання (уточнюється схема передислокації по періодах поточного плану в залежності від оперативного стану). При цьому, передбачається введення додаткового штату працівників залізниць та дирекцій залізничних перевезень для цілодобового оперативного регулювання локомотивного парку.

Для вирішення задачі оперативного планування роботи локомотивів в [24] був застосований метод декомпозиції, що використовує евристичні міркування для наведення загальної задачі у вигляді визначеної послідовності трьох часткових підзадач (добового, поточного планування та планування по 3(4)-годинним інтервалам). Підсистеми автоматизованої системи комплексного планування роботи локомотивів вантажного руху АСКПБЛ включають: взаємодію з іншими інформаційними системами, моделювання руху поїздів на дільниці, планування пересилки локомотивів резервом, планування прикріплення локомотивів до составів поїздів на період добового та поточного планів, складання остаточного плану-завдання. При використанні такого підходу зменшується парк локомотивів, простій локомотивів та бригад, число заходів локомотивів на ТО-2.

Отже, невисока точність прогнозу потреби локомотивів, їх незадовільний технічний стан, що призведе до збільшення обсягу та тривалості ремонту локомотивів, потребує створення такої методики планування роботи локомотивного парку, яка б враховувала наведені вище фактори та забезпечувала б достовірний прогноз при оперативному, добовому та місячному планування роботи тягового рухомого складу.

1.1.3 Проблеми удосконалення системи організації праці локомотивних бригад

Проблема ефективної організації роботи локомотивних бригад (ЛБ) постала з початком впровадження залізничних перевезень та з ростом обсягів перевезень вантажів актуальність цієї проблеми також зростала. Слід зазначити, що продуктивність, а також умови праці та відпочинку ЛБ в значній мірі залежать від схеми організації їх поїздок. Наразі існують такі схеми: плечова, коли ділянка роботи локомотивних бригад обслуговується з одного пункту їх приписки, накладна - на одній ділянці поїзди обслуговують ЛБ з двох суміжних пунктів, кожний з яких є одночасно пунктом приписки і пунктом обороту, петльова – коли на ділянці роботи бригад, що обмежена двома пунктами їх обороту, поїзди обслуговуються бригадами з пункту їх приписки, розташованого всередині ділянки [25].

Як зазначалось, проблема удосконалення системи організації роботи локомотивних бригад завжди була актуальною та перебувала в центрі уваги експлуатаційної науки. Так, в роботах [26, 27] викладено результати дослідження по вибору найбільш раціональних форм організації праці ЛБ вантажного руху для всіх видів тяги при різній тривалості безперервної роботи з урахуванням заходів, спрямованих на зменшення допоміжного часу

роботи. Також в цих роботах наведена методика техніко-економічного порівняння варіантів ділянок та способів організації роботи ЛБ (по приведених витратах). Відмічено, що організація праці ЛБ накладним способом з відпочинком в пункті обороту та повним використанням можливої безперервної тривалості роботи краще за все відповідає вимогам безпеки руху, дозволяє зменшити число поїздок та збільшити тривалість домашнього відпочинку.

Роботи [28, 29, 30] присвячені вирішенню задачі доцільності подовження ділянок роботи локомотивних бригад, а також наведені методики їх формування при пропуску поїздів за «жорсткими» нитками графіка. Зазначено, що подовження пліч роботи до максимально можливих дозволяє зменшити стоянки, пов'язані зі зміною локомотивів та ЛБ, а також знизити експлуатаційні витрати та покращити використання тягового рухомого складу. Так, в [31, 32] відмічено тенденцію подовження локомотивних пліч обслуговування на залізницях України та позитивний ефект за рахунок їх впровадження: за рахунок роботи на 29 подовжених ділянках обслуговування покращилось використання локомотивів і ЛБ, що дало змогу зекономити в середньому 15 електровозів та 112 ЛБ, що, в свою чергу, дозволило знизити експлуатаційні витрати у 2012 р. приблизно на 90 млн грн.

Для більш раціонального використання робочого часу локомотивних бригад в [33] запропоновано ввести в пунктах обороту та основному депо екіпірувальні бригади (машиністів, які працюють в одну особу), які будуть приймати локомотив в парку приймання, проходити весь цикл операцій з локомотивом до його здачі локомотивній бригаді в парку відправлення при зворотному слідуванні.

Необхідно сказати, що цей досвід успішно використовується і зараз. Так, в [34] відмічено, що з серпня 2011 року в депо Придніпровської залізниці введені додаткові бригади для приймання електровозів, виставки їх з депо, повної проби гальм, які передають готовий до відправлення локомотив з поїздом штатній бригаді. Це дозволило зменшити кількість позанормових годин роботи ЛБ, а також продуктивно використовувати робочий час бригад, що призвело до скорочення витрат, пов'язаних з утриманням штату машиністів та їх помічників.

Отже, як видно, проблема ефективної організації праці локомотивних бригад активно обговорюється і по теперішній час, оскільки удосконалення експлуатаційної роботи залізниць неможливе без покращення системи праці та відпочинку машиністів та їх помічників.

Важливу роль в дотриманні норм праці та відпочинку відіграє графік роботи локомотивних бригад, який повинен розроблятися таким чином, щоб робочий час бригад використовувався якомога ефективніше, а саме – мінімізація часу на допоміжні операції, виключення, або принаймні скорочення, непродуктивних простоїв в роботі бригад (очікування локомотива, очікування відправлення поїзда, позанормове знаходження в пункті обороту тощо) та максимальне використання допустимої тривалості

безперервної роботи бригади. Також при розробці графіку роботи бригад депо слід дотримуватись принципу рівномірного завантаження бригад протягом місяця та року, а також надання відпусток у повному обсязі.

У 80-х роках 20-го століття науковці ДІІТу розробили методику визначення необхідного списочного штату ЛБ за допомогою побудови перспективної та ступінчатої діаграм роботи бригад[35], що відображають сезонну та внутрішньомісячну нерівномірність вантажопотоків, яка базується на прогностичних обсягах роботи ЛБ та основних положеннях КЗпП. Дана методика може використовуватись як при поточному (місячному або напівмісячному) плануванні явочного штату ЛБ, так і на етапі довгострокового планування, а також для визначення дати початку та закінчення відпустки робітників. В [36] запропонована методика складання річного плану роботи ЛБ при нестачі контингенту, при чому, сумарна річна переробка на одного машиніста рівномірно розподілена по місяцях року (можливі і інші варіанти), а планування виконується на основі 1-3 попередніх років з урахуванням прогнозування обсягу роботи. Дана методика передбачає роботу бригад по іменних розкладах. За допомогою запропонованого в роботі [37] комплексу програм можна визначити потрібний списочний штат ЛБ, потрібний явочний штат, оптимальні розміри та строки створення тимчасових штатів. Прогноз розробляється на основі 3-х попередніх років з урахуванням надання «вікон», використання ЛБ на допоміжних роботах. Аналізуючи наведені вище наукові праці, слід відмітити, що вони виконувались за часів планової економіки, а оскільки в Україні відбувся перехід від планової економіки до ринкової, особливостями якої є відсутність жорсткого планування роботи абсолютно всіх підприємств, то нормативна база методик, викладених в цих роботах певним чином втратили свою актуальність на теперішній час.

В роботі [38] запропонована методика прогнозування необхідного штату ЛБ та парку локомотивів на рік, виходячи з вантажообігу та середньодобової продуктивності локомотива. Потреба в бригадах встановлюється виходячи з їх прогностичного числа, що закріплюється за одним локомотивом. Модель прогнозування вказаних показників базується на звітних даних за попередні 5 років з урахуванням майбутніх змін.

Планування роботи локомотивних депо необхідно виконувати з урахуванням рівномірного завантаження бригад кожного депо полігона. Так, наукові праці [39, 40] присвячені розподілу роботи між локомотивними депо залізничного полігона. Відмічено, що доцільно проводити перерозподіл обсягів робіт для всіх основних депо полігона одночасно за рахунок мінімізації відхилення середніх виробіток ЛБ кожного основного депо від величини середньої виробітки ЛБ всього полігону. В процесі вирішення задачі виконується уточнення штату ЛБ кожного депо з наступним використанням отриманих даних при розподілу обсягів робіт між основними депо полігону, а також при розподіленні контингентів бригад різних категорій (по виду руху та роду тяги). В цих роботах був розроблений метод «попарного вирівнювання», який дозволяє ув'язувати поїзди в пари з

урахуванням загальних розмірів руху на дільницях та обмежень величини обсягів роботи, що можуть бути виконані бригадами відповідних депо. Слід зазначити, що ув'язка в пари виконується тільки для поїздів регулярного обертання.

Окрім розробки графіку роботи бригад в депо приписки, для раціонального використання робочого часу бригад необхідно мати графік їх роботи в пунктах обороту. При складанні плану регулювання наявності ЛБ в пунктах їх обороту, розрахунку плану явок бригад в наступні поїздки виникає необхідність у визначенні моментів відправлення та прибуття поїздів по пунктах приписки та обороту ЛБ. Знаходження умовних (прогнозних) ниток ГРП виконується за допомогою методів математичної статистики на основі внутрішньодобового розподілу розмірів руху з групуванням даних про кількість поїздів, що прибули та відправились, по часових періодах (за 10-15 діб, що передують плановій добі) [41]. Слід зазначити, що внаслідок місячної нерівномірності руху поїздів, обсяг перевезень, наприклад, на початку місяця, може значно відрізнятись від обсягу роботи всередині місяця. Тому планування розмірів руху на основі 10-15 попередніх діб не дає достовірного результату. Регулювання наявності ЛБ в [42] зводиться до вирішення задачі про призначення, де цільовою функцією є очікування роботи в пункті обороту. Для планування розподілу парку локомотивів та роботи ЛБ використовується оперативна та нормативна інформація: розклад руху вантажних поїздів, що увійшли до «ядра» та середні тривалості руху поїздів по дільницях. План регулювання наявності ЛБ по пунктах обороту розробляється на основі даних внутрішньодобового розподілення розмірів руху, що плануються та прогнозуються (умовних моментів прибуття та відправлення поїздів). Авторами робіт [43, 44] розроблено та удосконалено метод мінімальних різниць, що дозволяє отримати точне рішення щодо ув'язки поїздів в пари при попередньо заданих обсягах роботи з урахуванням неспівпадаючих величин числа парних та непарних поїздів, кількість яких відома заздалегідь. Слід зазначити, що при використанні цього методу мінімізується сумарний час знаходження в оборотному депо всіх бригад, а не кожної бригади окремо.

Одним з найбільш ефективних способів організації праці локомотивних бригад є застосування іменних розкладів, що найкращим чином задовольняють вимоги щодо організації праці та відпочинку бригад. Так, в [45] наведена методика складання іменних розкладів для будь-яких депо з будь-якими коливаннями розмірів руху за добу (до 50 %). При чому, для регулювання нерівномірності руху поїздів рекомендується зменшувати тривалість відпочинку між поїздками на 25%, що дає можливість виконувати додаткові поїздки протягом місяця. Недоліком запропонованої методики є нерівномірність завантаження локомотивних бригад протягом місяця. В роботі [46] запропонована методика комплексного двоетапного планування роботи локомотивних бригад (довгострокового і поточного) та застосування комбінованої системи організації їх роботи. Іменні розклади складаються для 2-х груп локомотивних бригад: перша (основна) – по іменним розкладам, що

відповідають плановій місячній нормі відпрацювання годин та необхідній кількості вихідних, друга група (підмінні ЛБ) – по комбінованому методу. Для підмінних бригад також складаються іменні розклади, але з резервом місця і часу обслуговування можливих позапланових поїздів, тобто таких поїздів, що не увійшли в «ядро». При цьому, автори зазначають, що більший економічний ефект при використанні цієї методики буде у випадку впровадження її не в окремому локомотивному депо, а на декількох депо залізничної мережі одночасно. За результатами роботи [47] зроблено висновок, що застосування іменних графіків роботи локомотивних бригад дозволило майже ліквідувати позанормову роботу та зменшити втрати робочого часу бригад.

В роботах [48, 49] прогноз часу явки ЛБ на місяць, що планується, виконується на основі гарантованих інтервалів, що визначаються статистично (по виконаних графікам руху поїздів). Гарантовані інтервали – такі мінімальні проміжки часу, в кожному з яких, з попередньо заданою частотою (0,85), відправлявся хоча б один поїзд. Такий метод прогнозу використовується при «жорсткому» графіку руху та дозволяє зменшити кількість зривів роботи бригад через місячну або сезонну нерівномірність потоку поїздів. Автори праць [50, 51] задачу розробки графіку роботи бригад розв'язують за допомогою методів цілочисельного програмування, а саме як «задачу комівояжера». Слід ще раз підкреслити, що запропоновані вище методики по створенню іменних розкладів роботи локомотивних бригад використовуються при русі вантажних поїздів за «жорсткими» нитками графіку.

В науковій праці [52] була розроблена графіково-інтервальна система організації роботи ЛБ, яка ґрунтувалась на аналізі відправлення поїздів протягом однієї години за три попередні місяці. У відповідності до цього та з урахуванням розміщення пасажирських та приміських поїздів на сітці графіка, надання «вікон», визначався час явки бригад на кожную годину доби. Отриманий результат відображав внутрішньомісячну та внутрішньодобову нерівномірності поїзної та вантажної роботи. Недоліком даного методу є те, що моменти явок бригад розподілялись рівномірно протягом години в залежності від кількості поїздів, що планувалась, що, в ряді випадків, спричиняло очікування поїздами бригад і навпаки.

Комплекс задач по плануванню та організації роботи ЛБ, представлений в [53], включав у себе створення інформаційної бази та вирішення задач обліку та звітності, планування роботи ЛБ на період від доби до року, управління роботою ЛБ в реальному масштабі часу. Автори відмічають, що автоматизація рішення задачі дозволяє планувати весь обсяг роботи від рівня депо до регіону, що включає 2-3 залізниці. Проте на той час (80-ті роки 20-го століття) запропонована комплексна програма не отримала розповсюдження, оскільки дорожні обчислювальні центри не були забезпечені швидкодіючими ЕОМ з достатньою оперативною пам'яттю.

Методика визначення потреби локомотивних бригад та прикріплення їх до составів, що запропонована в [54], базується на прогнозі прибуття ЛБ на 3

-6 год, тривалості технологічних операцій та відпочинку бригад. Автори даної методики зазначають, що великі станції можуть впливати на нерівномірність потоку та організацію використання ЛБ шляхом впровадження гнучкого, варіантного ПФП, а саме формуванням багатогрупних поїздів дальнього призначення. В залежності від прогнозу на 3-6 год вперед вирішується доцільність формування багатогрупних поїздів дальнього призначення, що дає змогу підготувати поїзд до моменту готовності бригади до відправлення та зменшити кількість поїздок пасажирами, а також тривалість позанормового відпочинку. Недоліком запропонованої методики є те, що не розглянуто вплив формування багатогрупних поїздів на параметри роботи станцій переформування составів. Також слід зазначити, що ця методика використовується при «жорсткому» ГРП.

Запропонований в [55] метод передбачає послідовне взаємопов'язане виконання розрахунків по складанню плану прикріплення локомотивів до составів поїздів та ЛБ – до локомотивів на будь-який період оперативного планування: 3-4 години, на період змінного планування та на добу. Розрахунок графіку роботи бригад в пункті обороту виконується в залежності від наявності та тривалості відпочинку, а також на основі попередньо складеного графіку відправлення поїздів, забезпечених локомотивами. В роботі [56] наведена методика добового та поточного планування роботи ЛБ, яка на основі відомостей про розміри руху, спосіб обслуговування ділянок локомотивними бригадами, поточний поїзний стан, наявність ЛБ в пункті обороту на початок періоду планування, заплановані «вікна» дозволяє розрахувати змінно-добовий план регулювання локомотивними бригадами, що включає дані про явки бригад (по пунктам їх проживання) на добу з розбиттям по змінах, а також дані про повернення бригад пасажирами та підсилку в пункти обороту. Поточний план регулювання ЛБ розробляється на шестигодинний період за 3 години до його початку з інтервалом 3 години. Проте, в цій роботі не визначено порядок розрахунку моментів прибуття поїздів на станції основного та оборотного депо.

Результати наведених вище наукових праць можна розділити на дві основні групи: методики, розроблені при Радянському Союзі, за часів якого мала місце планова економіка з жорстким контролем діяльності всіх сфер промисловості, а також методики, базою яких є рух вантажних поїздів за «жорсткими» нитками графіку. Оскільки в Україні відбувся перехід від планової до ринкової економіки, а впровадження «жорсткого» графіку руху поїздів знаходиться на стадії обговорення та теоретичних досліджень, то найбільш прийнятним способом удосконалення оперативної роботи локомотивним парком є створення адаптивних систем для ефективного оперативного управління роботою залізниць.

1.1.4 Аналіз впливу системи організації пропуску поїздів на роботу локомотивного парку

Система організація пропуску вантажних поїздів впливає як на організацію роботи залізниці в цілому, так і на організацію роботи локомотивів і локомотивних бригад, зокрема: чим стабільніше виконується пропуск поїздів на дільницях, тим краще показники використання рухомого складу та ефективність використання робочого часу бригад. При дотриманні ритмічності графіка руху поїздів забезпечується своєчасна постановка тягового рухомого складу на технічне обслуговування та поточний ремонт, збільшується продуктивність локомотивів; покращується використання допустимої тривалості безперервної роботи локомотивних бригад і забезпечується своєчасне та в повному обсязі надання відпочинку бригадам. За часів існування експлуатаційної науки було розроблено велику кількість методик щодо оптимізації системи пропуску вантажних поїздів та пов'язаних з цим питань.

В роботі [57] наведена методика регулювання локомотивного парку шляхом моделювання організації роботи локомотивів в межах дільниці обертання при виділенні в графіку руху «ядра». Так, близько 70-75% поїздів обслуговуються локомотивами, що ув'язуються окремо, з урахуванням резерву для забезпечення надійності графіка їх обороту. Для решти поїздів, яку складають додаткові та факультативні поїзда, розробляються регульовальні заходи по локомотивному парку в оперативному режимі. Як видно, дана методика використовується при стабілізації великої частини обсягу перевезень, що важко досягнути в сучасних умовах при значній нерівномірності руху вантажних поїздів. В тому числі, для стабільного забезпечення ядра поїздів локомотивами пропонується вводити додатковий парк локомотивів в пунктах їх обороту та перечеплення, при цьому не враховуються виникаючі додаткові прості тягових одиниць.

Як відмічено у [58, 59], однією з основних причин простою поїздів в очікування локомотивів як на залізницях України, так і Російської Федерації, є відсутність електровозів. Автор статті [59] відмічає, що більш ефективному використанню локомотивних бригад та швидкому просуванню вагонопотоків сприяє формування поїздів підвищеної ваги та довжини. При цьому, недоліком запропонованої методики є те, що імітаційне моделювання виконується тільки для однієї станції, а не для напрямку в цілому. В роботі [60] відмічено, що ритмічність відправлення поїздів може бути забезпечена за рахунок підвищення транзитності вагонопотоків, в тому числі, і за рахунок оперативної зміни плану формування поїздів технічних станцій. Запропонована методика передбачає зміну технології роботи навантажувально-розвантажувальних пунктів, що примикають до станцій, ефективність роботи яких не була досліджена.

Одним з найбільш ефективних способів організації пропуску поїздів з точки зору раціонального використання рухомого складу, планування роботи локомотивного парку, своєчасної доставки вантажів є застосування «жорсткого» графіка руху поїздів. Наукові доробки по цій проблемі з'являлись ще за часів Радянського Союзу і наразі знову активно обговорюються.

Так, в [61] пропонується технологія роботи по «жорсткому» ГРП, що базується на дискретному плануванні вантажної роботи станції та на управлінні навантаженням. Ефективність запропонованих рішень, як зазначають автори, полягає у підвищенні якості транспортного обслуговування за рахунок переміщення вантажів у прямих поїздах, виключення переробок на сортувальних станціях, значного зменшення простою вагонів на технічних станціях, збільшення швидкості доставки та доставку по схемі «точно в строк», покращенням збереженості вантажів. В [62] відмічено, що за рахунок пришвидшення просування вагонопотоків (організація технічної маршрутизації, групових поїздів) покращується використання локомотивного парку за рахунок мінімального числа перечеплень локомотивів на технічних станціях.

В роботах [63-65] запропонована технологія поїзної роботи при постійних протягом місяця розмірах вантажного руху та нефіксованих вазі та довжини составів (ГРПР) на основі суміщеного варіантного графіку руху (СВГР), «жорсткого» графіку обороту локомотивів, іменних розкладах роботи ЛБ. Дана методика дозволяє стабілізувати вантажний рух (в т.ч. зменшити простій рухомого складу на технічних станціях, робочий парк вагонів, експлуатований парк локомотивів, потребу в ЛБ та збільшити дільничну швидкість, середньодобовий пробіг та продуктивність локомотива). Запропоновано додати в графік вантажні поїзда з диференційованими режимами просування (вантажні експresi, технологічні маршрути, фірмові вантажні поїзда з орендованих або власних вагонів транспортно-експедиційних підприємств тощо), що дозволить забезпечити швидкісне транспортування вантажів та їх регулярну доставку. За результатами експерименту, щодо впровадження технологій поїзної роботи ГРПР [66], відмічено зменшення простоїв вагонів на станціях полігону, зменшення парку локомотивів та ЛБ, кількості зупинок на станціях по неприйманню поїздів, повна ліквідація резервних пробігів локомотивів. Зазначено, що на напрямках з різкими коливаннями поїздопотоків (>13%) технологія ГРПР ефективна при оперативному введенні додаткових локомотивів та ЛБ, в т.ч. диспетчерських з 12-годинним режимом роботи.

В роботі [67] автори пропонують застосовувати іменні розклади для ЛБ, жорсткі графіки обороту для локомотивів, використовувати технологію СВГД для обліку нерівномірності поїздо- та вагонопотоків. Відмічено, що зменшення питомого часу знаходження на станції обороту та перечеплення сприяє збільшенню середньодобового пробігу та зменшенню експлуатованого парку локомотивів. В [68] для стійкої частини поїздопотоку на основі «жорстких» ниток графіку складаються графік обороту локомотивів та іменні розклади роботи ЛБ. Для локомотивів, які обслуговують факультативні поїзда (поїзда, що не охоплені «жорстким» графіком руху), розраховують потрібний парк локомотивів та контингент ЛБ, виходячи з розмірів руху по дільницях напрямку. Задачі прогнозування та планування поїздопотоків авторами пропонується вирішувати на базі економічних критеріїв, в тому числі, рекомендується розробляти графік руху

поїздів не по залізничних дільницях, а по напрямках просування вантажопотоків.

В роботі [69] розглянуто основні положення розробленої на РЖД «Концепції інтегрованої технології управління рухом вантажних поїздів за розкладом» (далі – Інтегрована технологія), яка передбачає організацію пропуску вантажопотоків за «жорстким» графіком руху в різних формах, в тому числі, виділення «ядра», організації руху групових поїздів та технічної маршрутизації по узгоджених розкладах, призначення технічних маршрутів регулярного обертання між великими промисловими центрами. Технологічний графік обороту локомотивів складається на період планування (декаду, місяць), а для ЛБ передбачені іменні розклади. Автори Інтегрованої технології відмічають, що організація руху вантажних поїздів за розкладом на замкнутих напрямках дозволить суттєво прискорити просування вагонопотоків за рахунок ліквідації операцій по зміні локомотивів та ЛБ.

В багатьох країнах Європи рух вантажних поїздів за розкладом є нормою роботи залізниць. Так, наприклад, в Німеччині [70] вантажоперевізники подають заявку на використання певної нитки графіку, при чому, на законодавчому рівні визначено встановлення пріоритетності заявок на нитку графіка та, в крайньому випадку, виділення нитки претендентові, який запропонував більшу ціну. При чому, в розкладі, окрім «жорстких» ниток, передбачені перевезення за вимогою, заявки на які подаються за 48 годин або менше.

На ринку транспортних послуг Швейцарії, окрім домінуючої Федеральної залізниці (SBB), існує ряд інших залізничних компаній, які надають транспортні послуги як своєю інфраструктурою, так і інфраструктурою SBB, користуючись правом відкритого доступу [71]. Слід зазначити, що складання розкладу руху поїздів, встановлення технічних стандартів, а також системне керівництво є обов'язком SBB.

На теренах Європи існує тенденція до збільшення ринку лізингу локомотивів [72]. При цьому, однією з можливостей збільшення продуктивності роботи локомотивів та зменшення числа ЛБ є рух локомотивів по міжнародним маршрутам без перечеплення на кордонах країн.

Отже, як відмічалось раніше, при організації пропуску вантажних поїздів за «жорсткими» нитками графіка суттєво покращуються показники використання локомотивного парку, зменшуються строки доставки вантажів та покращуються умови доставки вантажів за технологією «точно в строк» [73]. Однак, перехід на цю систему організації руху поїздів потребує організаційних змін роботи залізничного транспорту на всіх рівнях, починаючи з технології роботи технічних станцій, локомотивних депо та інших структур, закінчуючи плануванням роботи на рівні Укрзалізниці. Звісно, що цей процес потребує як організаційних зусиль, створення нормативно-правової бази, так і суттєвих матеріальних витрат, а також може бути впроваджено протягом значного періоду часу.

1.2 Аналіз моделей функціонування технічних станцій

Для аналізу функціонування залізничних напрямків та станцій, розроблення планів їх роботи, виявлення «вузьких» місць ефективно використовувати імітаційне моделювання на ЕОМ. Слід зазначити, що питанням розробки та впровадження імітаційних моделей для дослідження роботи залізничних напрямків та станцій присвячено досить багато наукових праць.

Так, за допомогою імітаційної моделі, розробленої на основі теорії масового обслуговування, вирішуються питання прогнозування і планування роботи залізничних станцій в дослідженнях [74, 75]. Модель може бути використана для планування роботи станції в умовах реконструкції або з акриття технічних засобів та для оцінки різних варіантів організації роботи станції в таких умовах [74]; в тому числі, модель може бути використана для нормування різних показників роботи станції, та аналізу якості роботи оперативної зміни [75]. Аналіз ґрунтується на порівнянні показників роботи станції, отриманих за результатами роботи зміни і внаслідок моделювання роботи станції.

Для імітаційного моделювання роботи сортувальної станції та виявлення її недоліків автори наукової праці [76] використовують програму Advanced Model Designer (AMD), яка заснована на методах моделювання однорідних і неоднорідних СМО. Програма AMD дозволяє коригувати структуру і параметри моделі СМО, в т.ч. під час моделювання.

Широке поширення останнім часом набули моделі транспортних об'єктів, розроблені з використанням апарата мереж Петрі. Технологічний процес обробки поїздів в таких моделях представляється послідовністю позицій (станів) і переходів. При цьому, переходи імітують обробку об'єктів протягом заданого часу, а позиції характеризують поточний стан системи і визначають умови переходів. При виконанні умов перехід спрацьовує, в результаті чого змінюється поточна розмітка мережі. Зокрема, в [77, 78] розроблена методика представлення комплексу "сортувальна станція - прилеглі ділянки" у вигляді мережі Петрі. У даних роботах показано, що шляхом ускладнення структури мережі можна досягти будь-якого ступеня деталізації, що моделюється. Передбачена також можливість моделювання випадкових інтервалів між поїздами вхідного потоку, а також інших параметрів. Для реалізації моделі на ЕОМ можуть бути використані спеціальні програмні продукти.

Для моделювання технологічних процесів на станціях в роботах [79-81] використані нейронні мережі та теорії нечітких множин, що дають можливість зменшити простій рухомого складу та підвищити ефективність функціонування станції в цілому.

В роботах [82-84] розроблена та удосконалена автоматизована система управління перевезеннями на основі методів нечіткої логіки. Однак, при визначенні кількості поїздів, що може бути прийнята та відправлена зі станції не враховуються обмеження щодо експлуатаційного парку локомотивів та

штату локомотивних бригад.

В останні роки для дослідження роботи залізничних станцій все частіше використовуються сучасні програмні засоби моделювання. Так, в [85] розроблена модель залізничної станції на основі системи AnyLogic. Наявність сучасного графічного інтерфейсу дозволяє конструювати моделі з численних готових об'єктів, що містяться в готових проблемно-орієнтованих бібліотеках. Наприклад, для створення імітаційних моделей роботи об'єктів залізничного транспорту існує «Залізнична бібліотека». Особливістю опису залізничних об'єктів з використанням цієї бібліотеки є представлення операцій перевізного процесу за допомогою певних об'єктів бібліотеки. При цьому, поїзда, локомотиви і вагони подаються в вигляді «заявок», що оброблюються цими об'єктами. Схема колійного розвитку станції задається групою векторних фігур - ламаних ліній і кіл, що зображують, відповідно, залізничні колії та стрілочні переводи. Маршрут руху задається переліком елементів колійного розвитку; при русі контролюється зайнятість елементів маршруту, а стрілки переводяться автоматично. Разом з тим в даній моделі основний акцент зроблений на адекватне моделювання переміщень рухомого складу по станції, а технологічний процес обслуговування поїздів і вагонів моделюється спрощено, без урахування можливих варіантів технології та наявності відмов обслуговуючих пристроїв.

В роботі [86] запропонована імітаційна модель роботи залізничного вузла на основі агентного моделювання: на інфраструктурному рівні агентами є залізничні колії, локомотиви, бригади; на сервісному рівні в якості агентів виступають під'їзні колії, вантажні райони, сортувальні гірки, витяжні колії тощо; керуючі агенти (агенти, що моделюють роботу вузлового диспетчера, чергового по станції, маневрового диспетчера тощо) забезпечують взаємодію агентів інфраструктурного та сервісного рівнів. Дана СПЕР інтегрована у систему диспетчерської централізації «Каскад» [87].

Автори наукової праці [88] пропонують доповнювати моделі оперативного планування та керування поїзною роботою інструментами бізнес-аналітики для підвищення ефективності прийняття рішень.

Останнім часом набувають розповсюдження інтелектуальні транспортні системи (КІТС), які використовують інноваційні розробки в моделюванні транспортних систем і регулюванні транспортних потоків, являють собою єдиний комплекс автоматизованих систем, які розроблені спеціально для вирішення транспортних завдань. КІТС призначені для збору, обробки і передачі інформації про роботу і стан транспортних засобів, а також для обміну інформацією між користувачами і керуючими структурами в режимі реального часу і управління транспортом [89]. Рішення транспортних задач засноване на застосуванні сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій і методів управління. Так, в статті [90] визначені загальні умови побудови інтелектуальних станційних систем, застосування яких дозволить суттєво підвищити ефективність функціонування залізничних станцій.

В науковій статті [91] розроблена інтелектуальна модель функціонування залізничної станції, а саме – модель визначення колії приймання для поїздів різних категорій. Однак, при прийманні транзитних поїздів без переробки не враховується необхідність зміни локомотива та/або локомотивної бригади.

Заслугує уваги досвід вчених ДІІТу, де під керівництвом професора Бобровського В.І. створено наукову школу з функціонального моделювання роботи залізничних станцій [92] та запропоновано концепцію ергатичного моделювання, яка передбачає безпосередню участь людини-оператора в роботі моделі.

1.3 Аналіз методів прогнозування тривалості руху поїздів

Основою будь-якої системи управління роботою станції або залізничного напрямку в цілому має бути якісний (достовірний) прогноз підходу поїздів, який розраховується виходячи з часу відправлення із сусідньої станції та тривалості руху між станціями. Тому, основою прогнозу прибуття поїздів є визначення прогнозованої тривалості руху поїздів між станціями. Існує декілька основних методик прогнозування цієї величини: на основі статистичного аналізу руху поїздів за попередні періоди, згідно нормативного графіка руху поїздів, виходячи з величини середньої швидкості руху тощо.

Так, автор роботи [93] обґрунтовує необхідність використання ймовірно-статистичних методів в дослідженнях руху поїздів; в тому числі, при розрахунку тривалості руху поїздів автор пропонує враховувати масу, довжину та композицію состава поїзда, технічний стан локомотива, кваліфікацію локомотивної бригади, насиченість дільниці поїздами, обмеження швидкості руху, рівень напруги контактної мережі, а також погодні умови. Проте автор не наводить конкретних результатів запропонованої методики розрахунку тривалості руху вантажних поїздів.

В роботі [94] розроблено основні принципи моделі аналізу та прогнозу прямування та прибуття транзитних поїздів, основу якої складає методи нечіткої логіки і теорія нечітких множин. Автори наукової праці [95] пропонують прогноз прибуття поїздів розробляти з використанням нейронних мереж на основі досвіду пропуску поїздопотоків протягом попередніх періодів.

В роботах [96, 97 [HYPERLINK "http://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-informatsionnoy-podderzhki-prinyatiya-resheniy-poezdny-m-dispetcherom-pri-organizatsii-dvizheniya-poezdov"](http://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-informatsionnoy-podderzhki-prinyatiya-resheniy-poezdny-m-dispetcherom-pri-organizatsii-dvizheniya-poezdov)] розрахунок прогнозованого часу прибуття поїздів на станції виконується з урахуванням тривалості руху по перегонах, витрат на розгін та сповільнення, станційних та міжпоїзних інтервалів, а також інформації про наявність попереджень про зменшення швидкості руху поїздів.

Автори методики розрахунку графіка руху поїздів прогнозують тривалість руху між станціями розраховують на основі середнього значення швидкості руху [98]. В роботі [99] прогнозування тривалості руху між технічними станціями пропонується виконувати на основі перегонних тривалостей руху поїздів згідно з графіком руху.

Загальним недоліком проаналізованих робіт [93-98] є те, що при розрахунку тривалості руху вантажних поїздів не врахований такий фактор, як маса поїзда, що має суттєвий вплив на величину тривалості руху поїздів між станціями. Окрім того, в цих роботах недостатньо уваги приділяється дослідженню впливу часу та дати на тривалість руху.

В роботі [100] запропонований метод багатофакторного ситуаційно-евристичного нормування тривалості технологічних операцій для побудови план-графіка руху поїздів. Для прогнозування тривалості руху вантажних поїздів враховуються як дані про дільницю та роздільні пункти, так і відомості про рухомий склад та обмеження швидкості руху.

Як відмічено в [101], прогнозування руху поїздів в АСУЗТ виконується за рахунок нормативних тривалостей руху по перегонах та відмічено, що одним з перспективним напрямків прогнозування руху поїздів є розрахунок тривалості руху з використанням даних систем глобального позиціонування GPS. Так, в роботах [102-105] запропоновані СППР для диспетчерського персоналу з використанням інформації, що надходить з GPS-приладів, встановлених на локомотивах, для оперативного контролю дислокації рухомого складу. В подальшому аналогічні системи можна буде використовувати для розрахунку прогнозних моментів прибуття поїздів (локомотивів) на станції.

Отже, проблема визначення прогнозованої тривалості руху вантажних поїздів є досить складною, оскільки на цю величину впливають багато факторів – від маси поїзда до погодних умов. Зрозуміло, що система, яка б враховувала усі можливі чинники, може бути досить складною, тому актуальною задачею наразі є визначення факторів, які мають найбільший вплив на величину тривалості руху, та з урахуванням ступеню їх впливу розробити адекватну прогнозну модель тривалості руху вантажних поїздів між станціями залізничного напрямку.

1.4 Проблеми та перспективи створення автоматизованих систем керування роботою локомотивним парком

Широке впровадження обчислювальної техніки та стрімкий розвиток інформаційних технологій створили сприятливі умови для розроблення автоматизованих робочих місць працівників залізниць, програмні комплекси для виконання різноманітних розрахунків, для планування роботи залізничного транспорту на всіх рівнях, а також для контролю якості перевізного процесу.

На теренах Російської Федерації в останні роки широко впроваджується автоматизована система диспетчерського управління локомотивами та локомотивними бригадами на замкнутих полігонах обертання СИГНАЛ-Л [106-108], призначенням якої є розрахунок експлуатованого парку в локомотивних депо, контроль простою локомотивів на технічних ремонтах, на станціях та в депо, а також контроль порушень норм пробігу та простою локомотивів. Проте слід зазначити, що СИГНАЛ-Л - інформаційна система, в якій, в тому числі, відсутня можливість точного

планування необхідної кількості ЛБ при поточному плануванні, окрім того, для подальшого розвитку СИГНАЛ-Л необхідно розширювати взаємозв'язок з автоматизованою системою управління локомотивним парком АСУТ.

Створення на залізницях Російської Федерації єдиного диспетчерського центру управління перевезеннями [109] дозволило виконувати планування роботи локомотивних бригад на 2-4 доби вперед (за рахунок моделювання моментів готовності поїздів до відправлення кожного напрямку) на основі розроблених таблиць варіантного прикріплення бригад по кожному депо. Число явок розраховується як мінімальна потреба бригад при даному поїздопотоці; решта ЛБ працює по визивній системі. Створення на залізниці єдиного диспетчерського центру управління перевезеннями дозволило, в тому числі, оперативно контролювати забезпечення балансу локомотивів на полігоні та своєчасне повернення їх в пункти масового зародження поїздопотоків, виключивши простой сформованих составів в очікуванні локомотивів. Планування обміну поїздів по кожному пункту зміни локомотивних бригад виконується з урахуванням появи поїздів та їх добового просування. При попередньому плануванні балансу локомотивів по стиках пропонується використовувати дані про фактичний простій вагонів на технічних станціях. Дані про обмін поїздами по стиках по періодах доби дають баланс локомотивів по пунктах їх обороту в цілому. Для виключення непродуктивного простою поїздів через нерівномірність їх підходу протягом доби для частини поїздів змінюється станція обміну електровозів.

Велике значення на точність прогнозу відправлення поїздів зі станцій має дотримання норм графіку руху. Так, в [110] відмічено, що при створенні математичних моделей керованого технологічного процесу необхідно враховувати параметри процесу поїздоутворення на сортувальних та вантажних станціях, просування поїздів, технічного обслуговування локомотивів тощо. Так, на Придніпровській залізниці через велику кількість локомотивів (більше 75%), що працюють не за стабільним графіком поточне планування можливе лише на відносно невеликий період. Проаналізовано час простою поїздів в очікуванні локомотивів та простою локомотивів в очікуванні поїздів на ряді станцій Придніпровської залізниці. При ідентифікації закону розподілу часу простою було визначено, що щільність цих розподілів підпорядкована закону Вейбулла-Гнеденка.

Проведений в [111] аналіз експлуатації АРМів локомотивного депо, що використовуються на залізницях України, показав необхідність полегшення процесу введення інформації, прискорення її обробки, збільшення швидкості отримання оперативних даних, а також зроблено висновки про необхідність поширення удосконалених АРМів. В роботах [112, 113] відмічено недосконалість існуючих АРМів працівників локомотивних депо, в тому числі АРМів диспетчерського апарату дирекції та залізниць (в частині функцій, що стосується експлуатації локомотивів та планування роботи ЛБ). Одним з напрямків створення автоматизованої системи управління локомотивним господарством УЗ (АСУ Т) на підприємствах локомотивного господарства усіх рівнів є можливість виконання оперативного аналізу

інформації та підтримки прийняття рішень з планування та управління. Відзначена необхідність використання інтегральних економічних показників. Автори роботи [114] відмічають, що розробка першого етапу формування електронного маршруту машиніста (ЕММ) на підставі даних, які зберігаються в оперативних динамічних моделях АСУ Т системи АСК ВП УЗ-Є, дає можливість створити повноцінну інформаційну модель АСУ Т.

Як зазначалось раніше, одним з напрямків підвищення ефективності планування роботи локомотивного парку є застосування навігаційних систем. З 2012 року Укрзалізниця розпочала оснащення локомотивів вантажного парку GPS-навігаторами [115], що дає змогу визначити положення локомотива, його виконану роботу тощо. Проте, окрім визначення місцезнаходження локомотивів, необхідно створити програмний комплекс для підтримки прийняття оперативних рішень диспетчерським персоналом на основі даних навігаційного обладнання. Так, в роботі [102] запропоновано поетапне створення комплексної програми автоматизованої системи керування АСК «Навігація та керування», яка призначена для передачі інформації про місце розташування локомотива, параметри його руху, для контролю і керування потоками рухомого складу. Для контролю положення локомотивів запропонована нова диспетчерська система АСК «Диспетчер», яка дозволить планувати роботу локомотивів та локомотивних бригад, аналізувати поїзне становище, визначати місцезнаходження локомотива, а також виконувати прогноз положення локомотива за заданою швидкістю. В роботі [103] запропонована модель системи підтримки прийняття рішень для диспетчера, яка дозволяє на основі даних GPS-навігаторів складати план пропуску поїздів на 3-4 години вперед з подальшим його коригування. В процесі функціонування модель повинна аналізувати варіанти прокладки поїздів і знаходити оптимальну нитку графіку, яка буде сприяти дотриманню нормативного графіку руху поїздів.

Як вказано в роботі [104], інтеграція систем АСК ВП УЗ-Є, АСК «Навігація – інформація - керування» та комплексної системи автоматизованого управління КСАУ «Стріла - 10» (система автоматизації процесів контролю та керування рухом, діагностування апаратури управління та напольного обладнання) окрім традиційного керування рухом поїздів, дозволить вирішити додатковий ряд задач: автоматичне оповіщення про наближення рухомого складу працівників станцій, ремонтних бригад, пасажирів, автоматичне складання графіка виконаного руху, а також підвищення безпеки руху поїздів тощо. Автори відмічають, що запропонований апаратно-програмний комплекс включає в себе інформаційно-керуючі процеси та потоки даних на всіх рівнях: залізниць, диспетчерських центрів, систем управління технологічними процесами на станціях та перегонах, систем діагностики та телекомунікаційних систем.

Для забезпечення контролю за працездатністю обладнання систем супутникової навігації та переміщенням локомотивів розроблене нове програмне забезпечення АРМ «Навігація ТРС» [105], яке реалізоване на веб сторінці єдиного корпоративного порталу УЗ з можливістю взаємодії з сис

темою АСК ВП УЗ-Є.

Слід зазначити, що для ефективного функціонування цих програмних комплексів та повного використання їх можливостей слід обладнати системами супутникової навігації всі одиниці тягового рухомого складу. Також треба відмітити, що наукові доробки, запропоновані в роботах [102, 103] наразі знаходяться на стадії розроблення програмних комплексів, а результатів використання програмного забезпечення для оперативного планування роботи залізничного транспорту України, запропонованих в [104, 105] на даний момент немає.

Використання навігаційного обладнання розповсюджується також і за кордоном. Так, наприклад, в США з 2015 року впроваджується використання Positive train control (PTC) [116], до інфраструктури якої входять навігаційне обладнання в локомотиві, напольне обладнання з сигналами, датчики визначення місцезнаходження поїзда, а також центр контролю. PTC призначена для відображення в кабіні машиніста в реальному масштабі часу інформації про показання світлофорів, обмеження швидкості та місця проведення ремонтних робіт. Система PTC буде забезпечувати безпеку руху поїздів, контроль місцезнаходження рухомого складу, що, в свою чергу, дасть можливість розробити більш достовірний оперативний план роботи залізничного транспорту. На теренах Російської федерації запропоновано використовувати дані поточної дислокації рухомих одиниць для імітаційного моделювання поїзних та маневрових пересувань в інтелектуальних станційних системах оперативного керівництва [117].

Китайські науковці [118] план роботи локомотивного парку при довгостроковому плануванні пропонують складати на основі графіку руху поїздів, що, в свою чергу, залежить від плану формування поїздів (можливих обсягів перевезень). При цьому, план роботи локомотивів та локомотивних бригад при короткостроковому плануванні залежить від поточних заявок на перевезення та коригується в оперативному режимі.

В умовах зношеності рухомого складу та дефіциту вантажних локомотивів, значної нерівномірності перевезень, а також з урахуванням сучасних жорстких вимог до строків доставки вантажів перспективним напрямком удосконалення процесу перевезень є створення адаптивної системи оперативного управління роботою локомотивного парку. Дана система повинна вирішувати широкий комплекс задач, пов'язаних з оперативним плануванням роботи локомотивів та локомотивних бригад, в тому числі, здійснювати розрахунок моменту явки бригад в залежності від підходів поїздів до станції, поїзного становища безпосередньо на станції формування і відправлення поїздів, а також планування прикріплення локомотивів до поїздів на 3-4 години вперед з урахуванням наявності локомотивів в поїздах на підходах до станції та у локомотивних депо.

1.5 Аналіз сучасного стану локомотивного господарства України

Станом на 01.10.2013 р. у підпорядкуванні Головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці (УЗ) є 49 основних, 40 оборотних

та 3 ремонтні підприємства [119], які виконують наступні види робіт:

- перевезення вантажу та пасажирів локомотивами в межах дільниць обслуговування;
- екіпірування локомотивів;
- виконання поточного ремонту ПР-1, ПР-2, ПР-3;
- виконання технічного обслуговування ТО-2, ТО-3.

Станом на кінець 2014 року (див рис. 1.1) парк локомотивів Укрзалізниці склав: 1720 електровозів та 2152 тепловозів.

Згідно з [120] зношеність парку електровозів при нормативному терміну служби 30 років складає 90,3%, зношеність парку магістральних тепловозів при нормативному терміну служби 20 років – 99% , при цьому, середній вік електровозів становить 36 років, тепловозів – 31 рік (див. рис. 1.2).

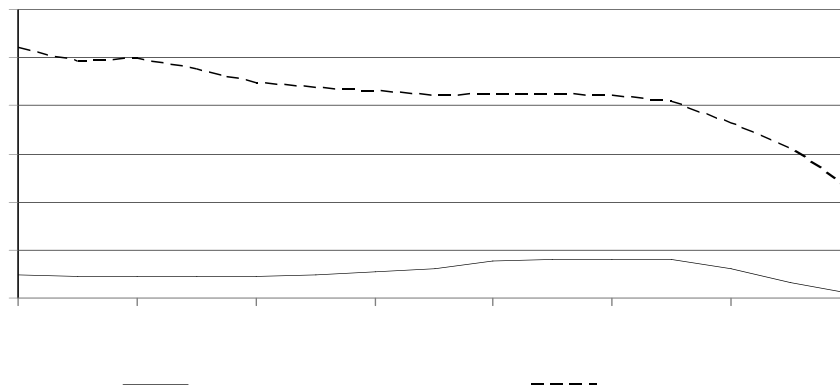


Рисунок 1.1 Динаміка зміни парку локомотивів протягом 2000-2014 рр.

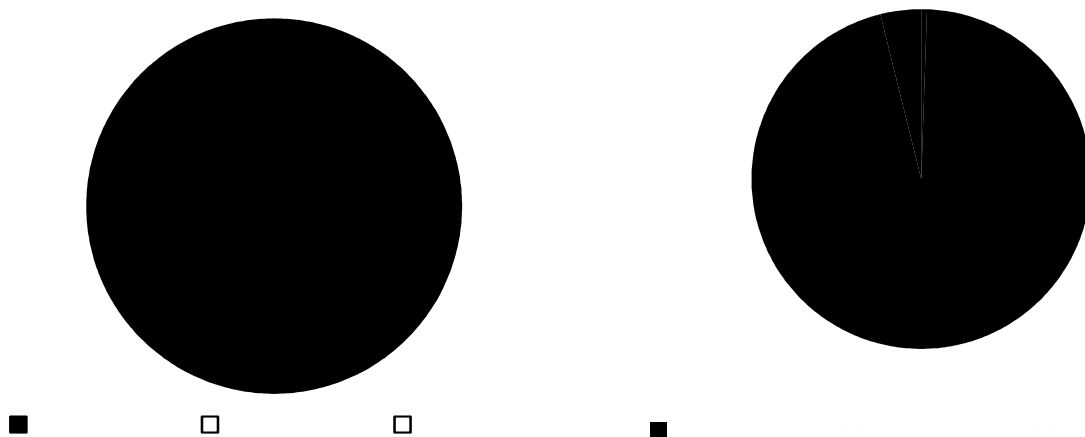


Рисунок 1.2 Віковий стан локомотивів:

а) електровозів; б) магістральних тепловозів

Питання оновлення локомотивного парку наразі постає дуже гостро, проте темпи його оновлення вкрай низькі. Так, наприклад, протягом 2008-2013 рр. придбано лише 58 локомотивів; в тому числі, слід відмітити невиконання Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки [121].

Слід зазначити, що технічний стан локомотивів впливає не лише на вартість утримання та ремонту тягового рухомого складу, але й на термін

доставки вантажів, оскільки через нестачу або несправність локомотива, готовий до відправлення состав може простоювати в очікуванні подачі тягового рухомого складу; при цьому, тривалість очікування готовими до відправлення составами поїзних локомотивів може сягати 1,5 год.

Як свідчить практика, фактичні темпи оновлення локомотивного парку суттєво відстають від запланованих обсягів закупівлі та темпів фізичного та морального зношення тягового рухомого складу, тож наразі найбільш перспективним напрямком підвищення ефективності функціонування локомотивів та локомотивних бригад є удосконалення методів оперативного управління наявним парком вантажних локомотивів. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є розроблення концепції адаптивної системи оперативного управління роботою локомотивним парком [122].

1.6 Постановка задачі дослідження. Структура, послідовність та методи їх розв'язання

Як показують дослідження, від 35% до 45% загальної величини обігу вагона складають простої на технічних станціях. Окрім того, найбільший вплив на величину обороту вагона (близько 61%) має саме простій на технічних станціях. За роки незалежності середній простій вагонів на одній технічній станції збільшився з 5,3 год. в 1992 р до 10,11 год. в 2014 р, тобто майже удвічі. У зв'язку з цим, задача зниження простоїв на технічних, і, в першу чергу, сортувальних, станціях завжди була досить актуальною і вимагала ефективних методів вирішення.

Тривалість знаходження вагонів на технічних станціях включає час на виконання власне технологічних операцій і час очікування виконання цих операцій. Для скорочення тривалості перебування вагонів на технічних станціях, в першу чергу, необхідно зменшити непродуктивні простої в очікуванні операцій за рахунок удосконалення технології роботи станцій і дільниць. Одним з таких непродуктивних елементів простою, який має істотний вплив на загальний час знаходження вагонів на технічних станціях, є очікування готовими до відправлення составами вантажних поїздів подачі поїзних локомотивів у приймально-відправних парках.

Таким чином, об'єктом досліджень є процес експлуатації парку вантажних локомотивів на залізничних напрямках.

Предметом досліджень є взаємозв'язки між системою організації експлуатації локомотивного парку та показниками ефективності вантажних перевезень на залізничних напрямках.

Регулювання роботи локомотивного парку на будь-якій залізничній дільниці або напрямку не можна розглядати як самостійний процес, оскільки на якість його функціонування впливає, в тому числі, ритмічність роботи технічних станцій. Оскільки залізничний напрямок являє собою складну динамічну систему, то для удосконалення його роботи доцільно використати системний підхід, одним з основних принципів якого є принцип ієрархічності (рис. 1.3).

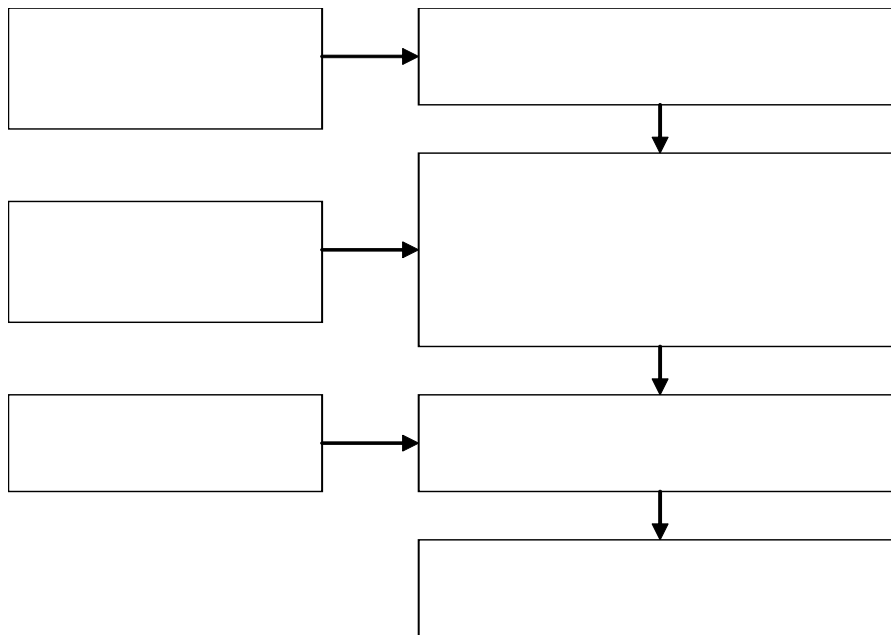


Рисунок 1.3 Ієрархічна структура залізничного напрямку

На мікрорівні об'єктами дослідження є поїзд, локомотив та бригада. Задачею дослідження є розрахунок моментів прибуття поїздів на технічні станції з урахуванням всіх факторів, що впливають на тривалість руху між суміжними технічними станціями на ділянці. Для вирішення задачі мікрорівня може бути застосований сучасний та ефективний математичний апарат прогнозування - нейронні мережі.

Математичні моделі поїзда, локомотива, бригади необхідні для створення та функціонування моделей роботи технічної станції та локомотивного депо на макрорівні. При створенні моделі роботи технічної станції об'єктом дослідження є процес формування з урахуванням тривалості всіх існуючих технологічних процесів та очікування виконання цих операцій. При розробці моделі роботи локомотивного депо об'єктами дослідження є процеси підготовки локомотивів та бригад до поїзної роботи. При цьому, задачею дослідження є розрахунок прогнозних моментів готовності составів, локомотивів та бригад до відправлення з технічних станцій. Для вирішення задачі макрорівня використовується імітаційне моделювання роботи технічної станції.

Процес прикріплення локомотивів та бригад до составів вантажних поїздів на технічних станціях залізничного напрямку в цілому є об'єктом дослідження на метарівні. Задачею дослідження є оптимізація роботи локомотивного парку за рахунок створення адекватної моделі роботи залізничного напрямку. Для вирішення цієї задачі обрані методи багатокритеріального лінійного програмування.

В дослідженні залізничний напрямок розглядається як складна система, на ефективність функціонування якої впливає багато факторів. Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування локомотивного парку за рахунок удосконалення оперативного планування його роботи. Мета дослідження досягається за рахунок використання системного аналізу при формуванні завдань дослідження та при виборі методів їх рішення.

Залізничний напрямок – складна система, стан якої змінюється в часі; характер зміни станів напрямку – стохастичний. Поведінка системи формується під впливом сил системи управління. При цьому, одним із елементів системи управління є оперативно-диспетчерський персонал. Тобто, залізничний напрямок є ергатичною системою. Характеристика залізничного напрямку як системи наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Характеристика залізничного напрямку як системи

Класифікаційна ознака	Клас системи
Природа елементів	Реальна
Походження	Штучна
Мінливість властивостей	Динамічна
Передбачуваність станів	Стохастична
Характер поведінки	З управлінням
Ступінь складності	Складна
Ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем	Відкрита
Ступінь участі людини у реалізації керуючих впливів	Ергатична

Метою дослідження є зменшення витрат, пов'язаних з непродуктивним простоєм локомотивів, локомотивних бригад, составів поїздів на технічних станціях за рахунок удосконалення системи планування роботи локомотивного парку на залізничних напрямках. Поставлена мета досягається в результаті вирішення наступних завдань:

- аналіз проблеми удосконалення роботи локомотивного парку;
- аналіз сучасних умов функціонування парку вантажних локомотивів;
- дослідження процесу руху поїздів між технічними станціями;
- розроблення адаптивної математичної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку;
- розроблення методики прогнозування прибуття поїздів на технічні станції та перевірка її адекватності;
- удосконалення імітаційної моделі технічної станції для прогнозування моментів готовності локомотивів та локомотивних бригад до відправлення;
- розроблення процедури оперативного планування роботи локомотивного парку на залізничному напрямку;
- оцінка ефективності розробленої процедури оперативного планування роботи локомотивного парку.

Структуру завдань і використаних для їх розв'язання методів дослідження наведено на рис. 1.4.

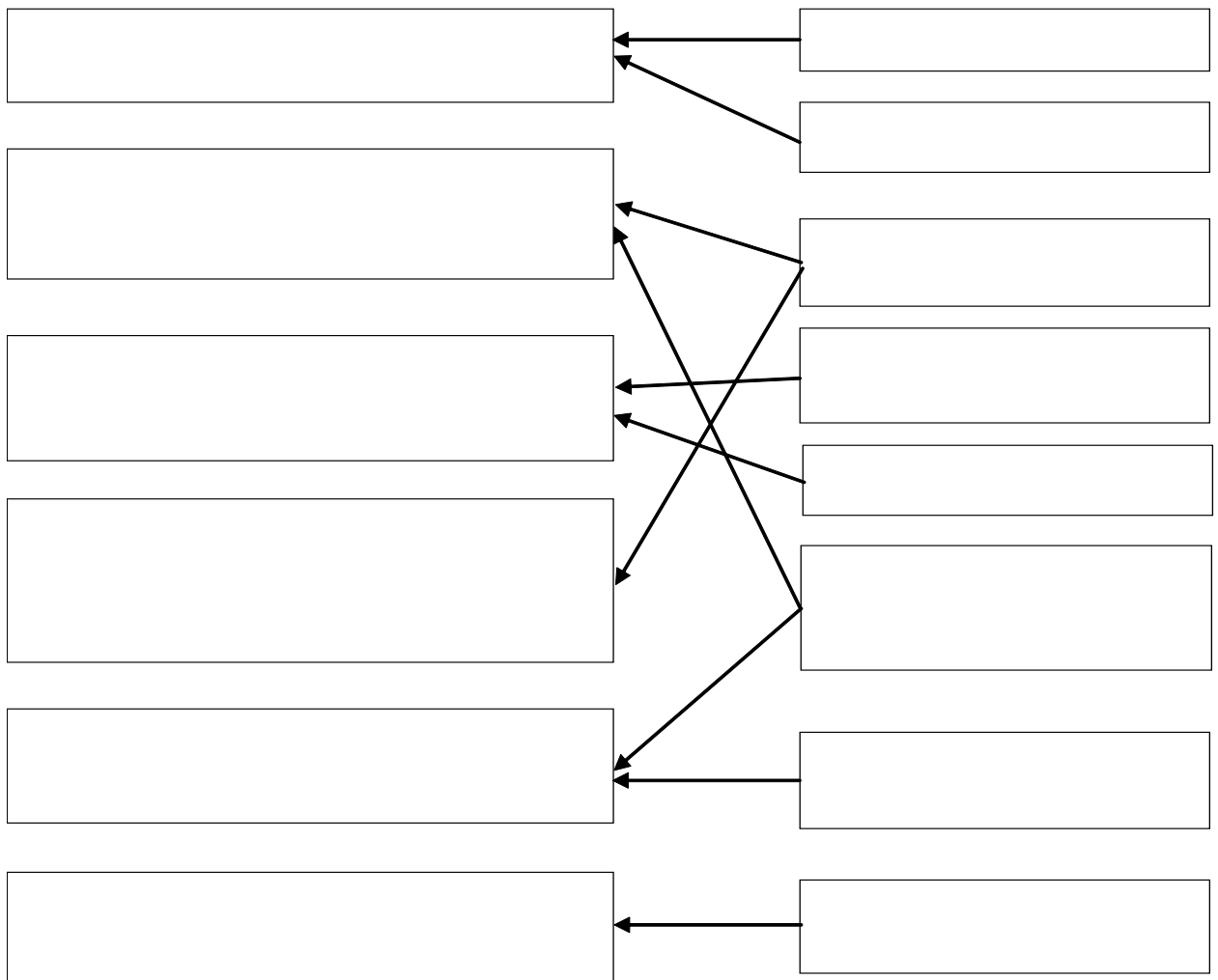


Рисунок 1.4 Завдання дослідження та методи їх розв'язання

Дослідження, пов'язані з вирішенням поставленої задачі, а також апробація отриманих результатів, виконані для залізничного напрямку П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І, техніко-експлуатаційна характеристика якого наведена в Додатку Б.

1.7 Висновки по розділу 1

1. Аналіз методів планування роботи локомотивного парку показав, що на якість роботи локомотивів та бригад впливає, як система організації руху вантажних поїздів, так і достовірність прогнозування обсягів руху поїздів та тривалості руху між станціями. Враховуючи сучасні вимоги до організації перевізного процесу та існуючу систему пропуску поїздів, актуальною є задача створення адаптивних систем оперативного керування роботою локомотивного парку.
2. Дослідження наукових праць, присвячених розробленню моделей функціонування технічних станцій, виявив різноманіття методик формалізації технологічних процесів, методів моделювання процесу роботи станцій та програмних засобів, що використовуються для моделювання.
3. Аналіз розроблених методик прогнозування тривалості руху вантажних поїздів показав, що дана задача є досить складною, оскільки на цю величину впливають багато факторів – від маси поїзда до погодних умов. Тому, необхідно визначити конкретні фактори та ступінь їх впливу на тривалість руху поїздів та розробити адекватну модель прогнозування тривалості руху вантажних поїздів між станціями залізничного напрямку.
4. Дослідження впроваджених автоматизованих систем керування роботою локомотивного парку виявив недоліки існуючих АРМів працівників депо та АСК в частині планування роботи локомотивів та бригад. Тому, пропонується створення адаптивної системи оперативного управління роботою локомотивного парку для оперативного планування роботи локомотивів та локомотивних бригад, в тому числі, розрахунку часу явки бригад в залежності від підходів поїздів до станції, поїзного становища безпосередньо на станції формування і відправлення поїздів.
5. У зв'язку з незадовільним технічним станом парку вантажних локомотивів та вкрай низькими темпами його оновлення, найбільш перспективним напрямком підвищення ефективності функціонування локомотивів та локомотивних бригад є удосконалення методів оперативного керування наявним парком вантажних локомотивів з використанням адаптивної системи оперативного управління роботою локомотивним.
6. Розроблено ієрархічну структуру залізничного напрямку та визначені об'єкти, задачі та методи досліджень на кожному рівні. Використовуючи системний підхід, наведені характеристики напрямку як системи.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УМОВ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

2.1 Аналіз існуючої системи організації роботи локомотивів та локомотивних бригад

2.1.1 Нормативне забезпечення планування роботи локомотивного парку

В даний час технологія управління локомотивним парком в Україні регламентується рядом нормативних документів [123-126]. Згідно з Інструкцією з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України № ЦД-00-52 [123], оперативне планування поїзної і вантажної роботи передбачає розробку добових і змінних планів роботи Укрзалізниці, залізниць, дирекцій залізничних перевезень (далі дирекцій) і станцій.

Для прикладу на рис. 2.1 наведений порядок розробки оперативного плану роботи локомотивного господарства станції. Слід зазначити, що оперативний план роботи дирекцій та станцій розробляється аналогічно порядку, наведеному на рис. 2.1.

Вихідними даними для складання оперативного плану на всіх рівнях є:

- норми технічного плану;
- графік руху і план формування поїздів;
- технологічні норми на обробку поїздів, вагонів і вантажних операцій;
- оперативна інформація про поїзну і вантажну роботу і наявність вагонних парків;
- спеціальні завдання Укрзалізниці;
- поточне поїзне положення;
- заявки вантажовідправників на подачу вагонів під навантаження;
- план маршрутизації;
- інформація із сусідніх залізниць, дирекцій і станцій про підхід поїздів і вагонів, а також про передбачувану передачу поїздів і вагонів по стиках;
- прогнози економічно обґрунтованих варіантів та показників роботи на заплановану добу, отриманих із інформаційних систем.

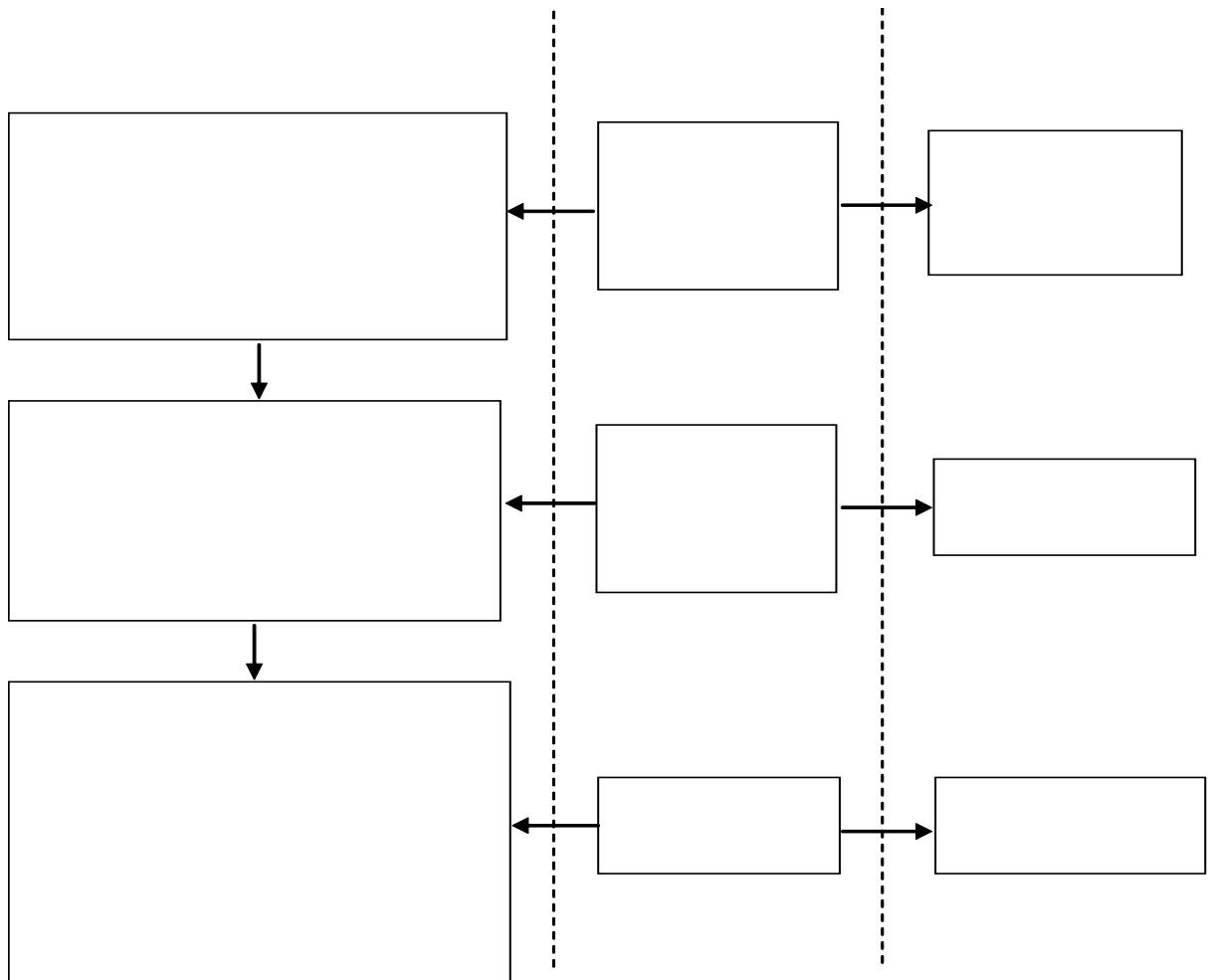


Рисунок 2.1 Порядок оперативного планування роботи локомотивного господарства станції

2.1.2 Планування необхідної кількості локомотивів при оперативному плануванні поїзної та вантажної роботи

План регулювання локомотивного парку розробляється відділом перевезень у тих випадках, якщо дільниця обертання локомотивів повністю розміщується в межах дирекції. На дільницях обертання локомотивів великої протяжності в межах декількох дирекцій план розробляється службою перевезень залізниці. При цьому порядок визначення у змінно-добовому плані дирекції потрібного парку локомотивів і локомотивних бригад зводиться до наступного.

Експлуатований локомотивний парк вантажного руху по основних депо і дільницях обертання встановлюється, виходячи із повного забезпечення поїзної і місцевої роботи. Наразі експлуатований парк локомотивів на добу розраховується за коефіцієнтами потреби локомотивів на пару поїздів на дільницях обертання [127]:

$$n = \sum_{i=1}^m \frac{K_i}{n_i} \quad (2.1)$$

де K_i - коефіцієнт потреби локомотивів;
 n_i - кількість пар поїздів на дільниці.

Коефіцієнт потреби локомотивів визначається в дирекції залізничних перевезень та характеризує кількість локомотивів, необхідних для обслуговування однієї пари поїздів на деякій дільниці, та розраховується як

$$K_i = \frac{N_i}{n_i} \quad (2.2)$$

де θ - оборот локомотива, який визначається як

(2.3)

де l – довжина ділянки;

v_d – дільнична швидкість;

Σt_{36} – загальний простій локомотива на станціях зміни локомотивних бригад всередині ділянки обертання;

$t_{об}$, $t_{ос}$ – відповідно простій локомотива на станціях оборотного та основного депо.

Загальний експлуатований парк локомотивів визначається як сума потреби локомотивів на всіх дільницях обертання:

(2.4)

де k_i – коефіцієнт потреби локомотивів на i -й дільниці;

n_i – кількість пар поїздів на i -й дільниці.

Для прикладу, в додатку В наведено розрахунок експлуатованого парку локомотивів та необхідної кількості локомотивних бригад на дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки.

В добових планах завдання на регулювання локомотивним парком встановлюється на половину доби, а у необхідних випадках по 6-годинних періодах, виходячи із очікуваного виконання розмірів руху в поточну добу або у половину доби й плану на наступну добу.

Порядок визначення у змінно-добовому плані залізниці та Укрзалізниці потрібного парку локомотивів і локомотивних бригад аналогічний порядку, наведеного для дирекцій залізничних перевезень.

При цьому аналізується виконання наступних показників роботи локомотивного парку змінно-добового плану роботи Укрзалізниці (залізниці):

–експлуатований парк локомотивів на УЗ (залізниці) і на подовжених дільницях обертання;

–кількість локомотивів, що відправляються резервом на інші залізниці, а також тих , що пересилаються між дільницями обертання;

–ремонтний парк локомотивів, дата і час повернення локомотивів за виділеними депо приписки для виконання ремонтів.

2.1.3 Організація роботи та облік робочого часу локомотивних бригад

Згідно з [124] робота локомотивних бригад організується, як правило, за іменними графіками або за безвикликовою системою. Решта бригад, а також у випадках порушення роботи за графіками, призначаються на роботу за викликом. Способи виклику бригад встановлюються правилами внутрішнього трудового розпорядку. Локомотивні бригади для поїздів, запланованих до відправлення на нитки, що не ввійшли в іменні графіки і не охопленні системою без виклику, викликаються на кожну нитку. Час виклику встановлюється на кожний очікуваний (наступний) 4- і 6-годинний період.

Число явок локомотивних бригад у пунктах їх приписки повинно відповідати запланованим розмірам руху поїздів на дільницях і пересилці локомотивів резервом. Час явки локомотивних бригад, що працюють за розкладами або на основі системи без виклику, визначається за стійкими нитками графіка, які встановлюються за даними статистичного аналізу фактично виконаних розмірів руху з врахуванням сезонних і щодобових коливань вагонопотоків.

По кожному пункту явки локомотивних бригад начальником дирекції залізничних перевезень по узгодженню з районними профспілковими організаціями і з урахуванням пропозицій локомотивних бригад повинна бути встановлена межа допустимого часу знаходження бригади на роботі з моменту явки, по закінченні якого забороняється відправлення її в поїздку.

Час прямування працівників локомотивних бригад від місця постійної роботи до пункту (станції), призначеному для прийому локомотива (поїзда), а також час повернення до місця постійної роботи після здачі локомотива (поїзда), якщо вони не прийняті на цих пунктах на постійну роботу, включається в робочий час, а в тривалість безперервної роботи не входить.

Тривалість безперервної роботи локомотивних бригад більше 7 годин, але не більше 12 годин, встановлюється за згодою колективів локомотивних бригад начальником залізниці та профспілковими організаціями на рівні залізниць. Робота з подвійним обігом локомотивних бригад з поїздом повз основний пункт (основне депо, пункт зміни локомотивних бригад за місцем проживання), а також зміни режиму роботи в період дії графіка, вводяться за таким самим порядком. Тривалість безперервної роботи встановлюється в залежності від графіку руху поїздів і варіантних графіків, що розробляються в зв'язку з наданням «вікон» в межах встановлених плечей обслуговування у всіх видах руху з урахуванням витрат робочого часу.

Працівникам локомотивних бригад в основному пункті (основне депо, пункт зміни локомотивних бригад за місцем проживання членів бригади і т.п.) відпочинок надається після кожної поїздки в обидва кінці. Тривалість цього відпочинку визначається таким чином [124]:

$$T_{\text{відп}} = t_{\text{п}} K - t_{\text{відп}}^{\text{п}}, \quad (2.5)$$

де $t_{\text{п}}$ – час, зарахований за поїздку в обидва кінці, год;

K – коефіцієнт, який характеризує відношення кількості годин відпочинку у робочі дні до кількості годин роботи (для локомотивних бригад $K=2,6$) [124];

$t_{\text{відп}}^{\text{п}}$ – тривалість відпочинку в пункті зміни локомотивних бригад за час поїздки, год.

Крім відпочинку в основному пункті, працівникам локомотивних бригад надається відпочинок в пункті зміни, коли час безперервної роботи в обидва кінці не вкладається у встановлену тривалість безперервної роботи. Тривалість цього відпочинку (не більше одного за поїздку) повинна бути не менше половини часу попередньої роботи і, як правило, не повинна бути більше часу роботи з моменту явки в основному пункті до здачі локомотива в основному пункті або в пункті обороту.

Мінімальний скорочений час відпочинку в пунктах обороту може встановлюватися у випадку згоди колективу локомотивних бригад, але не менше ніж 3 години.

Начальниками дирекцій, у випадку згоди колективів локомотивних бригад, може збільшуватись мінімальна тривалість відпочинку в пунктах обороту.

Час відпочинку локомотивних бригад в пунктах обороту більше половини часу попередньої роботи і у всіх випадках більше 6 годин, вважається робочим часом, який у безперервну тривалість робочого часу локомотивних бригад не включається і при підрахунку позанормових годин не враховується.

2.1.4 Складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад

Порядок складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад наразі регламентується [125]. Розглянемо основні положення щодо існуючого порядку складання графіку обороту локомотивів та роботи локомотивних бригад.

1. Вихідними даними для складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад є:

- графік руху поїздів;
- схеми обертання локомотивів і роботи локомотивних бригад;
- норми знаходження локомотивів і локомотивних бригад на технічних станціях;
- періодичність заходу локомотивів на технічне обслуговування ТО-2 та екіпірування по пунктах обороту і перечеплення.

2. Методика складання графіку обороту локомотива залежить як від типу графіку вантажних поїздів на напрямку, так і від кількості поїздів в парному та непарному напрямках (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 Умови вибору методики складання графіку обороту локомотива

Графік обороту локомотивів при відправленні поїздів за рівноправними розкладами базується на методі роздільного прикріплення локомотивів по кожній станції обороту.

Прикріплення локомотивів до поїздів на станціях обороту здійснюється таким чином:

– при парному русі на дільниці, що примикає до пункту обороту, локомотив від першого поїзда, який прибув у добу, що розглядається, прикріплюється до найближчого зворотного поїзда через інтервал часу, який достатній для проведення усіх технологічних операцій (задана технологічна норма). За таким принципом (перший прибув – перший відправився) прикріплюються послідовно усі локомотиви, що прибувають;

– при непарному русі, коли на станцію обороту прибуває більше поїздів, ніж відправляється в зворотному напрямку, прикріплення локомотивів починається із забезпечення останнього поїзда, який відправляється у зворотному напрямку у добу, що розглядається; до нього прикріплюється перший локомотив, який прибув напередодні, з дотриманням технологічної норми часу. Ті локомотиви, які не були прикріплені до поїздів, відправляються резервом на станцію основного депо;

–при непарному русі, коли на станцію обороту прибуває менше поїздів, ніж відправляється у зворотному напрямку, прикріплення починається як при парному русі з початку доби: прикріплюються усі локомотиви, що прибули з поїздами. Зворотні поїзди, що залишились без локомотивів, забезпечуються локомотивами, які підсиляються резервом з поїздами з таким розрахунком, щоб у цих локомотивів в пункті обороту витримувалась технологічна норма простою;

–прикріплення локомотивів до поїздів на станціях перечеплення, розташованих всередині дільниці обертання, здійснюється за принципом “перший прибув – перший відправився”: локомотив від першого поїзда, який прибув у розформування у добу, що розглядається, прикріплюється до поїзда свого формування, який відправляється зі станції першим у попутному або зустрічному напрямку. При цьому повинен дотримуватися відповідний технологічний норматив простою. За наявності двох поїздів обох напрямків локомотив повинен відправлятися у попутному напрямку. При недостатній кількості локомотивів на станцію підсиляються резервні тягові одиниці у напрямку загального резервного пробігу.

3. При виділенні у графіку руху поїздів стабільної частини (ядра) оборот локомотивів, що обслуговують це “ядро”, повинен розроблятися з виконанням таким умов:

- локомотиви прикріплюються однією групою по обслуговуванню тільки поїздів “ядра”;

- графік обороту розраховується на місяць, з урахуванням постановки локомотивів на усі види планових оглядів і ремонтів, з їх відповідною підміною;

- для забезпечення надійності виконання графіка обороту виконується обов’язкове резервування парку локомотивів.

4. Надійне обслуговування поїздів (“ядра”) на практиці забезпечується за наявності резерву парку дільниці обертання, якщо він не менше:

де $\bar{N}_{\text{ядр}}$ – середньозважені розміри руху поїздів, що охоплені ядром.
Резервна кількість локомотивів визначається за формулою: (2.6)

де $M_{\text{ядр}}$ – парк локомотивів, що призначений для обслуговування поїздів “ядра” без урахування резервування. (2.7)

На першому етапі слід розробити графік обороту локомотивів, що обслуговують поїзди “ядра” без урахування резервування, визначити величину парку локомотивів $M_{\text{ядр}}$, визначити резерв $R_{\text{ядр}}$, розділити його по станціях обороту і перечеплення пропорційно кількості цих операцій.

На другому етапі необхідно виконати прикріплення локомотивів по станціях обороту і перечеплення з урахуванням наявності резервних локомотивів.

Розроблений таким чином графік обороту локомотивів є технологічною основою оперативної роботи локомотивів, що обслуговують “ядро” поїздів (ТГЛЯ).

5. Для кожного пункту обороту локомотивних бригад складається графік їх роботи наступним чином:

Встановлюється час готовності бригад до відправлення по пункту їх обороту:

- 1 категорії (без відпочинку у пункті обороту):

$$t_{\text{гот}} t_{\text{п}} + t_{\text{техбр}}; \quad (2.8)$$

-2 категорії (з відпочинком у пункті обороту):

$$t_{\text{гот}} t_{\text{п}} + t_{\text{збр}} + 0,5 t_{\text{р}} + t_{\text{пбр}}, \quad (2.9)$$

де $t_{\text{п}}$ - момент прибуття поїзда, год;
 $t_{\text{техбр}}$ - тривалість підготовчо-заключної роботи бригад по пункту обороту, год;
 $t_{\text{збр}}$ - тривалість роботи бригади від моменту прибуття до здачі локомотива, год;
 $t_{\text{р}}$ - фактичний тривалість роботи локомотивної бригади на дільниці від явки на роботу по пункту їх приписки до моменту здачі локомотива в пункті обороту, год;
 $t_{\text{пбр}}$ - тривалість роботи бригади по пункту обороту від моменту явки бригади до відправлення з поїздом, год.

Маючи дані про моменти готовності бригад до відправлення по пункту їх обороту та час відправлення поїздів, можна виконати безпосереднє прикріплення бригад до поїздів. Так, у додатку В наведено розрахунок часу готовності локомотивних бригад різних категорій до відправлення по пункту їх обороту на прикладі дільниць НДВ - Синельникове-І та НДВ - П'ятихатки.

6.Складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад може бути здійснене з застосуванням обчислювальної техніки з використанням програмного забезпечення, розробленого на ГІОЦ Укрзалізниці, яке здійснює розрахунок показників використання локомотивів і роботи локомотивних бригад з видачею форм ЦДЛ-1 і ЦДЛ-2. Розрахунок здійснюється на основі розкладів руху поїздів з бази даних ГРП та незмінної інформації, наданої локомотивними службами залізниць (плечі обертання локомотивів та локомотивних бригад, нормативний час простою в депо обігу та накладний час для роботи локомотивних бригад та плечі обігу).

2.2 Проблеми оперативного планування роботи локомотивного парку

Одним з основних показників ефективності роботи залізниць є оборот вантажного вагону. Як відомо, цей показник включає в себе знаходження вагону в русі, під вантажними операціями та тривалість знаходження вагону на проміжних та технічних станціях. Як свідчать дослідження [9,128,129], досить суттєвий вплив (43%) на величину обороту вагона має саме тривалість знаходження вагона на технічних станціях (рис. 2.3).

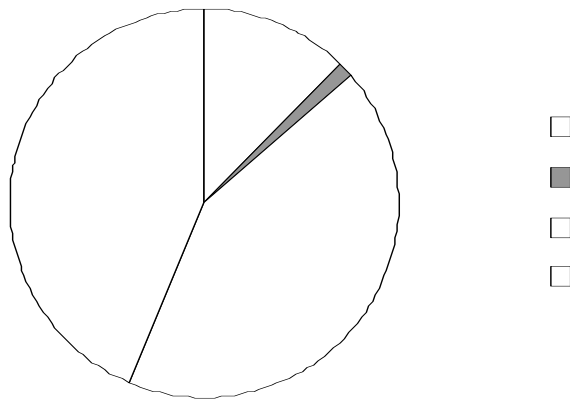


Рисунок 2.3 Структура обігу вантажного вагона

Тривалість знаходження вагонів на технічних станціях включає в себе тривалість виконання власне технологічних операцій і тривалість очікування виконання цих операцій. Для скорочення тривалості перебування вагонів на технічних станціях, в першу чергу, необхідно зменшити непродуктивні простої в очікуванні операцій за рахунок удосконалення технології роботи станцій і дільниць. Одним з таких непродуктивних елементів простою, які мають істотний вплив на загальний час знаходження вагонів на технічних станціях, є очікування готовими до відправлення складами подачі поїзних локомотивів в приймально-відправних парках. Так, в роботі [130] з використанням імітаційного моделювання і методів факторного аналізу були отримані аналітичні моделі, аналіз яких показав, що час знаходження вагонів на сортувальних станціях в цілому і в парках відправлення, зокрема, в значній мірі залежать від рівня забезпечення готових складів поїзними локомотивами.

Результати виконаних досліджень показують, що середній простій составів в очікуванні подачі поїзних локомотивів на деяких сортувальних станціях України перевищує 1,5 години, а в окремих випадках досягає трьох і більше годин, що свідчить про недостатньо ефективну систему забезпечення составів локомотивами [131]. Для прикладу, на рис. 2.4 наведені графіки зміни середньої тривалості очікування поїзних локомотивів на станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці за 9 років.

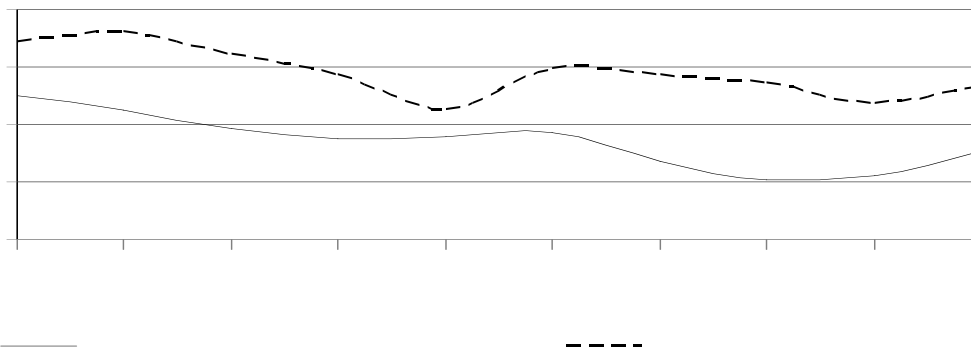


Рисунок 2.4. Динаміка зміни середньої тривалості очікування поїзного локомотива складами на станції Нижньодніпровськ-Вузол протягом 2006-2015 рр.

Як видно з рис.2.4, середня тривалість очікування поїзних локомотивів до 2014 р. має тенденцію до зниження, проте, не дивлячись на зниження обсягів перевезення вантажів протягом 2014-2015 рр., спостерігається зростання даного простоя, що можна пояснити значним зменшенням парку вантажних локомотивів з 2010 року (див. п. 1.5).

Аналіз показує, що частка тривалості очікування поїзного локомотива в загальній величині простою вагонів на сортувальних станціях становить 10...15% для транзитних вагонів з переробкою та 30...60% для транзитних вагонів без переробки. Слід також зазначити, що для багатьох сортувальних станцій України характерна тенденція, коли в абсолютних значеннях середня величина очікування поїзного локомотива складами змінюється в часі (по місяцях і роках) в досить широких межах, у той час як відносна величина даного показника в загальному простої вагонів на станції залишається практично постійною. Так, на рис. 2.5 наведені графіки зміни частки часу очікування поїзних локомотивів в загальному простої на станції Нижньодніпровськ – Вузол протягом 2006-2015 рр.

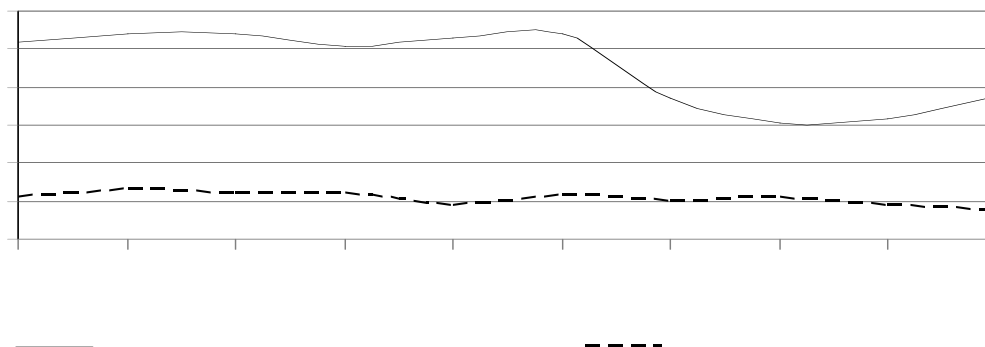


Рисунок 2.5. Динаміка зміни частки тривалості очікування поїзного локомотива в загальному простої вагонів на станції Нижньодніпровськ-Вузол протягом 2006-2015 рр.

Основними причинами наявності таких істотних непродуктивних простоїв составів в приймально-відправних парках станцій в очікуванні подачі поїзних локомотивів є, з одного боку, гостра нестача справного тягового рухомого складу на залізницях України, з іншого боку - неефективне управління наявним локомотивним парком.

Як зазначено вище, на тривалість знаходження вагона на технічних станціях істотний вплив має тривалість очікування поїзного локомотива. При цьому, причиною такої ситуації може бути: відсутність поїзного локомотива, або відсутність готової до поїзної роботи локомотивної бригади.

Аналіз роботи бригад показав, що існують випадки не тільки додаткового виклику локомотивних бригад, але й відміни їх поїздок. Так, для прикладу, в таблиці 2.1 наведені дані про річну кількість відправлених бригад з локомотивного депо станції Нижньодніпровськ-Вузол за 2011-2013 рр., кількість додаткових та відмінених поїздок бригад протягом років, а також кількість відправлених поїздів зі станції.

Таблиця 2.1 Річна кількість відправлених бригад та поїздів зі станції Нижньодніпровськ-Вузол за 2011-2013 рр.

Показник		Роки			Відхилення протягом років, +/-	
		2011	2012	2013	2011- 2012	2012- 2013
Відправлено бригад у поїздку		44599	38898	34552	-5701	-4346
в т.ч. додатково до плану	кількість бригад за рік	2314	1504	1959	-810	+455
	відносно до загальної кількості відправлених бригад, %	5,2	3,9	5,7	-	-
відмінено поїздок	кількість бригад за рік	647	781	57	+134	-724
	відносно до загальної кількості відправлених бригад, %	1,5	2,0	0,2	-	-
Кількість відправлених поїздів		41290	36836	34133	-4454	-2703

Аналіз даних табл. 2.1 показує, що протягом трьох років річна кількість відправлених бригад зменшилась майже на 10 000 бригад. Це відбувається внаслідок того, що за аналогічний період відправлено майже на 7000 поїздів менше. Незважаючи на зменшення загальної кількості відправлених бригад частка бригад, викликаних додатково до плану, у 2013 році збільшилась на 0,5% в порівнянні з 2011 р. і склала 5,7% проти 5,2% у 2011 р. При цьому суттєво зменшилась кількість відмінених поїздок локомотивних бригад протягом 2013 року, що можна пояснити зменшенням поїздопотоків. Тож, можна зробити висновок, що кількість бригад, які викликаються додатково до плану або, поїздки яких відмінюються, залежить не стільки від кількості відправлених зі станції поїздів, а від нерівномірності руху вантажних поїздів та від якості оперативного планування роботи локомотивних бригад.

Також слід зазначити, що на деяких ділянках час в русі протягом поїздки складає трохи більше половини робочого часу. Так, для прикладу, на рис. 2.6 наведено розподіл робочого часу локомотивних бригад, які працюють на напрямках Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки (рис. 2.6, а) та Нижньодніпровськ-Вузол - Ясинувата (рис. 2.6, б) за 2013 р.

а)

б)

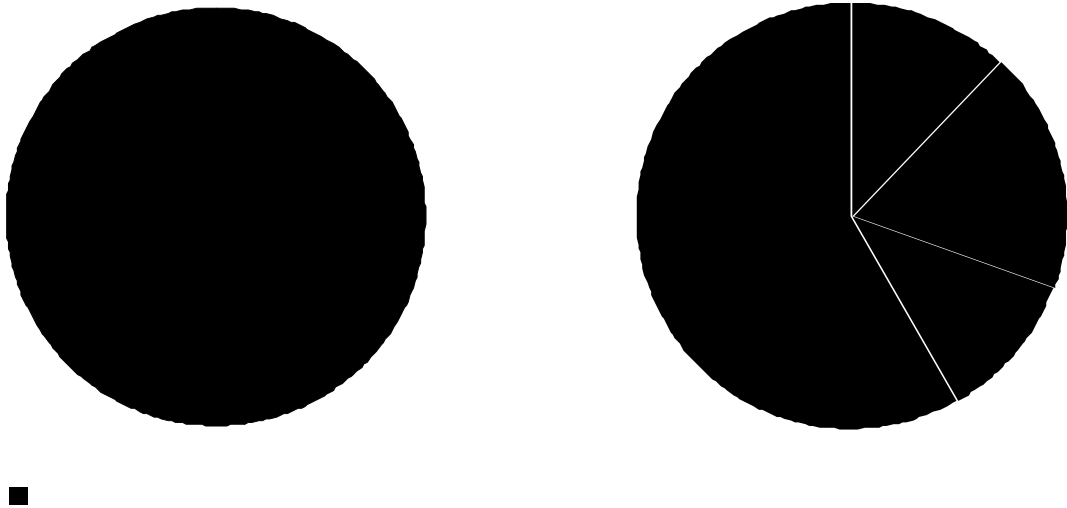


Рисунок 2.6 Розподіл робочого часу локомотивних бригад депо станції Нижньодніпровськ-Вузол за 2013 р. протягом поїздки по напрямку станцій: а) П'ятихатки; б) Ясинувата.

Як видно з рис. 2.6, час знаходження бригади в русі не перевищує 60% від загальної тривалості робочого часу, стоянки на проміжних станціях складають в середньому 10%, решту часу становить знаходження в основному та оборотному депо, де бригада зайнята операціями по прийманню/здачі локомотива. Звідси можна зробити висновок про те, що існує певний резерв часу роботи бригади, за рахунок якого можна, наприклад, подовжити плечі обертання локомотивних бригад.

В результаті аналізу роботи сортувальної станції Нижньодніпропетровськ-Вузол Придніпровської залізниці, були виявлені випадки очікування локомотивними бригадами составів вантажних поїздів. Слід відзначити, що частка випадків очікування локомотивом з бригадою готовності состава складає 6,6% від загальної кількості відправлених поїздів зі станції.

Статистичний аналіз даної випадкової величини дозволив визначити, що вона розподілена за логарифмічно-нормальним законом з параметрами: математичне очікування - $M[t_{оч}] = 36$ хв, середньоквадратичне відхилення - $\sigma[t_{оч}] = 20$ хв. Так, на рис. 2.7 наведені гістограма та функція розподілу випадкової величини тривалості очікування готовності состава на станції Нижньодніпропетровськ-Вузол.

Рисунок 2.7 Гістограма та функція розподілу випадкової величини тривалості очікування готовності состава на станції Нижньодніпропетровськ-Вузол.

Отже, основними причинами існуючих недоліків в роботі локомотивного парку є :

- значний ступінь зношеності тягового рухомого складу, що впливає на своєчасність подачі справних локомотивів під готові до відправлення состави, що призводить до дефіциту тягових ресурсів;
- недосконала система оперативного планування роботи локомотивного парку, в тому числі локомотивних бригад, що призводить до виникнення та зростання тривалості очікування подачі поїзних локомотивів, а також впливає на кількість відмін та додаткових викликів локомотивних бригад.

Серед основних напрямків по усуненню вказаних недоліків є:

- оновлення та збільшення парку вантажних локомотивів;

— удосконалення технології управління роботою наявного парку.

Очевидно, що перший варіант потребує значних капітальних вкладень, тож, враховуючі поточну економічну ситуацію в країні в цілому та в Укрзалізниці зокрема, виділити достатній обсяг коштів на оновлення парку локомотивів наразі не представляється можливим. Окрім того, процес оновлення тягового рухомого складу, навіть за наявності фінансування, триватиме протягом декількох років. Разом з тим, були виявлені резерви по скороченню простою вагонів на технічних станціях, а також проблеми, пов'язані з плануванням роботи локомотивного парку, тому удосконалювати його роботу наразі доцільно при наявному технічному оснащенні.

Найбільш перспективним напрямком удосконалення роботи локомотивів та бригад при існуючому стані тягових одиниць є впровадження сучасних технологій для оперативного планування, основу якої повинні складати математичні моделі для прогнозування та складання оперативних планів роботи локомотивного парку.

2.3 Аналіз нерівномірності в роботі технічних станцій України

Основою вирішення задачі розроблення планів роботи локомотивного парку є прогноз прибуття поїздів на технічні станції. Слід зазначити, що в АСК ВП УЗ-Є можна отримати прогноз прибуття поїздів, але він не є досить точним, оскільки час прибуття поїздів розраховується на основі нормативної тривалості руху поїздів, що закладена в графіку руху. Окрім того, не враховується ряд факторів, в першу чергу, нерівномірність руху вантажних поїздів, що має суттєвий вплив на тривалість руху вантажних поїздів.

Відомо, що на залізничному транспорті існує сезонна, місячна, тижнева та внутрішньодобова нерівномірності [132]. Наявність нерівномірності вантажних перевезень істотно впливає на точність прогнозування моментів прибуття поїздів на станцію та моментів готовності їх до відправлення і, відповідно, має враховуватись при розробці процедури прогнозування вхідних та вихідних потоків поїздів. В цьому зв'язку при розробці методики прогнозування поїзної роботи технічних станцій була поставлена задача визначення взаємозалежності між днем тижня та кількістю поїздів, що прибуває і відправляється зі станції, а також між періодом доби та кількістю поїздів, що перероблюються на станції. Для перевірки гіпотези про взаємозв'язок інтенсивності потоку поїздів та днем тижня і періодом доби було виконано статистичну обробку даних АСКВП УЗ-Є про прийом та відправлення поїздів для п'яти опорних сортувальних станцій України – Львів, Знам'янка, Основа, Нижньодніпровськ-Вузол та Ясинувата за вересень 2013 року.

В процесі досліджень окремо по кожній з вказаних сортувальних станцій було визначено загальну кількість транзитних поїздів, поїздів у розформування та свого формування за кожний день спостереження та згруповано їх по дням тижня. Оскільки величина потрібного штату локомотивних бригад та експлуатаційного парку локомотивів залежать від розмірів руху вантажних поїздів, то дослідження коливань поїздопотоків протягом тижня та доби дадуть змогу регулювати парк локомотивів та потрібну кількість бригад.

Для прикладу, на рис. 2.8 наведено графіки, що характеризують залежність середньодобової кількості поїздів свого формування від дня тижня на сортувальних станціях, робота яких досліджувалась.

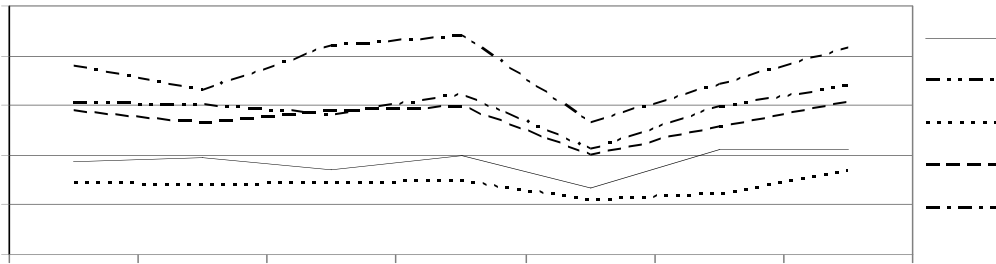


Рисунок 2.8 – Залежність між середньодобовою кількістю поїздів свого формування та днем тижня

Як видно з наведених графіків, у вівторок спостерігається незначне зменшення кількості відправлених поїздів; пік обсягів формування поїздів припадає на четвер, а в останній робочий день тижня (у п'ятницю) спостерігається спад роботи по формуванню поїздів для всіх станцій. У вихідні дні, а особливо у неділю, кількість відправлених поїздів свого формування збільшується, що можна пояснити необхідністю доставити вантаж на підприємства на початок робочого тижня. При цьому, коефіцієнт нерівномірності відправлення поїздів свого формування протягом тижня $K_{нер}$, наприклад, для станції Ясинувата, складає 1,37.

Аналогічні залежності виявлені також між днем тижня та кількістю транзитних поїздів, а також поїздів, що прибувають на станції у розформування (див. додаток Г): пік роботи припадає на четвер, мінімум – на п'ятницю, а в неділю спостерігається збільшення обсягів роботи.

Для визначення внутрішньодобових коливань кількості поїздів різних категорій, що прибувають та відправляються зі станцій, кожна доба спостереження була розбита на 8 періодів по 3 години; при цьому, окремо по кожній сортувальній станції було визначено кількість поїздів протягом відповідного періоду. Отримані дані були згруповані по періодах доби, на основі чого визначено середню кількість поїздів, що перероблюються на станціях по кожному з виділених періодів доби. На рис. 2.9, для прикладу, наведено графіки, що характеризують середню кількість поїздів свого формування на станціях в залежності від періоду доби.

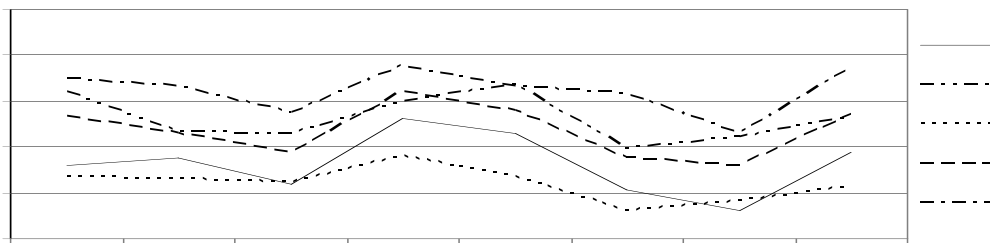


Рисунок 2.9 – Залежність кількості поїздів свого формування на станціях від періоду доби

Як свідчать графіки, наведені на рис. 2.8, в період від 600 до 900 спостерігається певний спад обсягів формування поїздів, а протягом наступного періоду на більшості станцій відзначається пік кількості відправлених поїздів, після чого відбувається поступове зменшення обсягів роботи до 2100. Збільшення обсягів роботи станцій з формування поїздів протягом 900 – 1500 можна пояснити намаганням оперативного диспетчерського персоналу відправити якомога більше поїздів на стикові пункти дирекцій та залізниць до звітної години 1700. Збільшення кількості відправлених поїздів свого формування на кінець доби пояснюється необхідністю доставити вантаж на підприємства

на початок робочого дня. Коефіцієнт нерівномірності відправлення поїздів свого формування протягом доби $K_{нер}$, наприклад, для станції Ясинувата, складає 1,82.

Графіки, що характеризують середню кількість транзитних та поїздів у розформування на станціях в залежності від періоду доби наведені у додатку Г.

Таким чином, було виявлено залежність (в тому числі, суттєву нерівномірність) між інтенсивністю поїздопотоків на технічних станціях та днем тижня і періодом доби відправлення вантажних поїздів різних категорій. За допомогою виконаних досліджень можна регулювати штат локомотивних бригад протягом тижня та доби.

Для визначення взаємозалежності між величиною вагонопотоку та величиною простою вагонів були виконані дослідження щодо впливу кількості відправлених вагонів на тривалість їх знаходження на технічних станціях України. Так, на рис. 2.10 наведені графіки тривалості загальної простою та простою у парку відправлення, а також кількості відправлених вагонів за 2002-2011 рр. на станції Знам'янка.

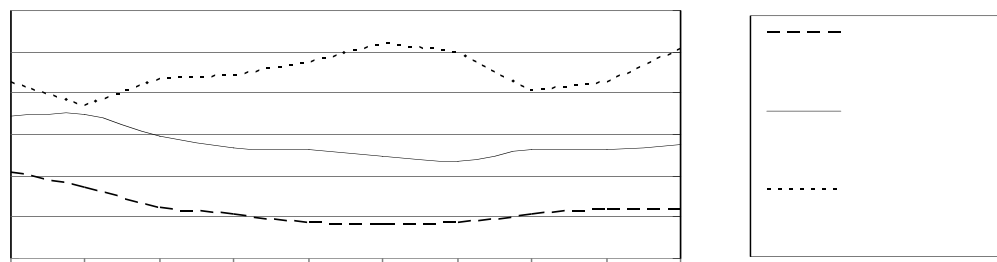


Рисунок 2.10 Тривалості простою вагонів та кількість відправлених вагонів по станції Знам'янка протягом 2006-2011 рр.

Перевірка наявності взаємозв'язку між тривалістю простою вагонів в парку відправлення та кількістю відправлених вагонів виконана на основі кореляційного аналізу. Отримане значення коефіцієнта кореляції $R=-0,6$ свідчить про відсутність прямої взаємозалежності вказаних параметрів, що також видно з наведених на рис. 2.9 графіків. Проте величина тривалості знаходження вагонів на станції прямо пропорційно залежить від величини тривалості знаходження вагонів у парку відправлення (коефіцієнт кореляції $R=0,94$). Треба відмітити, що така ситуація характерна практично для всіх сортувальних станцій України.

Для прогнозування моментів готовності составів поїздів до відправлення з технічних станцій доцільно використовувати методи імітаційного моделювання. Однак, щоб побудована імітаційна модель технічної станції була адекватною, необхідно мати дані про випадкові величини тривалості технологічних операцій з поїздами в парках станцій та параметри їх розподілу. Так, в результаті обробки даних про тривалість знаходження вантажних поїздів різних категорій в парках сортувальних станцій, було визначено, що відповідна випадкова величина розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Визначення закону розподілу вказаної випадкової величини та його параметрів виконувались за допомогою методів статистичного аналізу [133]. Для прикладу, на рис. 2.11 наведені гістограма та диференціальна функція розподілу випадкової величини тривалості знаходження вантажних поїздів на станції Нижньодніпровськ-Вузол від моменту виставки з сортувального парку до моменту відправлення зі станції $t_{форм}$.

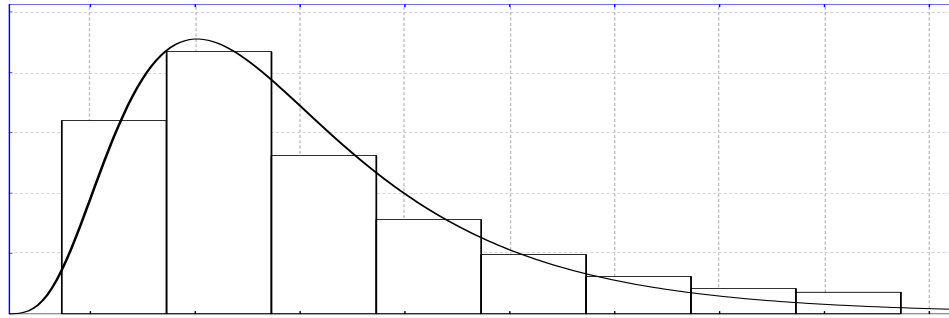


Рисунок 2.11 – Гістограма та диференціальна функція розподілу випадкової величини тривалості формування поїздів на станції Нижньодніпровськ-Вузол

Випадкова величина тривалості простою поїздів в парку відправлення станції Основа має наступні параметри: математичне очікування $M[t_{\text{форм}}] - 2,67$ год, середнє квадратичне відхилення $\sigma - 1,46$ год. Аналогічні дослідження виконані також для інших сортувальних станцій. Параметри розподілу випадкової величини простою поїздів різних категорій в парках станцій наведені в додатку Г.

Слід зазначити, що діапазон коливання тривалості знаходження вантажних поїздів в парках відправлення сортувальних станцій досить значний. Так, наприклад, мінімальна тривалість знаходження поїзда свого формування в парку відправлення станції Ясинувата Донецької залізниці складає 0,6 год, а найбільше значення цієї величини сягає 8,8 год, тобто в 14,7 разів більше. Подібна ситуація спостерігається практично на всіх сортувальних станціях, і максимальне значення тривалості знаходження поїзда в парку відправлення станції може перевищувати мінімальне значення цієї величини в 20 разів. Ці простої, в основному, пов'язані з очікуванням явки локомотивної бригади або подачі поїзного локомотива під состав.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що одним з методів скорочення простою вагонів на технічних станціях України є удосконалення системи планування роботи наявного парку вантажних локомотивів, що, в свою чергу, дозволить покращити показники використання тягового рухомого складу.

2.4 Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку

При розрахунку оперативного плану роботи локомотивного парку, в тому числі, необхідно мати достовірний прогноз прибуття поїздів на технічні станції. Разом з тим, отримання якісного прогнозу поїзної роботи являє собою досить складну задачу, оскільки процес руху поїздів на залізничних напрямках піддається впливу багатьох факторів і має стохастичний характер [134]. Визначення цих факторів та характеру їх впливу є необхідним при розробці адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивного парку. Окрім того, рух вантажних поїздів характеризується значною нерівномірністю: сезонною, тижневою та внутрішньодобовою [135-137], тому вплив нерівномірності також необхідно враховувати при прогнозуванні руху вантажних поїздів на залізничному напрямку.

Отже, вирішення задачі прогнозування моментів прибуття вантажних поїздів на технічні станції потребує встановлення факторів та характеру їх впливу на величину тривалості руху поїздів між технічними станціями. З

цією метою були виконані дослідження інтенсивності відправлення та тривалості курсування вантажних поїздів між технічними станціями, для чого з банку даних АСК ВП УЗ-Є був отриманий масив даних про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П’ятихатки за 15 діб січня, квітня, червня та вересня 2014 року. При цьому, по кожному поїзду, окрім власне тривалості руху між станціями, фіксувались: момент (час відправлення протягом доби, день тижня, місяць) його відправлення з технічної станції, маса поїзда та тип локомотива.

На основі результатів статистичної обробки даних АСК ВП УЗ-Є про рух поїздів на залізничному напрямку були визначені параметри відповідних випадкових величин. Так, наприклад, для дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П’ятихатки у квітні місяці математичне очікування випадкової величини тривалості руху поїзда склало $M[t]=3,69$ год, середнє квадратичне відхилення $\sigma[t]=0,64$ год. Окрім того, була висунута гіпотеза про логарифмічно-нормальний закон розподілу випадкової величини тривалості руху вантажних поїздів; згідно перевірки за критерієм Пірсона χ^2 [133] дана гіпотеза може бути прийнята.

При виконанні дослідження було висунуте припущення, що тривалість руху поїзда між технічними станціями залежить як від моменту його відправлення з сусідньої технічної станції (час та дата), так і від параметрів вантажного поїзда, серед яких було виділено масу поїзда та тип локомотива.

Для визначення ступеню впливу моменту відправлення поїзда протягом доби з технічної станції на величину тривалості його руху на дільниці, добу було поділено на 8 періодів тривалістю по 3 години. Для кожного такого періоду було визначено закон розподілу випадкової величини тривалості руху поїзда, а також відповідні параметри – $M[t]$, $\sigma[t]$ (див. додаток Г). У результаті виконаних досліджень було виявлено, що в кожному періоді доби випадкова величина тривалості ходу поїзда також розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Кількісну оцінку ступеню зв’язку між часом відправлення поїзда та його тривалістю ходу на дільниці було виконано за допомогою кореляційного аналізу [133]. Так, було визначено, що коефіцієнт кореляції між періодом доби, коли поїзд відправляється з технічної станції, та тривалістю його руху на дільниці становить $R=0,3$; за шкалою Чеддока це свідчить про помірний зв’язок між вказаними параметрами [138]. Для прикладу, на рис. 2.12 наведено графіки тривалості руху поїздів на дільниці П’ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол протягом різних місяців в залежності від періоду доби відправлення вантажних поїздів з сусідньої технічної станції. Графіки тривалості руху поїздів на всіх дільницях напрямку протягом різних місяців в залежності від періоду доби відправлення вантажних поїздів з сусідньої технічної станції наведено в додатку Г.

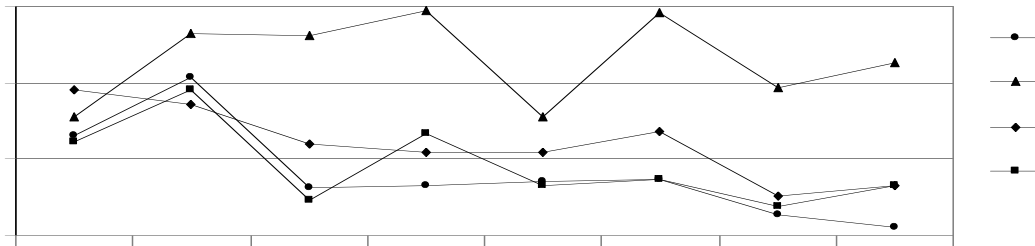


Рисунок 2.12. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від періоду доби їх відправлення

Як видно, в основному, тривалість руху поїзда знижується до кінця доби. Наприклад, якщо для червня місяця тривалість руху поїзда, відправленого в період 000...300, сягає 3,86 год, то тривалість ходу поїзда, відправленого в останній період доби, становить 3,37 год, тобто майже на 0,5 год (13%) менше. Також протягом доби можна виділити періоди зростання величини тривалості руху поїздів (періоди 300...600, 900...1200, 1500...1800), а також періоди зниження тривалості руху вантажних поїздів (періоди 600...900, 1200...1500, 1800...2400). Слід зазначити, що для кожної дільниці залізничного напрямку існують характерні лише для неї залежності величини тривалості руху поїздів від періоду доби відправлення з сусідньої технічної станції. Наявність помірного зв'язку між цими параметрами спричинює необхідність врахування періоду відправлення поїздів протягом доби при прогнозуванні тривалості їх руху на дільницях.

Наведені на рис. 2.12 залежності дають підставу зробити припущення про наявність істотного впливу місяця відправлення на величину тривалості руху поїзда, що можна пояснити зростанням кількості та тривалості «вікон» для проведення планових ремонтних робіт, а також зміною числа пасажирських поїздів. Так, якщо середнє значення тривалості руху протягом доби в квітні на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол становить 4,02 год, то в січні – 3,42 год, тобто на 0,6 год (15%) менше. При цьому, коефіцієнт кореляції між місяцем року відправлення вантажного поїзда та тривалістю його ходу на дільниці становить $R=0,64$, що свідчить про істотний зв'язок між цими параметрами [138 [HYPERLINK "http://www.grandars.ru/student/statistika/korrelyacionno-regressionnyy-analiz.html"](http://www.grandars.ru/student/statistika/korrelyacionno-regressionnyy-analiz.html)] .

Окрім того, аналіз інтенсивності відправлення вантажних поїздів з технічних станцій залізничного напрямку також виявив суттєві коливання кількості поїздів, що відправляються протягом різних періодів доби. Так, для прикладу, на рис. 2.13 наведено графіки зміни середньої кількості відправлених поїздів протягом доби на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол протягом різних місяців.

Аналізуючи наведені на рис. 2.13 графіки, можна виділити пік відправлення поїздів, що припадає на період 15⁰⁰...18⁰⁰, при цьому, коефіцієнт нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій напрямку знаходиться в межах $K_{\text{нер}}=1,23...1,92$ в залежності від місяця року.

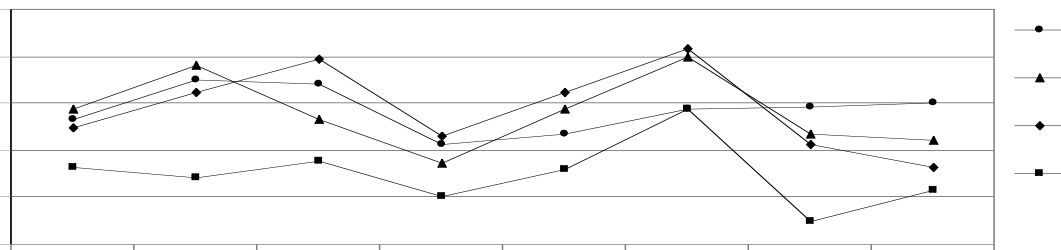


Рисунок 2.13. Графіки зміни середньої кількості відправлених поїздів протягом доби на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол

в залежності від періоду доби

Окрім визначення впливу часу відправлення поїзда на величину тривалості його руху на дільниці, були виконані дослідження щодо виявлення взаємозв'язку між днем тижня відправлення вантажного поїзда з сусідньої технічної станції та тривалістю його руху. Для кожного дня тижня було визначено, що випадкова величина тривалості руху поїзда також розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Так, для прикладу, на рис. 2.14 наведено графіки тривалості руху поїздів на дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки протягом різних місяців в залежності від дня тижня відправлення вантажних поїздів з сусідньої технічної станції. Графіки тривалості руху поїздів на всіх дільницях напрямку протягом різних місяців в залежності від дня тижня відправлення вантажних поїздів з сусідньої технічної станції наведено в додатку Г.

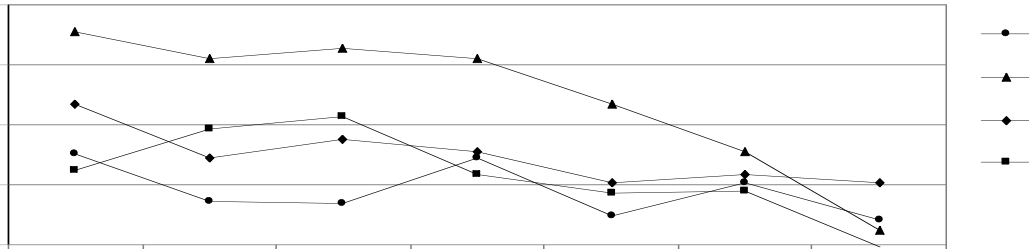


Рисунок 2.14. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки в залежності від дня тижня їх відправлення

Аналіз наведених графіків дозволяє зробити допущення, що існує досить суттєва різниця величини тривалості руху поїздів, відправлених на початку та в кінці тижня, при чому діапазон коливання математичного очікування даної величини складає 3,2...3,9 год, тобто поїзд, відправлений в неділю прийде на технічну станцію в середньому на 0,7 год (на 20%) швидше, ніж поїзд, відправлений в понеділок. За допомогою кореляційного аналізу було встановлено, що між днем тижня відправлення вантажного поїзда та тривалістю його руху між технічними станціями дільниці існує помірний зв'язок (коефіцієнт кореляції $R=0,375$).

Аналіз інтенсивності відправлення вантажних поїздів протягом тижня показав певний зв'язок між кількістю відправлених поїздів та днем тижня. Для прикладу, на рис. 2.15 наведено графіки інтенсивності відправлення поїздів на дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки протягом різних місяців в залежності від дня тижня.

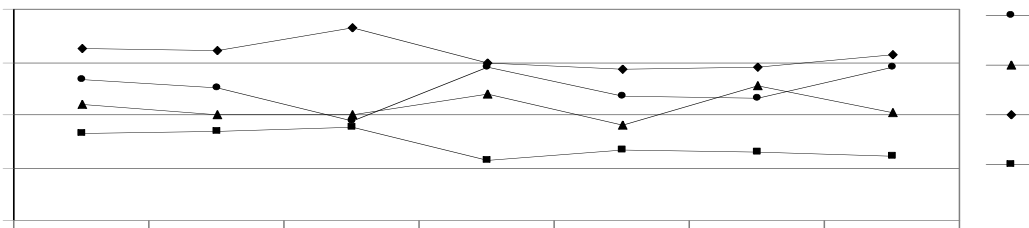


Рисунок 2.15. Інтенсивність відправлення вантажних поїздів на дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки в залежності від дня тижня

Згідно отриманих графіків, можна відмітити, що інтенсивність відправлення поїздів наприкінці тижня дещо нижче, порівняно з початком тижня, при цьому коефіцієнт нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій напрямку знаходиться в межах $K_{\text{нер}}=1,16...1,21$ в залежності від місяця року.

Як відомо, характер руху поїзда по ділянці, а значить і його тривалість, суттєвим чином визначається типом локомотива та масою состава. В цьому зв'язку було виконано впливу цих параметрів на величину тривалості руху поїздів на дільницях.

Згідно до технічних характеристик тягових рухомих засобів [139, 140], локомотиви, які обертаються на дільницях напрямку Синельникове-I – Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки, можна розділити на 4 групи за потужністю: 1 група – ВЛ11 та ВЛ11М, 2 група – ВЛ11М/5 та ВЛ11/6, 3 група – ВЛ8, 4 група – ДЭ1. Для кожної групи була виконана статистична обробка вибірок значень

тривалості руху поїздів та визначені параметри законів розподілу для відповідних випадкових величин, які наведені в додатку Г. Для прикладу, на рис. 2.16 наведено графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від типу локомотива. Графіки тривалості руху поїздів на всіх дільницях напрямку протягом різних місяців в залежності від типу локомотива наведено в додатку Г.

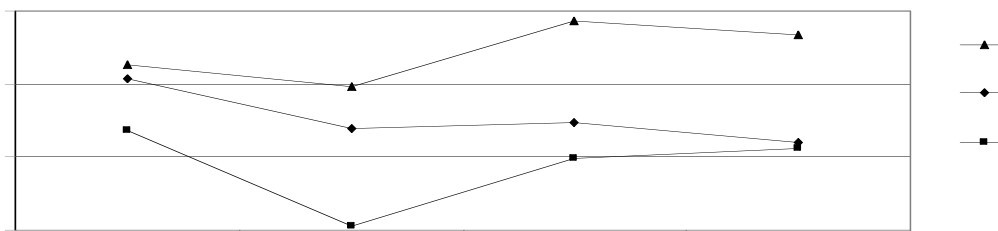


Рисунок 2.16 Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від типу локомотива.

Аналіз наведених графіків показує, що локомотиви другої групи (ВЛ11М/5 та ВЛ11/6) найшвидше долають відстань між сусідніми технічними станціями. Так, наприклад, у вересні, поїзд з локомотивом ВЛ11М/5 у середньому знаходився в русі майже на 20 хв. (9,5 %) менше, ніж поїзд з локомотивом ВЛ8. Слід зазначити, що аналогічна тенденція спостерігається на всіх дільницях, які досліджувались. Разом з тим, кореляційний аналіз показав, що між типом локомотива та величиною тривалості руху поїзда існує слабкий зв'язок, оскільки коефіцієнт кореляції між цими двома факторами склав $R=0,19$.

Одним з факторів, що найбільш суттєво впливають на тривалість руху вантажних поїздів є їх маса. Для дослідження впливу величини маси поїзда на тривалість його руху між технічними станціями напрямку, весь діапазон зафіксованих значень маси поїздів був поділений на інтервали з кроком $\Delta q=500$ т при максимальному значенню маси поїзда – 6500 т. Для кожного такого інтервалу було визначено параметри законів розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів, які наведені в додатку Г. Встановлено, що коефіцієнт кореляції між масою поїзда та тривалістю його руху складає $R=0,245$, що за шкалою Чеддока відповідає слабкому ступеню зв'язку між вказаними параметрами. Для прикладу на рис. 2.17 наведені графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від маси поїзда.

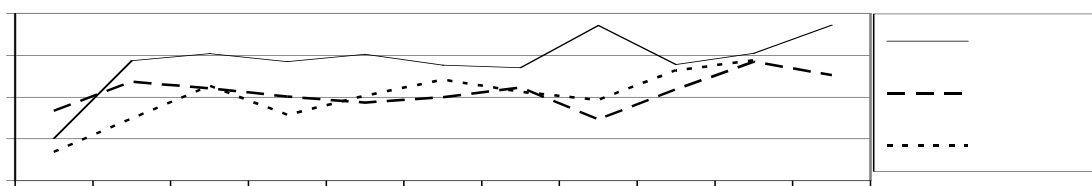


Рисунок 2.17. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від маси поїзда.

Слід зазначити, що отримані результати щодо ступеню впливу маси состава на тривалість руху поїздів на дільниці також підтверджуються рядом інших досліджень, наприклад [141].

Таким чином, як показують результати досліджень, тривалість руху поїздів між технічними станціями визначається не тільки встановленими нормами часу руху по перегонам, але залежить від множини інших факторів, серед яких нерівномірність в роботі залізниць та параметри поїздів [142].

Оскільки серед розглянутих факторів не було виявлено такого, який би мав значно сильніший вплив на час руху поїздів, у порівнянні з іншими

факторами, то для отримання більш точного прогнозу моментів прибуття поїздів на технічні станції необхідно враховувати усі розглянуті фактори при прогнозуванні тривалості руху поїздів на залізничному напрямку.

2.5 Висновки по розділу

1. Аналіз сучасних умов організації роботи вантажних локомотивів на залізничних напрямках дозволив виявити недоліки існуючої системи оперативного планування роботи локомотивного парку; при цьому, середній простій составів в очікуванні подачі поїзних локомотивів на технічних станціях становить 1,5 год., що складає 10...60% від загальної тривалості знаходження вагонів на станції: частка випадків очікування локомотивом з бригадою готовності состава складає 6,6% від загальної кількості відправлених поїздів зі станції, водночас, частка очікування составами локомотивів з бригадами – близько 60%.

2. На основі виконаних досліджень встановлено закони розподілу випадкових величин тривалості знаходження вантажних поїздів у підсистемах відправлення сортувальних станцій. Окрім того, визначено зв'язок між інтенсивністю вхідних та вихідних поїздопотоків сортувальних станцій та днем тижня і періодом доби. Результати виконаних досліджень можуть бути також використані при розробленні імітаційної моделі роботи технічної станції при визначенні тривалості технологічних операцій в парках станцій, що дає можливість коригувати величину експлуатованого парку локомотивів та необхідний штат локомотивних бригад в залежності від періоду доби, дня тижня та місяця року.

3. В результаті виконаних досліджень тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-1 доведений вплив часу та дати відправлення вантажного поїзда з сусідньої технічної станції, а також його маси та типу локомотива на тривалість руху поїзда. Так, між тривалістю руху поїздів і періодом доби та днем тижня відправлення виявлений помірний ступінь зв'язку (коефіцієнти кореляції, відповідно, $R=0,3$ та $R=0,38$), місяцем відправлення – значний ступінь ($R=0,64$), масою поїзда та типом локомотива – слабкий зв'язок (відповідно, $R=0,25$ та $R=0,19$). Отримані результати можуть бути використані при прогнозуванні тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ АДАПТИВНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ

3.1 Структура та задачі адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку

Для залізничного транспорту України однією з актуальних проблем наразі є випадки нераціонального планування роботи тягового рухомого складу, що призводить до невиробничих простоїв на технічних станціях як составів з вагонами, так і поїзних локомотивів і локомотивних бригадам. Ефективне оперативне планування роботи локомотивів та бригад може бути реалізовано на базі сучасної автоматизованої системи керування, основою якої є адаптивна модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку. Задачею такої моделі є розроблення оперативних планів роботи локомотивів та локомотивних бригад на основі прогнозних моментів їх готовності до поїзної роботи, а також з урахуванням прогнозних моментів готовності составів вантажних поїздів до відправлення з технічних станцій з метою зменшення невиробничих простоїв та, пов'язаних з цим, витрат.

Основними задачами адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку є:

- формування вхідної інформації про поїзда, в тому числі, про локомотиви та бригади, що відправляються з суміжних технічних станцій залізничного напрямку;
- визначення прогнозних моментів прибуття вантажних поїздів на технічні станції;
- визначення моментів готовності поїздів різних категорій до відправлення з технічних станцій;
- визначення моментів готовності локомотивів та бригад до відправлення з поїздами;
- розроблення планів роботи локомотивів та локомотивних бригад.

Алгоритм роботи адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку наведений на рис. 3.1.

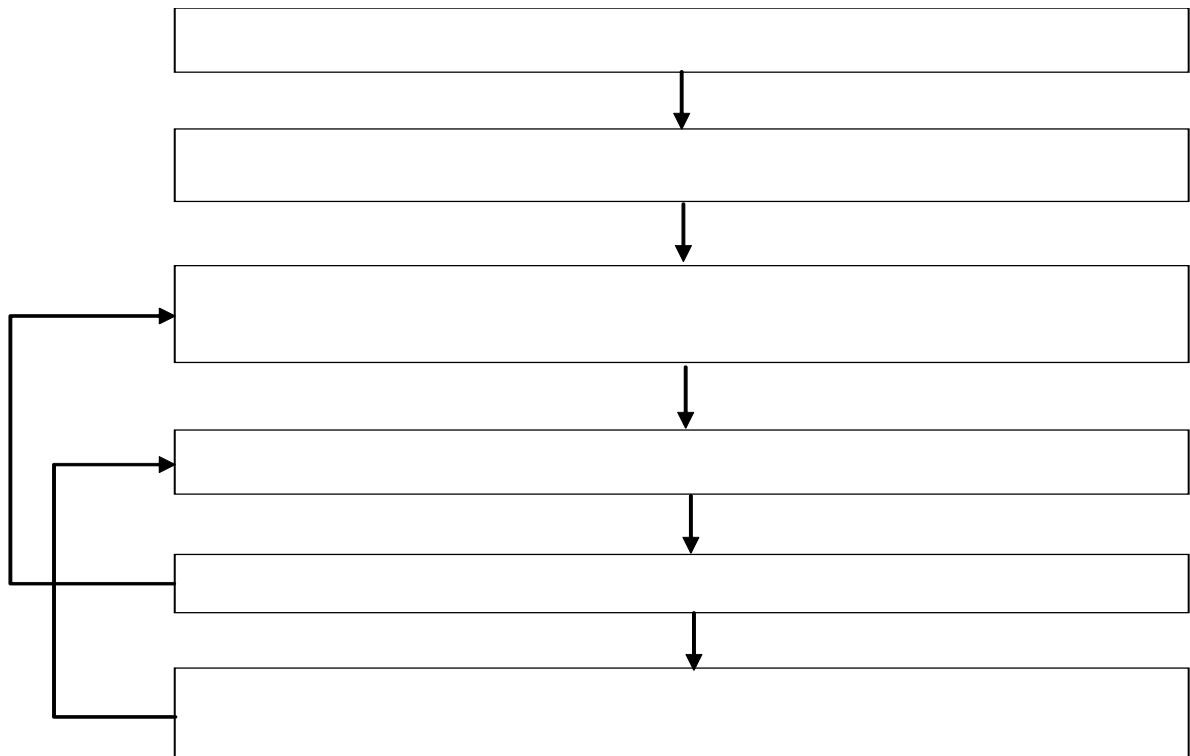


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку

Як видно з рис. 3.1, дана система адаптується до змін, які відбуваються на залізничному напрямку (дільницях, технічних станціях), а саме - виконується перерахунок прогнозних моментів готовності составів вантажних поїздів, локомотивів та локомотивних бригад після фактичного прибуття поїздів на технічні станції, а також відбувається коригування плану роботи локомотивного парку з урахуванням фактичних моментів готовності составів, локомотивів та бригад.

Відповідно до вказаних вище задач, була розроблена структура адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку, яка наведена на рис. 3.2.

Розроблена адаптивна модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку включає блок формування вхідної інформації, прогнозу модель поїзної роботи залізничного напрямку та розрахунковий модуль (див. рис. 3.2). В свою чергу, прогнозна модель поїзної роботи залізничного напрямку складається з модуля прогнозу прибуття поїздів та імітаційної моделі технічної станції, що включає в себе модель локомотивного депо [143].

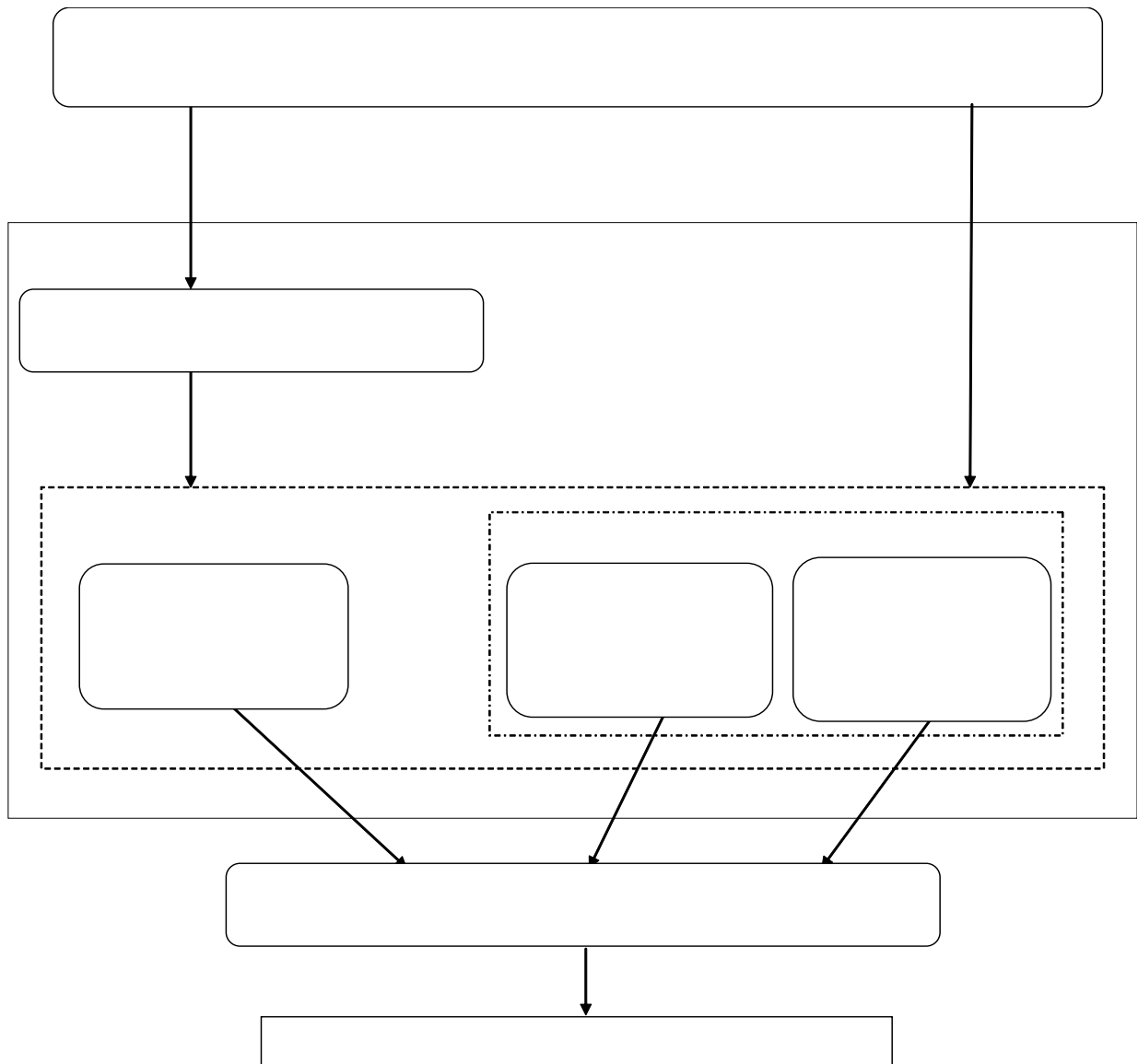


Рисунок 3.2 – Структура адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку

Блок формування вхідної інформації містить дані про дату, час відправлення вантажного поїзда із суміжної технічної станції, відомості про категорію поїзда, а також дані про локомотив і бригаду: тип локомотива, час проведення останнього ТО-2, час явки локомотивної бригади, тощо.

Модуль прогнозу прибуття поїздів призначений для розрахунку моментів прибуття поїздів на технічні станції напрямку на основі величини тривалості руху поїздів протягом попередніх періодів.

Імітаційна модель роботи технічних станцій призначена для визначення моментів готовності вантажних составів різних категорій до відправлення (моментів готовності состава до причеплення локомотива та/або заміни бригади).

Модель роботи локомотивного депо призначена для розрахунку моментів готовності локомотивів та бригад з урахуванням виконання всіх технологічних операцій, а також дотриманням норм тривалості праці та відпочинку локомотивних бригад.

Розроблення плану роботи локомотивів та бригад може бути розглянута як розв'язок оптимізаційної задачі прикріплення локомотивів до поїздів на основі певного критерію оптимальності. В якості такого критерію найбільш доцільно обрати сукупні вагону-, локомотиво- та бригадо-години простою в очікуванні відправлення. Оптимальний варіант прикріплення локомотивів до поїздів повинен забезпечувати мінімальні сукупні години простою з поміж усіх можливих варіантів розв'язку даної задачі. Оскільки простій рухомого складу та простій в роботі локомотивних бригад впливає на економічні показники функціонування залізничного транспорту, то доцільним є перехід від величини сукупних годин простою до величини витрат, пов'язаних з простоєм вагонів, локомотивів та бригад. Таким чином, метою даної оптимізаційної задачі є мінімізація витрат, що виникають при непродуктивному простої як вагонів, так і локомотивів з бригадами.

3.2 Модуль прогнозу прибуття поїздів на технічну станцію

Прогнозний момент прибуття вантажного поїзда на станцію є одним із основних показників, на основі якого виконується оперативне планування роботи технічної станції та локомотивного парку. Саме тому від точності прогнозу прибуття поїздів залежить якість функціонування прогнозної моделі поїзної роботи напрямку в цілому.

Як зазначалось раніше, функціонування залізничного транспорту, зокрема поїзна робота, характеризується значною нерівномірністю (сезонною, тижневою, внутрішньодобовою); і, в цьому зв'язку, при розробці прогнозної моделі залізничного напрямку необхідно враховувати фактор нерівномірності. З цією метою у розділі 2 були виконані дослідження нерівномірності руху вантажних поїздів на залізничному напрямку, а також визначено фактори, які впливають на цю нерівномірність, і ступінь їх впливу на параметри руху поїздів на напрямку.

3.2.1 Структура та принципи побудови модуля прогнозу прибуття поїздів

Точний прогноз прибуття поїздів на технічні станції є основою ефективного функціонування прогнозної моделі роботи напрямку в цілому. Тож, основною задачею модуля прогнозу прибуття поїздів є розрахунок прогнозних моментів прибуття поїздів на технічні станції напрямку з урахуванням всіх факторів, які впливають на тривалість руху вантажних поїздів на дільницях. Вихідні дані для модуля прогнозу прибуття поїздів отримуються з АСК ВП УЗ-Є (блоку формування вхідної інформації) в реальному режимі часу та можуть бути представлені наступною структурою:

$$N_i = \{I_i, \quad , \quad , T_i, Q_i, V_i, Z_i\}, \quad i=1, \dots, N_d, \quad (3.1)$$

де I_i – індекс i -го поїзда;

$\quad$ – код станції відправлення та призначення відповідно;

T_i – вектор дати відправлення i -го поїзда з сусідньої технічної станції;

Q_i – маса поїзда брутто i -го поїзда;

V_i – вектор даних про вагони i -го поїзда;

Z_i – тип локомотива;

N_d – кількість поїздів на дільниці.

Вектор дати відправлення i -го поїзда з сусідньої технічної станції включає відомості про час відправлення протягом доби t_i , день тижня d_i та місяць року y_i та має наступну структуру:

$$T_i = \{t_i, d_i, y_i\}, \quad i=1, \dots, N_d. \quad (3.2)$$

Вектор даних про вагони i -го поїзда описується такою структурою:

$$V_i = \{m_i, C_i\}, \quad i=1, \dots, N_d, \quad (3.3)$$

де m_i – кількість вагонів у i -му поїзді;

C_i – вектор даних про призначення вагонів i -го поїзда, який характеризується наступною структурою:

$$C_i = \{c_j\}, \quad j=1, \dots, m_i, \quad (3.4)$$

де c_j – призначення j -го вагона в i -му поїзді.

Алгоритм роботи модуля прогнозу прибуття вантажних поїздів наведено на рис. 3.3.

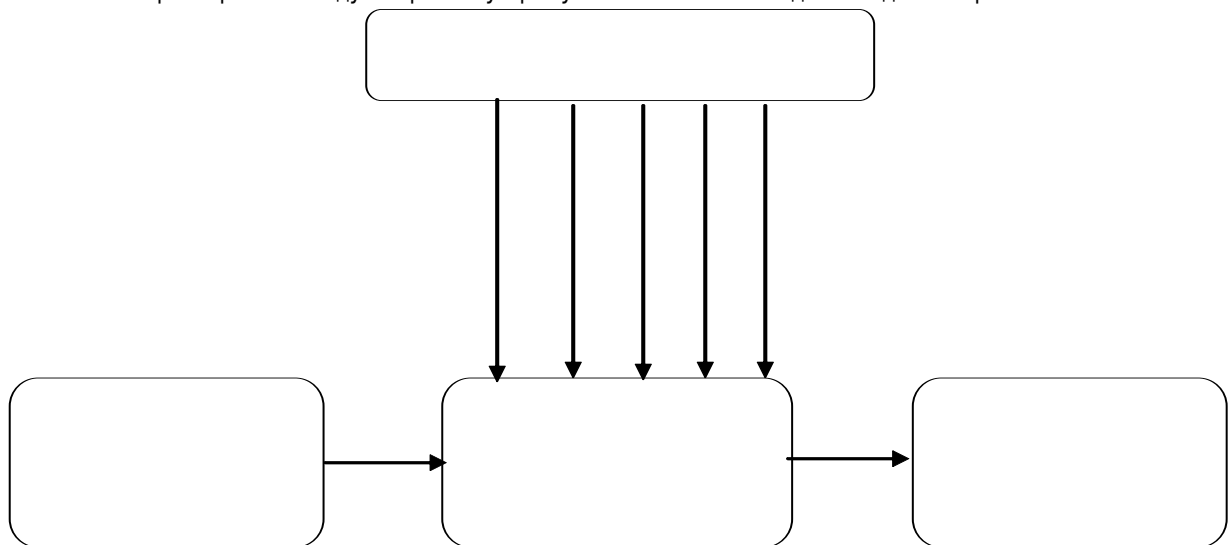


Рисунок 3.3 Алгоритм роботи модуля прогнозу прибуття поїздів

За результатами досліджень, виконаних в п. 2.4, на тривалість руху вантажного поїзда, i , відповідно, на час його прибуття, окрім власне параметрів залізничної ділянки (довжина, профіль, обмеження швидкості тощо), суттєвим чином впливають дата і час відправлення з сусідньої технічної станції, а також маса поїзда та тип локомотива.

Принцип роботи модуля прогнозу прибуття поїздів наступний (див. рис. 3.3): після отримання оперативних даних про відправлення вантажного поїзда з сусідньої технічної станції залізничного напрямку визначається прогнозна тривалість руху поїзда між станціями з урахуванням впливу визначених факторів після чого розраховується прогнозований момент прибуття поїзда на технічну станцію.

Для розрахунку прогнозованої тривалості руху поїздів між технічними станціями напрямку був використаний апарат штучних нейронних мереж (ШНМ), який є ефективним сучасним засобом прогнозування будь-яких величин та процесів [144], в тому числі процесів, пов'язаних з роботою залізничного транспорту [145, 146].

3.2.2 Структура та методика побудови нейронної мережі для прогнозу прибуття поїздів

Штучна нейронна мережа – це паралельно розподілена система обробки інформації, утворена тісно зв'язаними простими обчислювальними вузлами (однотипними або різними), що має властивість накопичувати експериментальні знання, узагальнювати їх і робити доступними для користувача у формі, зручній для інтерпретації й прийняття рішень [147].

Нейронні мережі мають такі властивості як адаптивне навчання, самоорганізація, узагальнення, обчислення в реальному часі, стійкість до перебоїв.

ШНМ знаходять сьогодні широке застосування у будь-яких галузях, починаючи від завдань апроксимації функцій і закінчуючи створенням нейрокомп'ютерів. Основні сфери застосування нейронних мереж є апроксимація функцій, асоціативна пам'ять, стиснення даних, розпізнавання та класифікація, оптимізаційні задачі, керування складними процесами, прогнозування, тощо.

Трьома основними поняттями в теорії нейромереж є: нейрон, архітектура мережі і поняття навчання [148].

На рис. 3.4 наведено формальний нейрон – одиницю обробки інформації в нейромережі. Складовими елементами нейрону являються $x_1, x_2, \dots, x_n$ – вхідні сигнали мережі, кожен з яких характеризується своєю вагою $w_1, w_2, \dots, w_n$ відповідно. Суматор Σ підсумовує вхідні сигнали; функція активації f описує правило переходу нейрона у новий стан при надходженні нових сигналів.

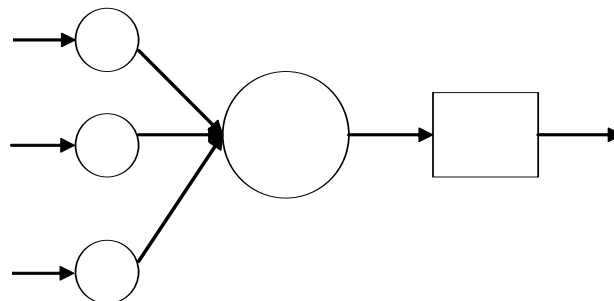


Рисунок 3.4 Модель формального нейрона

З точки зору архітектури нейронна мережа (НМ) може розглядатися як орієнтований граф зі зваженими зв'язками, в якому штучні нейрони є вузлами. За архітектурою зв'язків НМ можуть бути поділені на два класи (рис. 3.4): мережі прямого поширення (рис. 3.5, а), в яких графи не мають петель, і рекурентні

мережі (рис. 3.5, б), або мережі зі зворотними зв'язками [149]. Мережі прямого поширення є статичними в тому сенсі, що на заданий вхід вони продукують одну сукупність вихідних значень, які не залежать від попереднього стану мережі. Рекурентні мережі є динамічними, так як в силу зворотних зв'язків у них модифікуються входи нейронів, що призводить до зміни стану мережі.

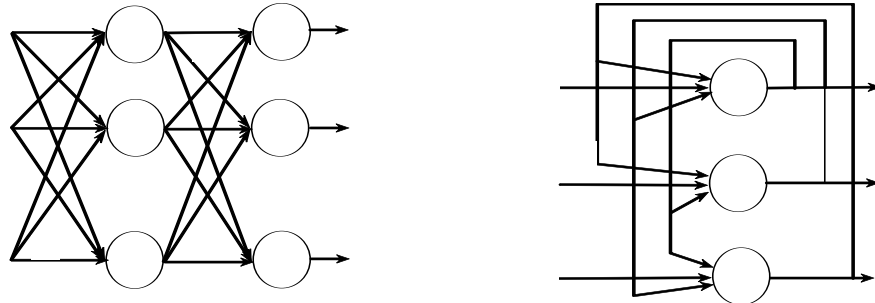


Рисунок 3.5. Типи нейронних мереж

Під навчанням НМ мається на увазі налаштування архітектури мережі і ваг зв'язків w_i для ефективного виконання завдання. Методи навчання можна розділити на дві групи: з учителем та без учителя. При використанні алгоритму навчання з учителем налаштування значень ваг зв'язків виконується розробником таким чином, щоб вихід мережі був якомога близький до правильного. Алгоритм навчання без учителя заснований на принципі самоорганізації, тобто в якості «вчителя» виступає зовнішнє середовище, в якому виконується навчання.

Зазвичай нейронна мережа повинна налаштувати ваги зв'язків по наявній навчальній вибірці. Функціонування мережі поліпшується у міру послідовного налаштування вагових коефіцієнтів. Властивість мережі навчатися на прикладах робить їх більш привабливими в порівнянні з системами, які слідують певній системі правил функціонування, сформульованої експертами.

Таким чином, для побудови нейронної мережі для розрахунку прогнозованої тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку необхідно:

- визначити параметри, які будуть використовуватись у якості вхідного вектора нейромережі та правила формалізації фактичних даних про поїзд до вигляду, прийнятного для функціонування мережі;
- визначити архітектуру нейронної мережі та правило навчання відповідно до задачі, яка покладається на нейромережу;
- перевірити адекватність функціонування модуля прогнозу прибуття поїздів.

3.2.3 Нормалізація даних для вхідного вектора нейромережі

Одним з основних елементів будь-якої нейронної мережі є вхідний вектор, тож першою задачею є формалізація фактичної інформації про поїзд, тривалість руху якого необхідно спрогнозувати. Як показали дослідження, окрім постійних факторів (графік руху поїздів, план та профіль колій тощо), на тривалість знаходження вантажного поїзда у дорозі між технічними станціями впливає і ряд змінних параметрів. Серед таких параметрів, вплив яких є найбільш суттєвим, є час та дата (день тижня, місяць) відправлення поїзда з сусідньої технічної станції, а також маса поїзда та тип локомотива. Оскільки вказані параметри мають різні одиниці виміру та значне розходження між мінімальним та максимальним значенням одного й того ж параметра (наприклад, маса поїзда), необхідно нормалізувати (кодувати) вхідні дані. Одним з ефективних методів кодування різнотипної інформації є бінарний підхід.

При побудові вхідного вектору значення кожного фактору були згруповані по інтервалам певної величини. Так, для кодування часу відправлення поїзда доба була поділена на 8 періодів по 3 години кожний ($\Delta t_{\text{відпр}}=3$ год.), тобто при відправленні поїзда о 6 год. 25 хв., що відповідає 3-му періоду доби, відповідний елемент вхідного вектора має значення «1», а решта – «0» (рис. 3.6). Аналогічно виконувалось кодування маси поїзда: значення маси поїзда було поділено на інтервали з кроком $\Delta q=500$ т. Дню тижня та місяцю відправлення, а також типу локомотива поставлені у відповідність номери, які відповідають номерам елементів вхідного вектора.

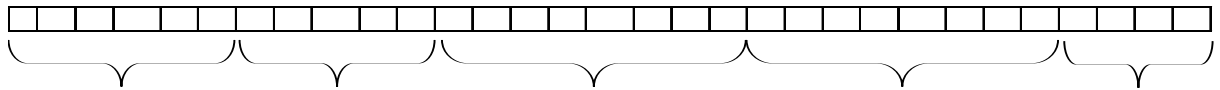


Рисунок 3.6. Приклад кодування вхідного вектора фактичних даних про поїзд

Таким чином, для кодування часу відправлення поїзда використовується 8 елементів вектора, дня тижня – 7, місяця року – 12, маси поїзда – 12, типу локомотива – 4, тобто розмірність вхідного вектора нейронної мережі становить 43 елементи.

3.2.4 Вибір архітектури нейронної мережі для прогнозування моментів прибуття поїздів

Наступним етапом проектування нейронної мережі, після нормалізації даних для вхідного вектора, є визначення архітектури мережі для розв'язку конкретної задачі, яка стоїть перед розробником. Таким чином, необхідно обрати тип нейромережі, найбільш прийнятний для вирішення поставленої задачі прогнозування тривалості руху поїздів. Під час виконання дослідження були виконані експерименти з цілим рядом нейромереж різних типів, в тому числі каскадною нейромережею, мережею Елмана (частково-рекурентна мережа), такими мережами зі зворотними зв'язками як мережа з нелінійною авторегресією та внутрішнім входом (NARX), а також мережею з рекурентним шаром [150–151] в програмному середовищі Matlab. При цьому у якості навчальної вибірки використовувався масив даних з АСК ВП УЗ-Є про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки за 15 діб січня, квітня, червня та вересня 2014 року. Аналіз результатів проведених експериментів показав, що перелічені вище нейронні мережі дають дуже значну дисперсію отриманого прогнозу відносно фактичних даних. При цьому, різниця між розрахованою та фактичною тривалістю руху на ділянці сягала 1,5 год. при середній тривалості руху вантажних поїздів 3,5 год., тобто похибка становила більше 40%, що ніяк не може вважатись за задовільний результат. Тому було зроблено висновок про невідповідність вказаних типів нейромереж для вирішення поставленої задачі прогнозу тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку.

Разом з тим, у результаті експериментів з різними нейромережами було встановлено, що найменшу похибку отриманих результатів прогнозу забезпечує персептрон – нейромережа, структура якої наведена на рис. 3.7 [147].

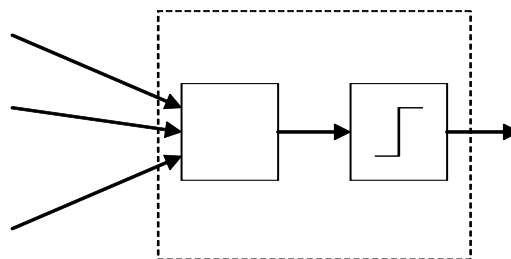


Рисунок 3.7. Структура персептрона

Тут, $x_1, x_2, \dots, x_k$ – вхідні сигнали мережі, кожний з яких характеризується своєю вагою $w_1, w_2, \dots, w_k$, де k – це розмірність вхідного вектора (в даному випадку $k=43$). Кількість нейронів N у шарі відповідає кількості поїздів у навчальній вибірці. Суматор Σ виконує обробку вхідних сигналів за формулою [147]:

(3.5)
 Функція активації f формулює правило переходу нейрона, що перебуває в момент часу g у стані $z(g)$, у новий стан $z(g+1)$ при надходженні нових сигналів x [151]. В якості функції активації персептрону використовується порогова функція, аргументом якої є змінна u [152]. Активаційна функція має наступний вигляд:

(3.6)
 Принцип роботи нейромережі базується на пошуку схожих параметрів відправлення поїздів у навчальній вибірці (базі статистичних даних прогнозової моделі) та формуванні відповідного значення тривалості руху поїзда при пред'явленні вхідного вектору параметрів з фактичними даними про відправлення поїзда.
 На рис. 3.8 наведено алгоритм роботи персептрона для визначення прогнозової тривалості руху вантажного поїзда.

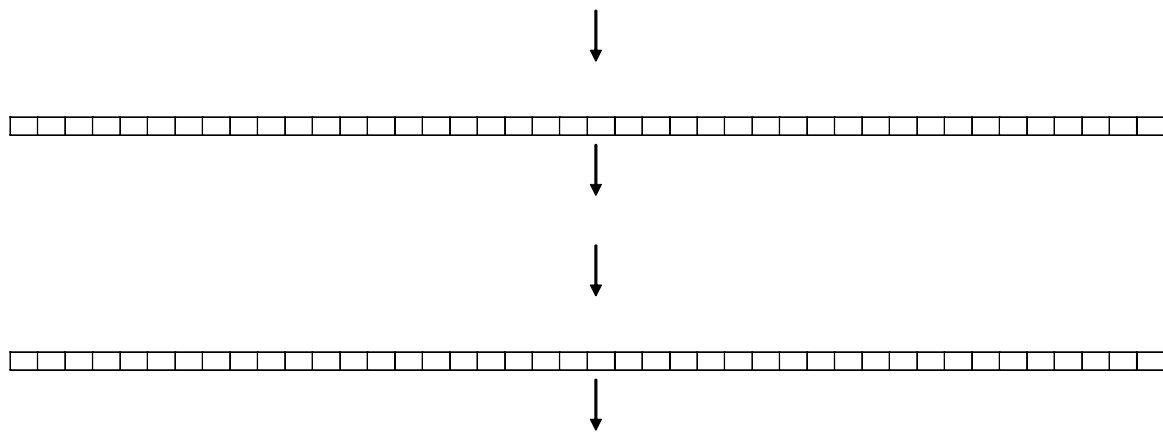


Рисунок 3.8 Алгоритм роботи персептрона

Як видно, інформація про поїзд кодується та подається на вхід нейронної мережі у бінарному вигляді; результатом роботи нейромережі також є бінарний вихідний вектор, значення якого інтерпретується у тривалість руху поїзда, а потім модуль прогнозу прибуття розраховує прогнозний час прибуття вантажного поїзда на технічну станцію. В даному прикладі (рис. 3.8) розрахункова тривалість руху поїзда менше фактичної (за даними, отриманими з АСК ВП УЗ-Є) на 5хв, тобто на 3,3%.

3.2.5 Дослідження впливу параметрів вхідного вектору на точність прогнозу тривалості руху вантажних поїздів

Очевидно, що якість роботи персептрону (а, відповідно, і точність прогнозу) певним чином залежить від його параметрів, що в тому числі, визначаються прийнятими параметрами кодування вхідної інформації. Тож, після вибору типу нейронної мережі для вирішення поставленої задачі та отримання точного прогнозу необхідно встановити найбільш прийнятну величину інтервалів при кодуванні маси поїздів та часу відправлення. Очевидно, що менша величина інтервалу, з одного боку, деталізує вхідну інформацію, що дозволяє отримувати більш точний прогноз, однак, з іншого боку, зменшення величини інтервалу призводить до суттєвого зростання розмірності вхідного вектора, векторів навчальної вибірки і, відповідно, до збільшення обсягів розрахунків та зменшення максимального розміру навчальної вибірки (числа нейронів). Тому була поставлена задача: перше – з'ясувати, чи має місце вплив величини інтервалу при кодуванні маси поїзда та часу відправлення поїзда на якість прогнозу, друге – встановити найбільш раціональні значення величини вказаних інтервалів при забезпеченні достатнього рівня точності прогнозу та прийнятного обсягу розрахунків.

Під час попередніх досліджень кодування маси поїзда при формуванні вхідного вектора виконувалось з кроком $\Delta q=500$ т, часу відправлення – з кроком $\Delta t_{\text{відпр}}=3$ год. Для встановлення раціональних значень вказаних інтервалів були проведені експерименти при різних значеннях Δq (500 т, 250 т, 100 т, 50 т) та $\Delta t_{\text{відпр}}$ (3 год, 2 год, 1 год, 0,5 год). Результати, отримані в ході проведення експериментів, наведені в табл. 3.1, в якій вказані: величина зміни інтервалів маси поїзда та часу відправлення з сусідньої технічної станції, розмірність вхідного вектора, максимальне число нейронів мережі при відповідному розмірі вхідного вектора, середнє відхилення та частка відхилень розрахункових значень тривалості руху вантажних поїздів в порівнянні з фактичними даними з АСК ВП УЗ-Є.

Аналіз отриманих результатів показує, що точність прогнозу значною мірою залежить від параметрів перцептронного нейронного мережі при кодуванні маси та часу відправлення поїзда) при формуванні нейронної мережі. Так, наприклад, при вихідних значеннях $\Delta q=500$ т та $\Delta t_{\text{відпр}}=3$ год частка відхилень розрахункових значень від фактичних склала 80,7%, а при $\Delta q=50$ т та $\Delta t_{\text{відпр}}=0,5$ год – 0%, проте, майже в 4 рази збільшилась розмірність вхідного вектора – з 43 до 194 елементів, а максимальне число нейронів у навчальній вибірці зменшилось в два рази – з 300 до 150. Окрім того, результати проведених експериментів вказують на те, що при формуванні перцептронного нейронного мережі на якість прогнозу більший вплив має величина інтервалу варіювання маси поїзда порівняно з величиною інтервалу варіювання часу відправлення [153].

Таблиця 3.1 Дослідження впливу величини зміни параметрів відправлення поїздів на точність прогнозу

$\Delta q, \text{ т}$	$\Delta t_{\text{відпр}}, \text{ год}$	Розмірність вхідного вектора	Число нейронів N	Середнє відхилення, хв	Частка відхилень, %
500	3	43	300	32	80,7
	2	47	300	11	34,3
	1	60	300	7	20,7
	0,5	84	250	3	6,3
250	3	58	200	8	24,5
	1	77	200	2	5,7
100	3	93	200	5	14,5
	2	97	200	3	6,7
	1	109	200	1	2,7
	0,5	134	150	0	0
50	3	154	150	3	7,3
50	0,5	194	150	0	0

Остаточна величина інтервалів маси поїзда була прийнята рівною $\Delta q=100$ т, часу відправлення поїзда – $\Delta t_{\text{відпр}}=1$ год; при цьому, розмірність вхідного вектора складає 109 елементів, число нейронів – 200, середнє відхилення розрахункових значень тривалості руху між технічними станціями дільниці від фактичних даних не перевищує 1 хв, частка відхилень прогнозних даних про тривалість руху поїзда від фактичних – 2,7%.

При порівнянні даних прогнозу прибуття, отриманих з АСК ВП УЗ-Є, та фактичних значень часу прибуття поїздів на технічні станції, було виявлено розходження між цими даними на рівні, в середньому, 10-15%, а в деяких випадках і більше.

Таким чином, для розрахунку прогнозної тривалості руху поїзда між технічними станціями напрямку використовується нейронна мережа, а саме перцептрон. Для цього використовуються дані про місяць, день тижня та час відправлення протягом доби, а також маса поїзда та тип локомотива; величина інтервалів маси поїзда була прийнята рівною $\Delta q=100$ т, часу відправлення поїзда – $\Delta t_{\text{відпр}}=1$ год; при цьому, частка відхилень прогнозних

даних про тривалість руху поїзда від фактичних складає 2,7%, що є прийнятним у технічних розрахунках.

В дисертаційній роботі були виконані дослідження щодо впливу параметрів відправлення на точність прогнозу тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку. Для цього при кодуванні вхідного вектору та під час навчання нейромережі почергово не враховувались перелічені в табл. 3.2 параметри. Оцінювання варіантів виконано за допомогою порівняння розрахованих значень тривалості руху поїздів з фактичними даними. Слід зазначити, що при врахуванні всіх параметрів відправлення, відносна похибка складає 2,7%, розмірність вхідного вектору – 109.

Як видно з табл. 3.2, найменший вплив на якість прогнозування мають тип локомотива та місяць відправлення (похибка 3,6% та 3,7% відповідно), але при відсутності цих двох параметрів одночасно, відносна похибка збільшується у 2,2 рази (до 8%). Суттєвий вплив на якість прогнозування тривалості руху поїздів мають день тижня відправлення та маса вантажного поїзда – 8,3% та 14% відповідно. Згідно до виконаних досліджень, найбільший вплив на якість прогнозування має період доби відправлення поїзда з сусідньої технічної станції, відносна похибка сягає майже 20%.

Таблиця 3.2 Дослідження впливу параметрів відправлення поїздів на точність прогнозу

№ з/п	Відсутній параметр	Відносна похибка, %	Розмірність вхідного вектору
1	Тип локомотива	3,6	104
2	Місяць відправлення	3,7	97
3	Тип локомотива та місяць	8	92
4	День тижня	8,3	102
5	Маса поїзда	14	48
6	Період відправлення	19,9	85

Оскільки при статистичній обробці даних про тривалість руху вантажних поїздів між технічними станціями напрямку виявлено, що місяць відправлення істотно впливає на тривалість руху поїзда, то при прогнозуванні тривалості цієї величини не можна нехтувати таким параметром відправлення, як місяць року. Виключення типу локомотива з переліку параметрів відправлення не буде мати суттєвих наслідків для структури нейронної мережі, оскільки маємо досить незначне зменшення розмірності вхідного вектору.

Оскільки виконані дослідження не виявили такого параметру, який би одночасно мав несуттєвий вплив на якість прогнозування, та значно зменшував розмірність вхідного вектору, то при подальших розрахунках при прогнозуванні тривалості руху вантажного поїзда між технічними станціями залізничного напрямку були враховані всі вказані фактори.

3.2.6 Перевірка адекватності нейромережі

Для оцінки адекватності розробленого методу прогнозування тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку виконано статистичний аналіз випадкових величин тривалості руху поїздів, отриманих з банку даних АСК ВП УЗ-Є для дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки та в результаті симуляції нейронної мережі. Для цього було виконано дослідження фактичних значень тривалості руху вантажних поїздів $x=(x_1, x_2, \dots)$, $n_x=100$ та розрахункових значень, отриманих в результаті використання нейромережі $y=(y_1, y_2, \dots)$, $n_y=100$. В результаті обробки статистичних даних, виконаної у п. 2.4 встановлено, що випадкова величина X підпорядкована логарифмічно-нормальному закону з параметрами $M[X]=3,69$ год та $\sigma[X]=0,64$ год.

Така ж гіпотеза була висунута про розподіл випадкової величини Y .

Для аналізу використовувалась вибірка значень $(y_1, y_2, \dots)$, отриманих в результаті симуляції нейронної мережі; об'єм вибірки $n_y=100$. Результати розрахунку статистичних параметрів розподілу, а також критерію χ^2_y складають: $\sigma_y=0,53$ год, χ^2_y .

При рівні значимості $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $v=(6-1)-2=3$ квантиль $\chi^2_{4;0,95}=7,81$; так як розраховане за даними моделювання значення $\chi^2_y=1,95 < 7,81$, результати моделювання $(y_1, y_2, \dots)$, не суперечать основній гіпотезі H . Отже, можна стверджувати, що випадкова величина тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями напрямку Y , яка отримана за результатами моделювання, також розподілена по логарифмічно-нормальному закону (див. рис. 3.9).

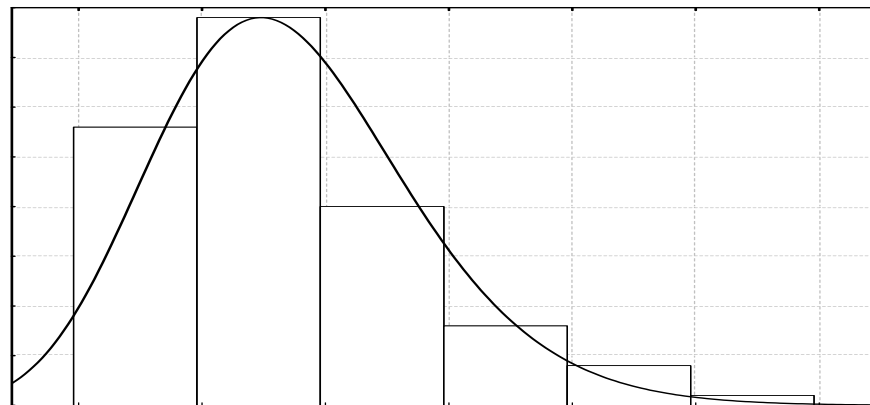


Рисунок 3.9. Гістограма розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів (данні симуляції нейромережі).

Таким чином, в результаті статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини X і Y підпорядковуються логарифмічно-нормальному закону з дуже близькими параметрами: для фактичних та розрахункових даних оцінки математичного очікування, відповідно рівні $=3,69$ год і $=3,25$ год; оцінки середнього квадратичного відхилення – охочуулювання результатам спостереження.

Для підвищення достовірності твердження про адекватність моделі по даним наведених вибірок була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї і тієї ж генеральної сукупності. Для перевірки гіпотези про однорідність двох вибірок (x_1, x_2 ,

..., .3) та $(y_1, y_2, \dots, .3)$ обсягами, відповідно, $n_x = 100$ і $n_y = 100$ був використаний U - критерій Уилкоксона [133]. Даний критерій призначений для перевірки гіпотези H про те, що функція розподілу F_X і F_Y двох генеральних сукупностей однакові ($H: F_X = F_Y$); конкуруюча гіпотеза $H_1: F_X \neq F_Y$.

Критерій Уилкоксона визначається за допомогою виразів:

.3

.3

(3.7)

де R_X, R_Y – сума рангів, які відповідають елементам вибірок x_i ($i = 1, \dots, n_x$) та y_j ($j = 1, \dots, n_y$).

Ранги r_i (r_j) являють собою номери елементів обох вибірок, розташованих в порядку зростання ($r \in [1, n_x + n_y]$). В результаті розрахунку вказаних величин для вибірок x_i та y_j були отримані значення $R_X = 9876$, $u_x = 4826$ та $R_Y = 10224$, $u_y = 5174$.

При перевірці гіпотези $H: F_X = F_Y$ проти конкуруючої гіпотези $H_1: F_X \neq F_Y$ приймається двостороння критична область; при цьому гіпотеза H

відкидається, якщо $\min(u_X, u_Y) < \dots$. Приближену величину критичного

значення при великих значеннях $n = n_x + n_y$ можна розрахувати як [133]:

(3.8)

де λ_q – квантиль порядку q логарифмічно-нормального розподілу $N(0,1)$. Квантиль q визначається згідно прийнятого рівня значимості:

(3.9)

де α – рівень значимості (прийнято α

Для вибірок, що розглядаються x_i та y_j : $n = 100 + 100 = 200$, $q = 1 - 0,05/2 = 0,975$, $\lambda_{0,975} =$

1,960 [133]. Тоді у відповідності до (3.8) . Оскільки $\min(u_X, u_Y) = 4826 > 4197,84$, то основна гіпотеза H про належність вибірок x_i та y_j до однієї генеральної сукупності не суперечить експериментальним даним і може бути прийнята.

Таким чином, можна зробити висновок, що розрахунок тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями з використанням нейромережі типу перцептрон є адекватний фактичним даним та може бути використаний про прогнозуванні поїзної роботи залізничного напрямку.

3.3 Удосконалення імітаційної моделі роботи технічної станції

Для розроблення планів роботи локомотивного парку необхідно мати дані про прогнозні моменти готовності до відправлення составів різних категорій та прогнозні моменти готовності локомотивів та бригад до поїзної роботи.

Для розв'язку цієї задачі необхідно мати відомості про:

— прогнозні моменти прибуття поїздів на станцію, а також їх категорію;

—необхідність заміни локомотивів та/або бригад, а також тривалість відповідних технологічних операцій;

—кількість та призначення вагонів, а також поточний стан сортувальних колій;

—тривалість виконання технологічних операцій при прийманні, розформуванні/формуванні та відправленні поїздів.

В дисертаційній роботі з цією метою використана імітаційна модель сортувальної станції, яка була розроблена в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна [154]. При цьому, вказана модель була удосконалена за рахунок введення моделі локомотивного депо, що, в свою чергу, складається з модулів прогнозування роботи локомотивів та локомотивних бригад.

При розробці моделі сортувальна станція розглядалась як стохастична багатофазна багатоканальна система масового обслуговування (СМО), що складається з комплексу технологічних підсистем, кожна з яких також моделюється як СМО і представляє собою окремий універсальний імітаційний модуль. Таким чином, в загальній структурі моделі сортувальної станції були виділені наступні модулі (див. рис. 3.10):

—модуль парку прибуття;

—модуль сортувального парку;

—модуль парку відправлення;

—модуль керування роботою станції.

В якості вхідного потоку заявок на обслуговування у системі використовуються результати функціонування модуля прогнозу прибуття поїздів (рис. 3.10). Модуль парку прибуття призначений для моделювання технологічного процесу обслуговування поїздів, що надходять у розформування. Модуль сортувального парку необхідний для моделювання процесу розформування, накопичення та формування составів. Модуль парку відправлення призначений для моделювання обслуговування транзитних поїздів та поїздів свого формування. Кожний з цих модулів включає наступні об'єкти:

—колійний розвиток (кількість колій та їх спеціалізація; стан колій, довжина колій, об'єкти на колії та ін.);

—виконавці технологічних операцій (бригади ПТО і ПКО, маневрові та поїзні локомотиви, сигналісти тощо), кожен з яких характеризується певними параметрами (спеціалізація виконавця, поточний стан, номер об'єкта, який обслуговує виконавець, момент початку виконання операції).

Модуль керування (МК) призначений для організації процесу обслуговування поїздів на станції (вибір черговості обслуговування, вибір колії прийому або перестановки состава, вибір виконавця технологічної операції тощо). В процесі управління роботою станції МК керується даними про поточний стан колій і виконавців, їх параметри та параметри составів.

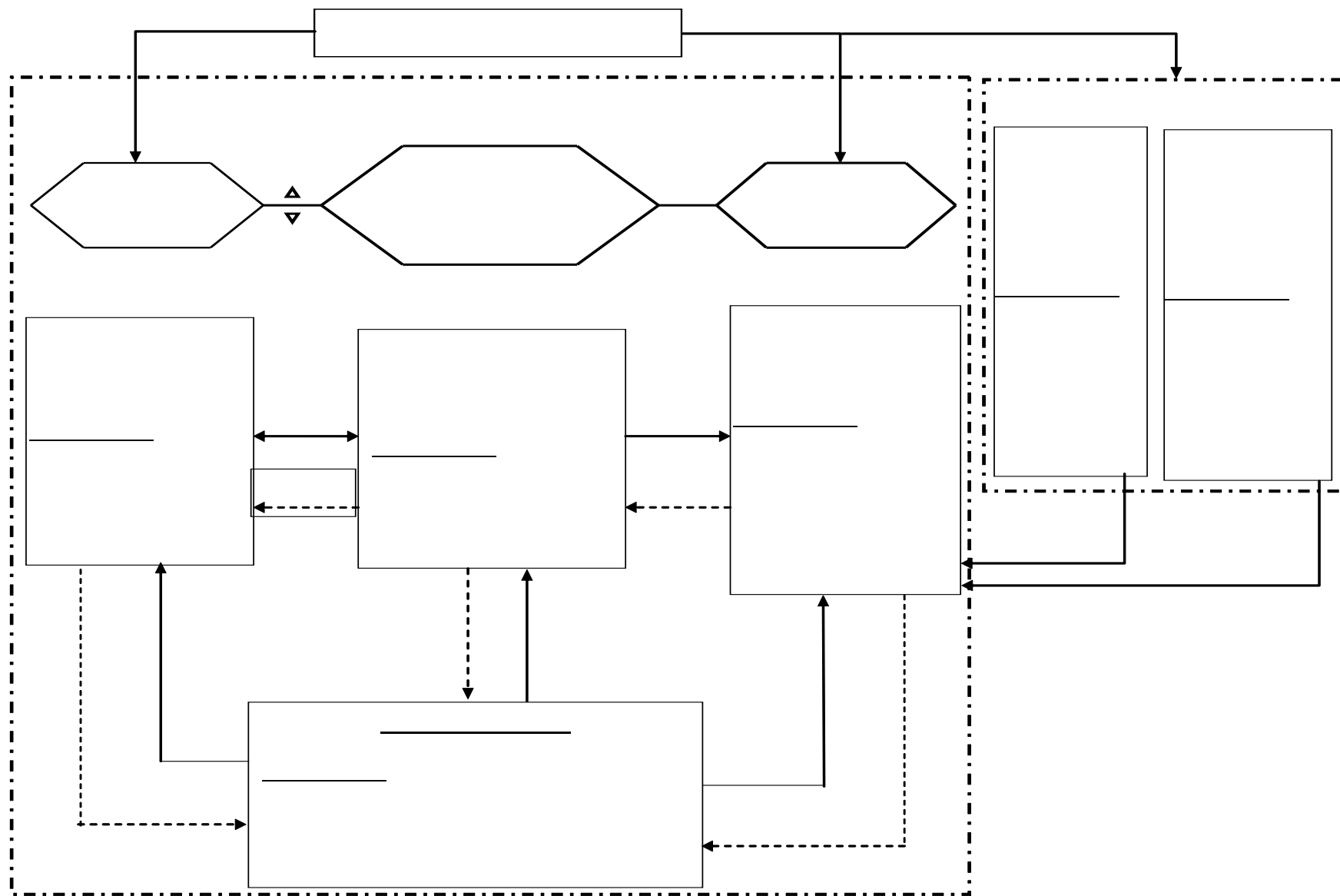


Рисунок 3.10 Структура імітаційної моделі роботи сортувальної станції

Вхідний потік поїздів для функціональної моделі технічної станції формується модулем прогнозу прибуття поїздів, а поточна ситуація на станції (знаходження вагонів, поїздів, ступінь завершення технологічних операцій з ними) формується з динамічної моделі діючої на станції автоматизованої системи керування. Після цього на основі моделювання технологічного процесу обслуговування поїздів у парках технічної станції визначаються прогнозні моменти готовності поїздів до відправлення.

Заявки на обслуговування у системі, що надходять з модулю прогнозу прибуття поїздів, представлені такою структурою:

$$N_i = \{I_i, \quad , \quad T_{\text{приб } i}, Q_i, V_i, Z_i\}, \quad i=1, \dots, N_d, \quad (3.10)$$

де I_i – індекс i -го поїзда;

$\quad$ – код станції відправлення та призначення відповідно;

$T_{\text{приб } i}$ – прогнозний момент прибуття поїзда на станцію;

Q_i – маса поїзда брутто i -го поїзда;

V_i – вектор даних про вагони i -го поїзда;

Z_i – тип локомотива;

N_d – кількість поїздів на дільниці.

Кожний парк станції в моделі представлений вектором $P = \{p_1, p_2, \dots, p_a\}$, окремий елемент якого поставлений у відповідність певній колії парку i визначається структурою:

$$p_a = \{m, n, N_p, \text{Скол}, \quad , L_{\text{max}}, L_{\text{ум}}\}, \quad (3.11)$$

де m – номер колії в парку;

n – номер парку;

N_p – номер поїзда на колії;

Скол – поточний стан колії (1 – колія зайнята, 0 – колія вільна);

$\quad$ – момент початку поточної операції на колії;

L_{max} – корисна довжина колії (в умовних вагонах);

$L_{\text{ум}}$ – сумарна умовна довжина вагонів, що знаходяться на колії в даний момент.

Для колій сортувального парку вводиться додатковий параметр $L_{\text{вікн}}$ – сумарна довжина міжвагонних «вікон» на колії.

Виконавці технологічних операцій (локомотиви, бригади ПТО, ПКО та ін.) в моделі станції визначаються наступними параметрами:

$$E_i = \{w, D, \text{Свик}, \quad \}, \quad (3.12)$$

де w – спеціалізація виконавця;

D – вектор параметрів виконавця (тип локомотива, кількість груп в бригаді ПТО тощо);

Свик – поточний стан виконавця (1 – виконавець зайнятий, 0 – виконавець вільний);

$\quad$ – момент початку поточної операції.

З метою підтвердження придатності імітаційної моделі до виконання практичних досліджень була виконана її ідентифікація та оцінка адекватності. Для ідентифікації моделі виконано комплексне дослідження на станції Нижньодніпровськ-Вузол (див. п. 2.3), за результатами якого визначені закони розподілу випадкових величин тривалості виконання технологічних операцій, а також статистичні характеристики вхідного потоку поїздів. Порівняння показників роботи сортувальної станції, отриманих на реальному об'єкті та у результаті моделювання на основі параметричного критерію Уїлксона дозволило зробити висновок про адекватність розробленої моделі реальній станції та можливість її використання для вирішення прикладних задач.

Результатом функціонування імітаційної моделі сортувальної станції є розрахунок прогнозних моментів готовності до відправлення поїздів різних категорій після виконання всіх необхідних технологічних операцій, а також графік роботи станції, фрагмент якого наведений у Додатку Д.

3.4 Математична модель роботи локомотивного депо

Одним з основних елементів прогнозу моделі поїзної роботи залізничного напрямку є математична модель роботи локомотивного депо. Дана модель призначена для вирішення двох основних задач:

1. Розрахунок прогнозних моментів готовності локомотивів до проведення ТО-1 для подальшого відправлення з поїздом з урахуванням періодичності та тривалості виконання всіх видів поточного технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу;

2. Розрахунок прогнозних моментів готовності локомотивних бригад до проведення ТО-1 локомотиву для подальшого відправлення з поїздом з урахуванням дотримання норм тривалості праці та відпочинку.

В моделі локомотивного депо для вирішення кожної з вказаних задач вбудовано модуль роботи локомотивів та модуль роботи локомотивних бригад відповідно.

3.4.1 Модуль прогнозування роботи локомотивів

Як було зазначено вище, задачею модуля роботи локомотивів є розрахунок прогнозних моментів готовності локомотивів до поїзної роботи. Для вирішення цієї задачі необхідно:

—мати дані про прогнозний час прибуття локомотива (поїзда) на технічну станцію;

—визначити необхідність проведення технічного обслуговування або ремонту локомотива відповідно до чинних норм періодичності їх виконання;

—визначити прогнозний момент готовності локомотива в залежності від необхідності та тривалості проведення ремонтних робіт.

Слід зазначити, що прогнозний час прибуття локомотива на технічну станцію отримується з модуля прогнозу прибуття поїздів, решта даних - з банку даних АСК ВП УЗ-Є. Інформація про періодичність та тривалість виконання всіх видів ремонту вантажних електровозів міститься у Додатку Е.

Локомотивний парк депо може бути представлений наступним чином:

$$L = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}, j=1, \dots, P, \quad (3.13)$$

де $L_1, L_2, \dots, L_j$ – вектори даних про локомотиви, що приписані до депо;
 P – парк локомотивів депо.

Вектор даних про j -й локомотив можна представити наступною структурою:

$$L_j = \{Z_j, NL_j, T_{\text{приб } j}, \dots\}, j=1, \dots, P, \quad (3.14)$$

де Z_j – тип j -го локомотива;

NL_j – номер j -го локомотива;

$T_{\text{приб } j}$ – прогнозний час прибуття j -го локомотива на технічну станцію (якщо локомотив знаходиться в депо, то $T_{\text{приб}}=0$);

– момент початку проведення технічного обслуговування або ремонту j -го локомотива. Якщо локомотив знаходиться в русі або в депо після обслуговування (ремонту) в очікуванні відправлення з поїздом,

то $=0$;

– момент закінчення проведення технічного обслуговування або ремонту j -го локомотива.

Після прибуття вантажного поїзда на технічну станцію локомотив може одразу бути прикріплений до наступного поїзда, якщо виконується умова:

$$t_{\text{період}} > t_{\text{факт. роб.}} + t_{\text{поїздки}}, \quad (3.15)$$

де $t_{\text{період}}$ – періодичність виконання ТО-2 чи інших видів технічного обслуговування або ремонту;

$t_{\text{факт. роб.}}$ – фактична тривалість роботи локомотива (від моменту виконання останнього технічного обслуговування або ремонту);

$t_{\text{поїздки}}$ – сумарна тривалість поїздки, що планується, в обидва кінця.

Якщо умова не виконується, то з локомотивом виконується технічне обслуговування або ремонт (див. рис. 3.11).

Слід зазначити, що поточне технічне обслуговування ТО-1 виконує локомотивна бригада під час приймання/здачі локомотива в основному та/або оборотному депо, а також під час руху поїзда та стоянок на проміжних станціях.

Момент готовності локомотива до виконання поїзної роботи визначається в залежності від його поточного стану та необхідності проведення технічного обслуговування або ремонту, а також з урахуванням тривалості проведення робіт з локомотивом. Локомотив може знаходитись в таких станах:

1. Локомотив в русі, необхідність проведення технічного обслуговування (ремонту) відсутня:

$$= T_{\text{приб}} + t_{\text{пр-відпр}}, \quad (3.16)$$

де $T_{\text{приб}}$ – прогнозний час прибуття поїзда на станцію;

$t_{\text{пр-відпр}}$ – тривалість знаходження локомотивів на станційних коліях з моменту прибуття з поїздом до відправлення без заходу в депо (див. Додаток Ж).

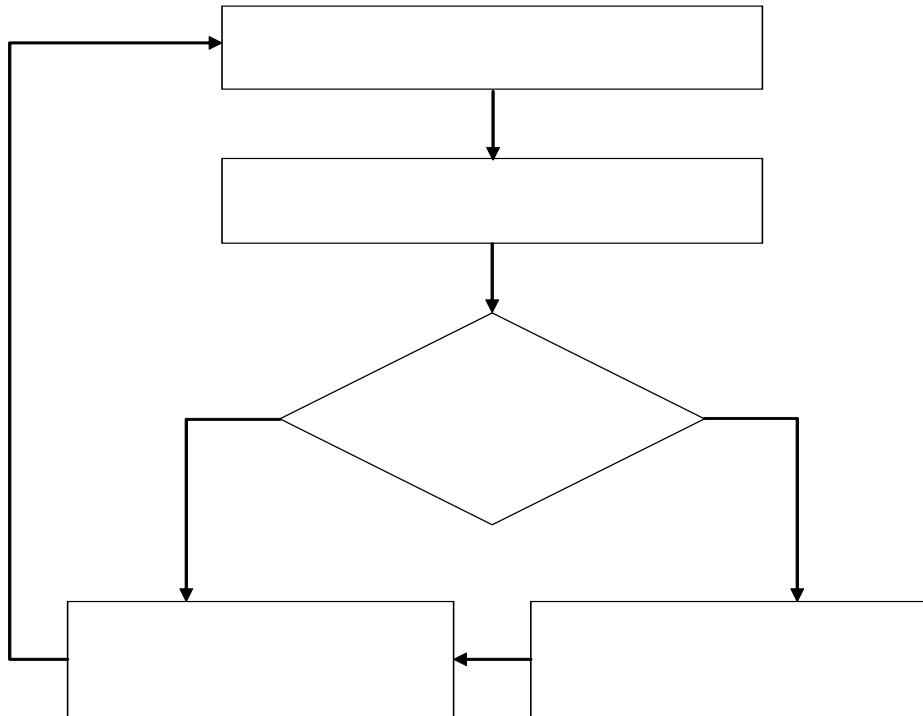


Рисунок 3.11 Алгоритм переходу локомотива від виконання поїзної роботи до проведення ремонтних робіт або очікування поїздки з поїздом

2. Локомотив в русі, існує необхідність проведення технічного обслуговування (ремонту):

$$= T_{\text{приб}} + \quad + t_{\text{ТО-1}} + t_{\text{ТО/рем}} + \quad , \quad (3.17)$$

де $T_{\text{приб}}$ - тривалість операцій по прибуттю поїзда, включаючи тривалість руху до контрольного пункту локомотивного депо (див. Додаток Ж);

$t_{\text{ТО-1}}$ - тривалість руху від контрольного пункту локомотивного депо до колій парків станції (див. Додаток Ж);

$t_{\text{ТО/рем}}$ - тривалість проведення інших видів технічного обслуговування або ремонтів локомотивів.

3. Локомотив знаходиться в депо під технічним обслуговуванням (ремонт):

$$= \quad + t_{\text{ТО/рем}} + \quad . \quad (3.18)$$

4. Локомотив знаходиться в депо після проведення технічного обслуговування (ремонту) в очікуванні відправлення з поїздом

$$= \quad . \quad (3.19)$$

Для станції Нижньодніпровськ-Вузол в Додатку Ж наведені тривалості пересувань локомотивів коліями станції згідно норм, прийнятих для планування роботи станції. Таким чином, маючи дані про періодичність та тривалість виконання технічних оглядів і ремонтів тягового рухомого складу, а також дати їх останнього проведення, можна з достовірною точністю розрахувати прогнозні моменти готовності локомотивів до поїзної роботи.

3.4.2 Модуль прогнозування роботи локомотивних бригад

Основною задачею модуля роботи локомотивних бригад є визначення прогнозного моменту готовності бригади до відправлення з поїздом. Для вирішення такої задачі необхідно:

—мати дані про прогнозний час прибуття бригади (поїзда) на технічну станцію, який розраховується модулем прогнозу прибуття поїздів на станцію;

—визначити, чи необхідно надати бригаді відпочинок, а також його тривалість відповідно до чинного законодавства [124];

—в залежності від необхідності та тривалості надання відпочинку визначити прогнозний час готовності локомотивної бригади до виконання поїзної роботи.

Вектор даних про локомотивну бригаду, відомості для якого отримуються з банку даних АСК ВП УЗ-Є, може бути представлений такою структурою:

$$\mathbf{B}_k = \{ T_{Nk}, t_{\text{явки } k}, F_k \}, \quad k=1, \dots, Y, \quad (3.20)$$

де T_{Nk} - табельний номер k -го машиніста;

$t_{\text{явки } k}$ - час явки k -го машиніста;

F_k - прізвище k -го машиніста;

Y - загальна кількість бригад, що обслуговує залізничну дільницю.

Локомотивній бригаді надається відпочинок в оборотному депо, якщо виконується умова:

$$t_{\text{п}} > t_{\text{безп}}, \quad (3.21)$$

де $t_{\text{п}}$ - тривалість поїздки в обидва кінця;

$t_{\text{безп}}$ - максимально можлива тривалість безперебійної роботи бригади.

Якщо умова не виконується, то бригаді не надається відпочинок в оборотному депо і бригада одразу може бути відправлена в зворотну сторону з поїздом (див. рис. 3.12).

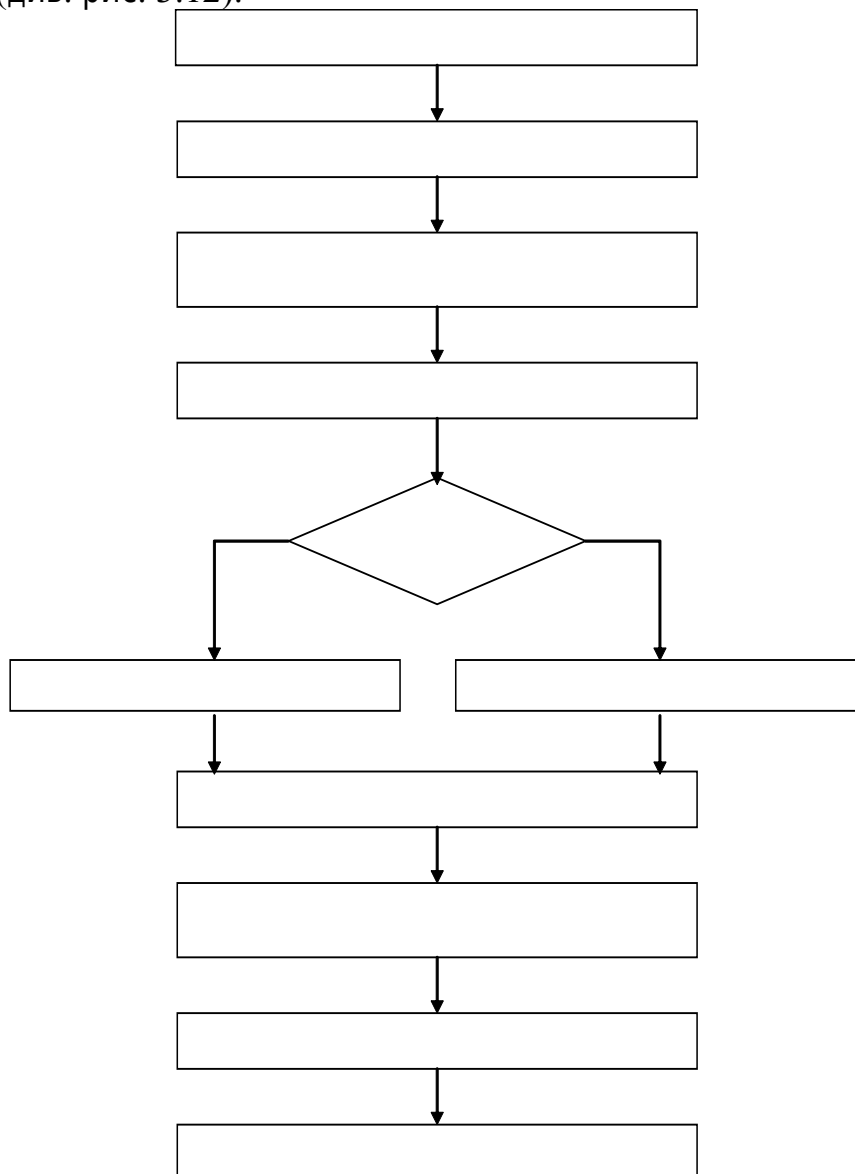


Рисунок 3.12 Алгоритм роботи локомотивної бригади від моменту явки до надання відпочинку в основному депо.

Модуль прогнозування роботи локомотивних бригад визначає для кожної бригади момент готовності до виконання поїзної роботи. Основою методики визначення моменту готовності бригади є принципи

організації роботи локомотивних бригад, наведені в п. 2.1.3.

Якщо локомотивна бригада повернулася в основне депо, то прогнозний момент готовності до наступної поїздки може бути визначений наступним чином:

$$=T_{\text{приб}} + t_{\text{зд}} + T_{\text{відп}}, \quad (3.22)$$

де $T_{\text{приб}}$ - прогнозний момент прибуття бригади (поїзда) на технічну станцію;
 $t_{\text{зд}}$ - тривалість операцій, пов'язаних зі здачею локомотива та оформленням маршруту машиніста;
 $T_{\text{відп}}$ - тривалість відпочинку в основному депо, яка визначається за методикою, наведеною в п. 2.1.3.
Якщо локомотивна бригада слідує по напрямку оборотного депо, визначається необхідність надання їй відпочинку за методикою (3.22); після чого визначається прогнозний момент готовності бригади до відправлення з поїздом.

Якщо локомотивній бригаді необхідно надати відпочинок, момент її готовності до поїзної роботи розраховується наступним чином:

$$=T_{\text{приб}} + t_{\text{збр}} + 0,5 t_p + t_{\text{пбр}}, \quad (3.23)$$

де $t_{\text{збр}}$ - час роботи бригади від моменту прибуття до здачі локомотива;
 t_p - фактичний час роботи локомотивної бригади на дільниці від явки на роботу по пункту їх приписки до моменту здачі локомотива в пункті обороту;
 $t_{\text{пбр}}$ - час роботи бригади по пункту обороту від моменту явки бригади до відправлення з поїздом.
Якщо локомотивній бригаді не потрібно надавати відпочинок, момент її готовності до поїзної роботи розраховується так:

$$=T_{\text{приб}} + t_{\text{техбр}}, \quad (3.24)$$

де $t_{\text{техбр}}$ - підготовчо-заклучний час роботи бригад по пункту обороту.
Тривалість виконання перелічених вище операцій визначається згідно технологічних процесів роботи конкретних локомотивних депо. Для локомотивного депо станції Нижньодніпровськ-Вузол тривалість технологічних операцій наведена в додатку 3.

Таким чином, маючи дані про прогнозний час прибуття бригад (поїздів) на технічні станції залізничного напрямку, дані про тривалість виконання технологічних операцій, а також необхідності надання відпочинку в оборотному депо, можна визначити прогнозний час готовності локомотивної бригади до відправлення з поїздом за умови дотримання встановлених норм тривалості праці та відпочинку.

3.5 Висновки по розділу 3

1. Ефективне оперативне планування роботи локомотивів та бригад може бути реалізовано на базі сучасної автоматизованої системи керування, основою якої є адаптивна модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку. Структура розробленої моделі включає блок формування вхідної інформації, прогнозу модель поїзної роботи напрямку, а також розрахунковий модуль. Результатом функціонування адаптивної моделі є розрахунок оперативного плану роботи локомотивів та локомотивних бригад на основі прогнозу прибуття поїздів на технічні станції та прогнозних моментів готовності составів, локомотивів та бригад до відправлення зі станції.

2. Для прогнозування тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку в оперативному режимі на основі інформації з АСК ВП УЗ-Є про поїзди запропоновано використання апарату нейронних мереж. У результаті виконаних досліджень було визначено, що для вирішення вказаної задачі прогнозування найбільш доцільним є використання нейронної мережі типу персептрон. При цьому, розмірність вхідного вектора при бінарному кодуванні інформації про поїзд складає 109 елементів, число нейронів – 200, частка відхилень прогнозних даних про тривалість руху поїзда від фактичних не перевищує 2,7%.

3. При дослідженні впливу часу та дати відправлення поїздів, а також їх маси та типу локомотивів визначено, що жоден з вказаних параметрів немає домінуючого впливу на точність прогнозування тривалості руху вантажних поїздів, тому при подальших розрахунках при прогнозуванні тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку були враховані час та дата відправлення, маса поїзда та тип локомотива.

4. При порівнянні даних прогнозу прибуття, отриманих з АСК ВП УЗ-Є, та фактичних значень часу прибуття поїздів на технічні станції, було виявлено розходження між цими даними на рівні, в середньому, 10-15%, а в деяких випадках і більше.

5. Для прогнозування моментів готовності составів удосконалена імітаційна модель технічної станції за рахунок доповнення моделлю локомотивного депо (модулів прогнозування роботи локомотивів та локомотивних бригад), ідентифікація якої була виконана на основі комплексного обстеження сортувальної станції Нижньодніпровськ-Вузол .

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУ РОБОТИ ЛОКОМОТИВІВ ТА ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД

4.1 Постановка задачі розроблення плану роботи локомотивного парку

Одним з основних етапів розробки оперативного плану роботи локомотивного парку є визначення найбільш раціональної схеми прикріплення локомотивів, бригад та составів вантажних поїздів один до одного, а також поїздів до ниток графіку. Зазначимо, що цій проблемі присвячено досить багато робіт; наприклад, у роботах [155, 156] состав спочатку забезпечується локомотивом, а потім призначається бригада. У роботі [157] дана проблема розглядається за умови технології руху поїздів за розкладом, де нитка графіка руху спочатку забезпечується локомотивом та бригадою, а потім прикріплюється состав. Наукова праця [158] присвячена оптимізації роботи локомотивних бригад при призначенні їх на поїзди (состави з локомотивами).

Для удосконалення процесу оперативного планування роботи локомотивного парку у статті [159] використовуються багатокритеріальні нечіткі моделі задачі про оптимальне призначення, де в якості критеріїв використовуються економічна оцінка та оцінка ефективності призначення локомотива на поїзда; при цьому, не враховується такий показник як пріоритет відправлення поїзда з технічної станції. У науковій праці [160] оптимізація роботи локомотивів розглядається як «задача про призначення», де локомотиви з бригадами призначаються до составів, при цьому, не враховуються локомотиви на підходах до станції, а також відсутня методика прикріплення бригад до локомотивів.

Вихідними даними задачі є:

- прогнозні моменти готовності локомотивів та бригад до виконання ТО-1 , а також прогнозні моменти готовності составів різних категорій до відправлення;
- відомості про наявність пріоритетних составів, простій яких в очікуванні відправлення повинен бути мінімальний;
- графік руху поїздів на напрямках;
- обмеження по часу роботи локомотивів (для вчасного проведення різних видів технічного обслуговування та ремонту);
- обмеження по часу роботи локомотивних бригад (для дотриманням норм тривалості праці та відпочинку);
- обмеження по тяговим плечам роботи локомотивів, а також по плечам обороту бригад.

В дисертаційній роботі постановка задачі визначення оптимального призначення бригад на локомотиви та состави вантажних поїздів зводиться до наступного: нехай є множини бригад $B = \{B_1, B_2, \dots, B_i\}, i=1, \dots, n$, локомотивів $L = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}, j=1, \dots, m$ та составів $S = \{S_1, S_2, \dots, S_u\}, u=1, \dots, v$, де n, m, v – кількість бригад, локомотивів і составів за період планування. Існують певні обмеження технічного та технологічного характеру , де k - кількість

обмежень. В залежності від того, як поєднуються окремі елементи цих множин , можна отримати певний ефект e_{iju} . Якщо i -та бригада B_i обслуговує j -й локомотив L_j та

відправляється з u -м составом S_u , то відповідна змінна x_{iju} ($i=1, \dots, n$, $j=1, \dots, m$, $u=1, \dots, v$) приймає значення $x_{iju}=1$, інакше $x_{iju}=0$. Необхідно з урахуванням обмежень

знайти такі поєднання (призначити бригади на локомотиви та до составів), при яких загальний ефект буде максимальним, тобто

(4.1)

Враховуючи тривимірність поставленої задачі взаємного ув'язування локомотивів, бригад та составів у поїзди з подальшим плануванням їх відправлення на 4-8 год, в дисертаційній роботі пропонується застосовувати метод декомпозиції; при цьому, ця задача розв'язується послідовно в два етапи [161].

Для того, щоб визначити оптимальну послідовність ув'язування локомотивів, бригад та составів у поїзди було виконано серію експериментів, в ході яких моделювались вихідні дані, наведені вище. Для кожного такого експерименту розв'язувалась оптимізаційна задача розробки плану роботи локомотивного парку в трьох варіантах (див. рис. 4.1).

а)

б)

в)

Рисунок 4.1. Варіанти розв'язку оптимізаційної задачі розробки плану роботи локомотивного парку

У результаті аналізу отриманих рішень було визначено, що у 82% випадків найкращий ефект дає перший варіант послідовності ув'язування локомотивів, бригад та составів у поїзди, при якому на першому етапі бригада призначається на локомотив, на

другому – локомотив з бригадою прикріплюється до состава (рис. 4.1, а). Другий та третій варіанти (рис. 4.1, б) та 4.1, в) відповідно) показали меншу ефективність в порівнянні з першим.

Таким чином, виконані дослідження показали, що найбільш доцільно на I-му етапі призначати бригади на локомотиви з урахуванням проведення ТО-1 та тривалості маневрових пересувань (якщо локомотив знаходиться в депо), на II-му – локомотиви з бригадами призначати для обслуговування составів, враховуючи час на виконання технологічних операцій, пов'язаних з відправленням вантажних поїздів з технічних станцій та очікування вільної нитки графіка руху. Слід зазначити, що саме такий порядок у переважній більшості випадків застосовується на залізницях України про розробці оперативних планів роботи локомотивного парку [123].

При цьому, на I-му етапі у якості критерію ефективності, на основі якого здійснюється оцінювання варіантів, доцільно обрати сукупні витрати C , пов'язані з простоями локомотивів та бригад; на II-му етапі – ефективність призначень, що враховує можливі технічні та технологічні обмеження, а також тривалість і вартість простоїв рухомого складу та локомотивних бригад.

4.2 Розв'язок задачі оптимального призначення бригад на локомотиви

На першому етапі розробки плану роботи локомотивного парку вирішується задача оптимального призначення локомотивних бригад на поїзні локомотиви. Ця задача може бути вирішена як «задача про призначення» та формулюється наступним чином: існують множини бригад $B = \{B_1, B_2, \dots, B_i\}$, $i = 1, \dots, n$ та локомотивів $L = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}$, $j = 1, \dots, m$, де n, m – кількість бригад і локомотивів за період планування. Отримати розв'язок даної задачі можна одним з відомих методів, наприклад, Угорським [161-164].

Метою задачі I-го етапу є мінімізація витрат, пов'язаних з непродуктивним простоем бригад і локомотивів тому цільова функція має наступний вид:

$$\min C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (4.2)$$

з обмеженнями

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, m \quad (4.4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4.5)$$

$$x_{ij} = 0, \quad \text{якщо } i = j \quad (4.6)$$

$$x_{ij} = 0, \quad \text{якщо } i = j \quad (4.7)$$

де c_{ij} – витрати, пов'язані з непродуктивним простоем бригад і локомотивів;

x_{ij} – змінна, що характеризує призначення бригади і на локомотив j : $x_{ij} = 1$, якщо i -та бригада призначена на j -ий локомотив, у зворотному випадку $x_{ij} = 0$;

n, m – штат локомотивних бригад та експлуатований парк локомотивів на зміну відповідно.

Обмеження (4.3) вимагає, щоб кожна бригада була призначена тільки на один локомотив, обмеження (4.4) – на кожний локомотив була призначена тільки одна бригада.

Якщо $n \neq m$, необхідно ввести до задачі «фіктивні» бригади (якщо $n < m$) або локомотиви (якщо $m < n$), щоб матриця витрат була квадратною; для фіктивних бригад або локомотивів $c_{ij} = \infty$.

При розробці плану роботи локомотивного парку слід дотримуватись певних обмежень щодо роботи як локомотивів, так і бригад. Як зазначалось у п. 3.4.1, j -й локомотив може бути задіяний у поїзній роботі, якщо виконується умова

$$t_{\text{період.}} \geq t_{\text{факт. роб.}} + t_{\text{прост.}} + t_{\text{поїздки}} \quad (4.8)$$

де $t_{\text{період.}}$ – періодичність виконання ТО-2 чи інших видів технічного обслуговування або ремонту (згідно [126]);

$t_{\text{факт. роб. } j}$ – фактична тривалість роботи локомотива (від моменту виконання останнього технічного обслуговування або ремонту);

$t_{\text{прост. } ji}$ – тривалість простою j -го локомотива в очікуванні бригади (состава);

$t_{\text{поїздки } j}$ – прогнозна тривалість поїздки, що планується. Якщо технічне обслуговування локомотива може бути виконане тільки в основному депо, то $t_{\text{поїздки } j}$ розраховується в обидва кінця з урахуванням обороту локомотива; якщо технічне обслуговування локомотива може бути виконане в оборотному депо, то $t_{\text{поїздки } j}$ розраховується в одну сторону.

Як було зазначено в п. 2.1.3, по кожному пункту явки локомотивних бригад встановлюється межа допустимого часу знаходження бригади на роботі з моменту явки, по закінченні якого забороняється відправлення її в поїздку

:

$$, \quad (4.9)$$

де $t_{\text{прост. } i}$ – тривалість простою i -ї бригади від моменту явки до закінчення виконання ТО-1 з локомотивом.

Значення величин c_{ij} заносяться у матрицю витрат, загальний вид якої наведений у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Загальний вид матриці витрат

		Локомотиви			
		L1	L2	...	Lm
Б р и г а д и	B1	c11	c12	.	c1m
	B2	c21	c22	.	c2m
	...	.	.	c_{ij}	.
	Bn	cn1	cn2	.	cnm

Бригада i очікує локомотив j , якщо вона готова до проведення ТО-1 раніше, ніж локомотив, тобто $t_{\text{прост. } i} \leq t_{\text{факт. роб. } j} + t_{\text{прост. } j} + t_{\text{поїздки } j}$; локомотив очікує бригаду, якщо $t_{\text{факт. роб. } j} + t_{\text{прост. } j} + t_{\text{поїздки } j} \geq t_{\text{прост. } i}$. Отже, для того, щоб заповнити матрицю витрат, необхідно визначити величини c_{ij} таким чином:

$$\text{якщо } t_{\text{прост. } i} \leq t_{\text{факт. роб. } j} + t_{\text{прост. } j} + t_{\text{поїздки } j}; \quad (4.10)$$

$$\text{якщо } t_{\text{факт. роб. } j} + t_{\text{прост. } j} + t_{\text{поїздки } j} \geq t_{\text{прост. } i},$$

де r_b – питомі витрати на 1 годину простою бригади, грн;

r_l – питомі витрати на 1 годину простою на станції магістрального електровоза (тепловоза) без бригади у вантажному русі, грн.;

$t_{\text{ТО-1}}$ – тривалість проведення ТО-1;

p – тривалості маневрових пересувань від локомотивного депо до колії приймально-відправного парку.

На даному етапі для кожної пари локомотива з бригадою необхідно перевірити виконання умов (4.8), (4.9); якщо умови не виконуються, тобто i -та бригада не може бути призначена на j -й локомотив, то така пара вважається забороненою:

Після заповнення матриці витрат, задача може бути розв'язана одним з відомих методів (наприклад, Угорським), в результаті чого отримуються пари локомотивів з

бригадами . Також наприкінці першого етапу отримуємо

моменти готовності локомотивів з бригадами , тобто час закінчення виконання ТО-1. Слід зазначити, що кількість локомотивів з бригадами z відповідає кількості бригад, якщо їх менше, ніж локомотивів ($n < m$) або навпаки ($n > m$) - відповідає кількості локомотивів, тобто $z = \min\{n, m\}$.

4.3 Розв'язок задачі оптимального призначення локомотивів з бригадами на состави

Призначення локомотивів з бригадами на состави являє собою більш складну задачу, ніж призначення бригад на локомотиви, оскільки в цьому випадку існує більша кількість критеріїв та обмежень, які впливають на кінцевий результат – оптимальний план роботи локомотивного парку. Відомо, що існують певні види вантажів, термін доставки яких повинен бути мінімальним, тож состави з такими вантажами повинні бути відправлені з найменшою тривалістю непродуктивного простою на технічних станціях. В локомотивних депо існує визначена спеціалізація бригад по плечам обороту, й, відповідно, трапляються випадки, коли на момент готовності до відправлення состава певного напрямку немає готової до поїзної роботи локомотивної бригади для відправлення на цей напрям.

Таким чином, на етапі призначення локомотивів з бригадами до составів необхідно врахувати не тільки тривалість та вартість простою рухомого складу і бригад, але й такі критерії, як пріоритет состава та обмеження щодо відповідності напрямку відправлення составів та плечей обороту бригад тощо. Слід зазначити, що для всіх пар (локомотивів з бригадами та составів) не існує загального правила або умов допустимості обслуговування локомотивів з бригадами составів, але такі умови можна сформулювати для кожної

конкретної пари та S_u .

У зв'язку з цим, на другому етапі розв'язку задачі розробки плану роботи локомотивного парку пропонується застосовувати математичний апарат багатокритеріальної задачі про призначення (БЗП) [165, 166], математична постановка якої в даному випадку зводиться до наступного.

Маємо z локомотивів з бригадами та v составів вантажних поїздів $S_1, S_2, \dots, S_v$. Ефективність призначення локомотива з бригадою на состав S_u позначимо через . Необхідно так розподілити локомотиви з бригадами по составах, щоб сумарна ефективність призначень була максимальною:

$$\text{з обмеженнями} \quad (4.11)$$

$$(4.12)$$

$$(4.13)$$

$$(4.14)$$

де – параметр ефективності призначення локомотива з бригадою на состав S_u ;

x_{hu} – змінна, що характеризує призначення локомотива з бригадою h на состав u : $x_{hu}=1$, якщо h -й локомотив з бригадою призначений на u -й состав, у зворотному випадку $x_{hu}=0$.

Окрім того, на цьому етапі розробки оперативного плану роботи локомотивного парку необхідно перевіряти виконання умов (4.8) та (4.9), що характеризують періодичність проведення технічних оглядів та ремонтів локомотивам та дотримання допустимих норм знаходження бригад в очікуванні відправлення зі станції відповідно.

При призначенні локомотива з бригадою на состав необхідно перевірити відповідність сили тяги локомотива F_h масі состава Q_u :

(4.15)

Локомотивні бригади кожного депо мають перелік плечей обслуговування

і, як правило, кожна бригада має досвід роботи по одному чи декількома напрямками. Напрямок плечей обслуговування бригад співпадає з напрямками відправлення составів вантажних поїздів.

Тож, при призначенні h -го локомотива з бригадою на u -й состав необхідно, щоб плече обслуговування бригади співпадало з напрямком відправлення состава, тобто

(4.16)

Якщо умови (4.15), (4.16) не виконуються, то таке призначення вважається забороненим: $G_{hu}=-\infty$.

Окрім того, маємо три критерії ефективності призначення h -го локомотива з бригадою на u -й состав, кожний з яких має вагу w_1, w_2, w_3 , яка може бути встановлена експертно.

Параметр ефективності призначення h -го локомотива з бригадою на u -й состав визначається як

(4.17)

де λ_u – параметр пріоритетності відправлення u -го состава;

t_{hu} , y_{hu} – параметри відповідно тривалості та вартості простою h -го локомотива з бригадою та u -го состава до відправлення зі станції з урахуванням очікування вільної нитки графіка руху поїздів.

Оскільки критерії ефективності мають різні одиниці виміру та відрізняються по абсолютних значенням, то їх доцільно нормалізувати та перейти до відносних показників, величини яких коливаються в межах $0 \dots 1$.

Параметр пріоритетності відправлення u -го состава залежить від категорії пріоритету

(де a – кількість категорій пріоритетності), що, в свою чергу, залежить від ситуації на період планування. Для составів з найвищим пріоритетом відправлення $K=1$, для составів з найнижчим пріоритетом (або при відсутності пріоритету) $K=a$. Таким чином, параметр пріоритетності відправлення состава u визначається за допомогою виразу

$\lambda_u=(a-K+1)/a$. (4.18)

Слід зазначити, що перерахунок параметрів пріоритетності відбувається щоразу при появі нового составу, готового до відправлення.

Параметри тривалості t_{hu} розраховуються на основі матриці тривалості простою локомотивів з бригадами та составів з урахуванням очікування вільної нитки графіка руху поїздів. Матриця тривалості простою, розмірністю $z \times v$ формується для пар $\{S_i, Su\}$, де кожна клітинка містить чотири значення: простій бригади, локомотива, состава та сумарний простій рухомого складу та бригади (див. табл. 4.2).

Таблиця 4.2 Матриця тривалості простою локомотивів, бригад та составів

	Состави вантажних поїздів		
	S1	...	Sv
	/ / /	...	
		...	

Пари локомотивів з бригада ми		/ / /		
	...	...		...
			...	

Тривалість простою і-ї локомотивної бригади від моменту явки (готовності до виконання ТО-1) до моменту відправлення поїзда зі станції з и-м составом у випадку очікування готовності состава ($M_{ji} < M_u$) можна розрахувати як

$$= \quad - \quad + \quad , \quad (4.19)$$

де $\quad$ - момент готовності і-ї бригади до виконання ТО-1.

Якщо і-та бригада не очікує готовності и-го состава ($M_u < M_{ji}$), тривалість простою бригади визначається як

$$= \quad - \quad + \quad . \quad (4.20)$$

При визначенні тривалості простою і-ї бригади необхідно перевіряти виконання умови (4.9); якщо умова (4.9) не виконується, то призначення і-ї бригади в парі $\quad$ на и-й состав вважається забороненим ($G_{hu} = -\infty$).

Простій состава $\quad$ від моменту його готовності до моменту відправлення зі станції у випадку очікування локомотива з бригадою ($M_u < M_{ji}$) можна визначити як

$$= \quad - \quad + t_{\text{техн. відпр}} + t_{\text{оч.н.}}, \quad (4.21)$$

де $\quad$ - момент готовності и-го состава до відправлення;

$\quad$ - момент готовності локомотива з бригадою $\quad$ до відправлення з поїздом з урахуванням проведення ТО-1 та маневрових пересувань по станції;
 $t_{\text{техн. відпр.}}$ - тривалість технологічних операцій, пов'язаних з відправленням вантажного поїзда з технічної станції;
 $t_{\text{оч.н.}}$ - тривалість очікування вільної нитки графіка руху поїздів.

Простій состава у випадку відсутності очікування локомотива з бригадою ($M_{ji} < M_u$) визначимо як

$$= t_{\text{техн. відпр}} + t_{\text{оч.н.}} \quad (4.22)$$

Тривалість простою j-го локомотива в парі $\quad$ від моменту його готовності до проведення ТО-1 до моменту відправлення зі станції з и-м составом у випадку очікування готовності состава ($M_{ji} < M_u$) визначається як

$$= \quad - \quad + \quad , \quad (4.23)$$

де $\quad$ - момент готовності j-го локомотива до проведення ТО-1.

Тривалість простою j-го локомотива у випадку очікування составом готовності локомотива ($M_u < M_{ji}$) визначається як

$$= \quad - \quad + \quad . \quad (4.24)$$

Необхідно зазначити, що при визначенні тривалості простою j-го локомотива слід перевіряти виконання умови (4.8); якщо умова (4.8) не виконується, то призначення пари

на и-й состав вважається забороненим ($G_{hu} = -\infty$).

Параметр тривалості простою локомотива з бригадою h та состава и з урахуванням очікування нитки графіка руху поїздів визначається як

$$\quad , \quad (4.25)$$

де α_{ij} – максимальне значення тривалості простою матриці.

Матриця вартості тривалості простою рухомого складу та локомотивних бригад (див. табл. 4.3), розмірністю $z \times v$ також формується для пар

$\{i, j\} \in S_u$, де кожна клітинка містить сумарне значення вартості простою составів, локомотивів та бригад при відповідному призначенні:

де r_{ij} – питомі витрати на 1 поїздо-годину простою на станції у вантажному русі, грн. (4.26)

Таблиця 4.3 Матриця вартості тривалості простою локомотивів, бригад та составів

		Склади вантажних поїздів		
		S1	...	Sv
Пари локомотивів з бригадами		c11	...	
		c11	...	
	...	...		...
		Cz1	...	

Параметр вартості тривалості простою локомотива з бригадою h та состава i з урахуванням очікування нитки графіка руху поїздів визначається як

(4.27)

де α_{ij} – максимальне значення вартості простою матриці.

Після визначення всіх параметрів (пріоритетності, тривалості та вартості) необхідно заповнити матрицю ефективності призначень (див. табл. 4.4) з урахуванням обмежень (4.8), (4.9), (4.15) та (4.16). Параметр ефективності призначення h -го локомотива з бригадою на i -й состав розраховується за допомогою (4.17).

Таблиця 4.4 Матриця ефективності призначень

		Склади вантажних поїздів		
		S1	...	Sv
Пари локомотивів з бригадами		G11	...	
	...	...		...
		Gz1	...	

Подальше вирішення задачі виконується одним з відомих методів (наприклад, Угорським) розв'язку задачі про призначення. При цьому, цільова функція ефективності призначень $\{i, j\} \in S_u$ досягає свого максимального значення.

Таким чином, у результаті розв'язку задачі оптимального призначення локомотивних бригад на локомотиви та склади вантажних поїздів з подальшим їх відправленням з технічних станцій, отримується оперативний план роботи локомотивного парку на 4-8 год. Необхідно зазначити, що в результаті може бути отримано кілька рівнозначних планів. У кожному такому плані відсутні заборонені перевезення, враховуються пріоритети відправлення составів, забезпечується періодичність виконання технічного обслуговування і ремонтів локомотивів, а також дотримуються норми тривалості праці та відпочинку локомотивних бригад. Остаточне рішення по вибору плану роботи локомотивного парку приймає оперативний диспетчерський персонал (ОДП).

Оперативне планування роботи локомотивного парку за вказаною методикою виконується кожні 4-8 год для кожної технічної станції залізничного напрямку: на

початку періоду планування та з наступним коригування плану роботи локомотивів та локомотивних бригад з періодичністю Δt з урахуванням зміни поїзного становища на поточний момент (рис. 4.2). При цьому, період повторного коригування плану Δt залежить від інтенсивності вхідного поїздопотоку та встановлюється експериментальним шляхом. Рішення щодо роботи локомотивного парку згідно плану, розробленого на початку періода планування або на основі відкоригованих планів, приймає ОДП.

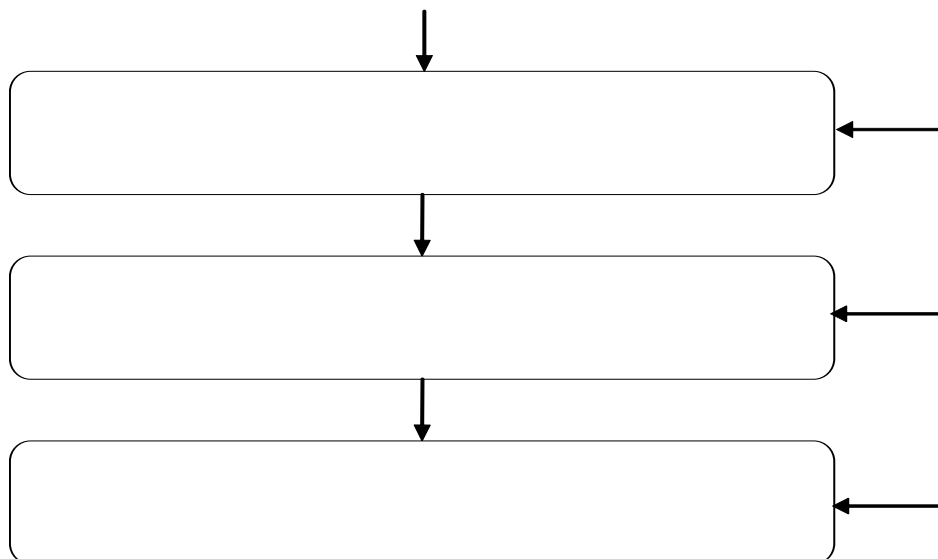


Рисунок 4.2 Порядок планування роботи локомотивного парку

Перерахунок оперативного плану відбувається при фактичному прибутті поїздів на технічну станцію, при фактичній готовності локомотивів, бригад та составів до відправлення в тому випадку, якщо фактичний час відповідної експлуатаційної події $M_{\text{факт}}$ відрізняється від прогнозного значення $M_{\text{прогн}}$ на встановлену величину ΔM , тобто якщо $|M_{\text{факт}} - M_{\text{прогн}}| > \Delta M$ (див. рис. 4.3).

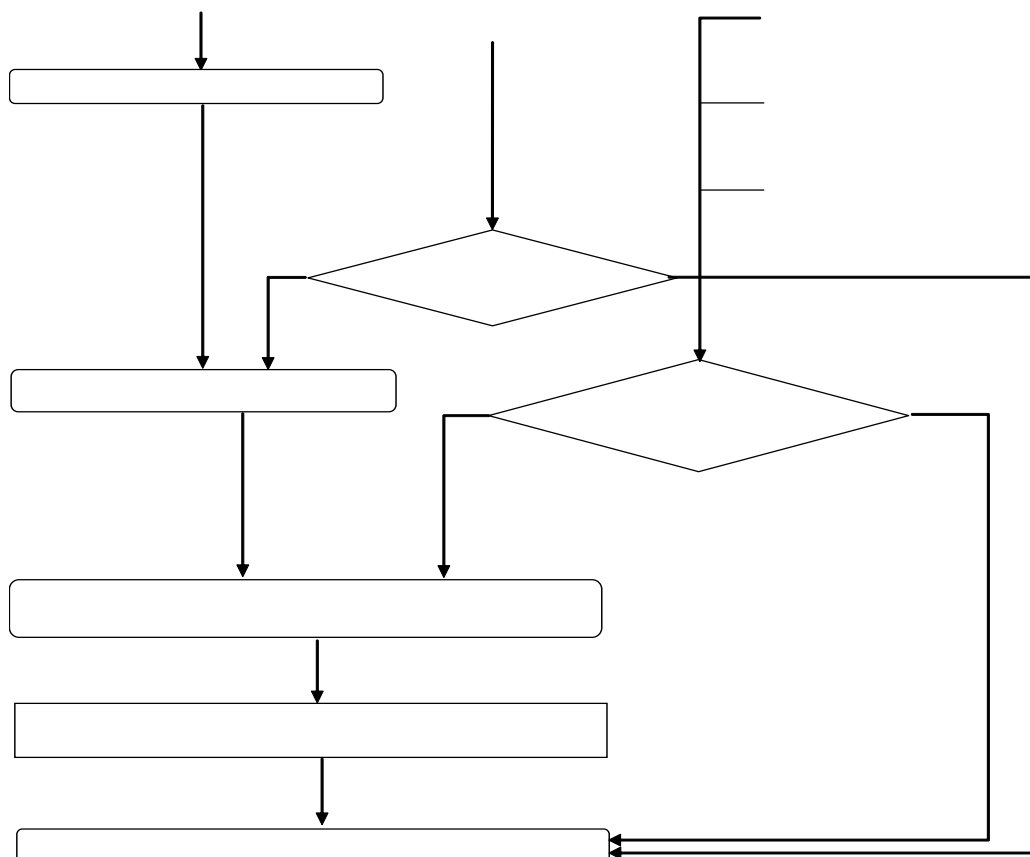
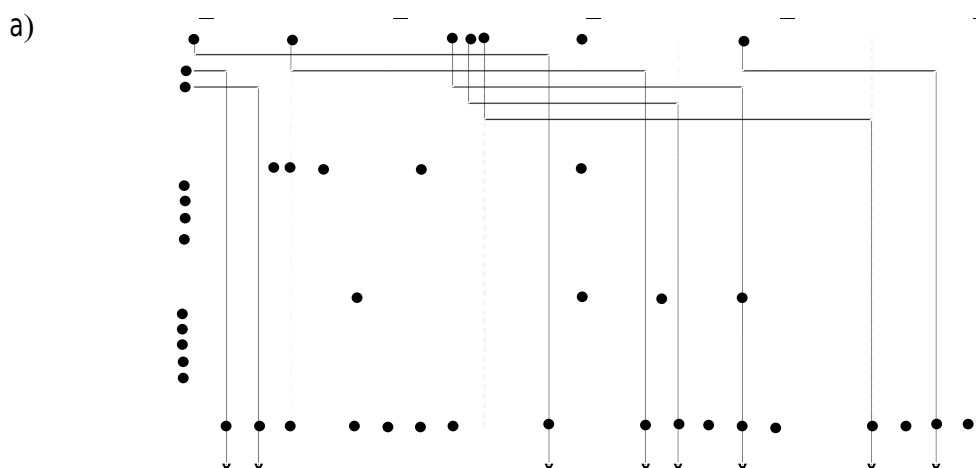


Рисунок 4.3 Алгоритм розрахунку та коригування оперативного плану роботи локомотивного парку

Для оцінки ефективності запропонованої процедури було проведено порівняльний аналіз виконаного та розробленого планів роботи локомотивного парку. Так, на рис. 4.4, а) наведено фрагмент графіку виконаного руху поїздів на станції Нижньодніпровськ-Вузол, на рис. 4.4, б) – план роботи локомотивного парку, розроблений за допомогою запропонованої оптимізаційної процедури на основі моментів готовності локомотивів, бригад та составів, отриманих з графіку виконаного руху поїздів. Наприклад, на графіку виконаного руху поїздів видно, що 7-ма бригада була призначена на 7-й локомотив та відправлена з 8-м составом, при цьому 3-й состав на 1400 залишався на станції; згідно з розробленим планом роботи, 7-ма бригада з 7-м локомотивом відправлена з 3-м составом, за рахунок чого було зменшено простій бригади з локомотивом на 40 хв (на 33% та 24%, відповідно), а 3-й состав був відправлений зі станції об 1250, що дало змогу зменшити простій цього состава мінімум на 70 хв.



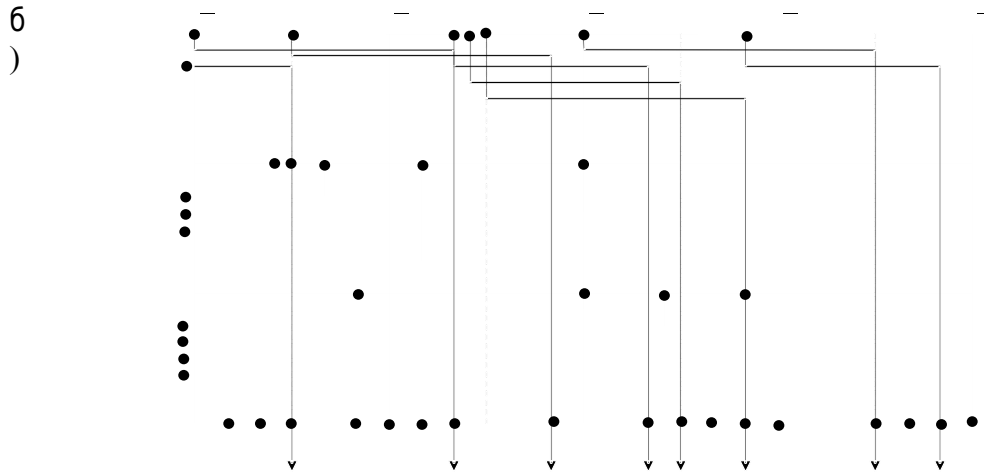


Рисунок 4.4 Графік роботи локомотивного парку на станції Нижньодніпровськ-Вузол: а) фрагмент графіку виконаного руху поїздів; б) план роботи, розроблений з використанням запропонованої оптимізаційної процедури

Для наведеного прикладу, при використанні розробленого методу розрахунку оперативних планів роботи локомотивного парку, простій рухомого складу зменшився на 2 год 35 хв (на 7%), при цьому, загальні експлуатаційні витрати, пов'язані з простоєм рухомого складу та локомотивних бригад зменшились на 1858,86 грн (15% порівняно з планом роботи локомотивного парку, який був фактично реалізований).

4.4 Методика коригування плану роботи локомотивних бригад

Аналіз будь-якого плану роботи локомотивного парку дає можливість виявити причини непродуктивного простою як составів, так і локомотивів з бригадами. На основі такого аналізу можна виявити випадки очікування локомотивними бригадами готовності составів вантажних поїздів і навпаки. Відповідно до цього можна відкоригувати час явки бригади на величину або відповідно (див. рис. 4.5). В тому числі, можна виявити нестачу або надлишок локомотивних бригад та змінити кількість бригад, що являються протягом періоду планування.

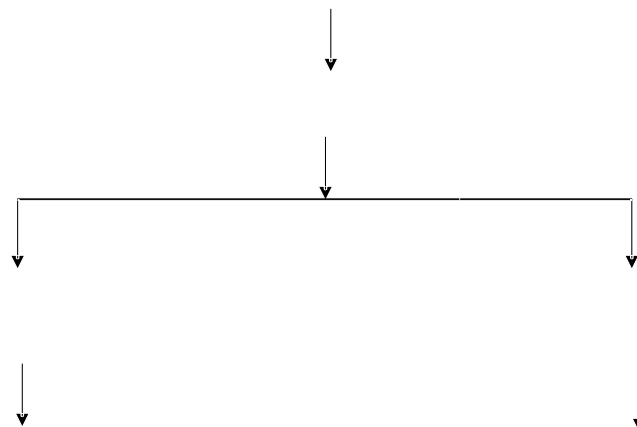


Рисунок 4. 5 –Алгоритм коригування часу явки бригади

У випадку очікування локомотивною бригадою і готовності состава и, бригаду можна викликати пізніше на

$$\Delta t_i = -t_{\text{технол}}, \quad (4.28)$$

де - простій і-ї бригади з моменту явки;

ітехнол - сумарна тривалість технологічних операцій по прийманню локомотива, випробування гальм тощо.

Якщо готовий до відправлення состав очікує локомотив з бригадою через пізню явку останньої, то для зменшення такого простою, локомотивну бригаду необхідно викликати раніше на величину

$$\text{якщо} \quad ; \quad (4.29)$$

$$\text{якщо} \quad .$$

З наведеного прикладу на рис. 4.4, а) бригада №8 простоює більше 2-х годин; в розрахунковому плані (рис. 4.4, б) непродуктивний простій цієї бригади складає 30 хв, отже бригаду №8 можна викликати пізніше на 30 хв.

В цілому, як показали дослідження, використання запропонованого методу коригування часу явки локомотивних бригад дало зменшити тривалість непродуктивних простоїв бригад на 10-12%.

4.5 Висновки по розділу 4

1. В дисертаційній роботі задачу розробки оперативного плану роботи локомотивного парку пропонується вирішувати з використанням методу декомпозиції, розділивши її на два етапи: на першому етапі призначаються бригади на локомотиви за умови мінімізації вартості простоїв рухомого складу та бригад; на другому етапі локомотиви з бригадами призначається на состави вантажних поїздів.

2. Призначення бригад на локомотиви визначається з використанням математичного апарату задачі про призначення. Метою даної задачі є мінімізація витрат, пов'язаних з непродуктивними простоями локомотивів та бригад.

3. Призначення локомотивів з бригадами на состави пропонується визначати з використанням багатокритеріальної задачі про призначення. Окрім обмежень щодо періодичності виконання технічного обслуговування локомотивів і дотриманням норм праці та відпочинку локомотивних бригад, враховуються відповідність плечей обслуговування бригад напрямкам відправлення составів, а також відповідність сили тяги локомотива масі состава. Мета задачі – розподілити локомотиви з бригадами на состави таким чином, щоб сумарна ефективність всіх призначень була максимальною. При цьому, зменшується тривалість та вартість непродуктивних простоїв рухомого складу та бригад, а також враховується пріоритетність відправлення составів вантажних поїздів з технічних станцій.

4. Запропонований метод планування роботи локомотивного парку дає можливість завчасно проаналізувати роботу локомотивних бригад, виявити їх нестачу або надлишок та відкоригувати час явки бригад з метою зменшення їх непродуктивного простою в очікуванні готовності составів і навпаки на 7-9%.

5. Використання розробленого методу дозволяє скоротити тривалість непродуктивних простоїв рухомого складу та локомотивних бригад на 5-10%, експлуатаційні витрати, пов'язані з простоєм составів, локомотивів та бригад, – на 10-15%.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичне завдання підвищення ефективності перевізного процесу на залізничних напрямках за рахунок удосконалення оперативного керування експлуатацією парку вантажних локомотивів.

1. Виконаний аналіз наукових праць, присвячених проблемі оперативного керування експлуатацією локомотивного парку, показав, що вона є остаточно невирішеною; існуючі методи не повною мірою враховують сучасні умови функціонування залізничного транспорту, серед яких дефіцит справного тягового рухомого складу для організації вантажних перевезень та значний рівень зношена явного ності локомотивного парку (до 99%).

2. Аналіз сучасних умов організації роботи вантажних локомотивів на залізничних напрямках дозволив виявити недоліки існуючої системи оперативного планування роботи локомотивного парку, що призводять до непродуктивних простоїв локомотивів, бригад та составів на технічних станціях. Так, середній простій составів в очікуванні подачі поїзних локомотивів на технічних станціях становить 1,5 год., що складає 10...60% від загальної тривалості знаходження вагонів на станції, а частка очікування составами локомотивів з бригадами складає близько 60%.

3. Аналіз тривалості руху поїздів показав, що на тривалість знаходження поїзда на дільниці суттєво впливають час та дата його відправлення з сусідньої технічної станції, а також маса поїзда та тип локомотива. Отримані результати можуть бути використані при прогнозуванні тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку.

4. В дисертаційній роботі розроблено адаптивну математичну модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку, складовими якої є прогнозна модель поїзної роботи напрямку та розрахунковий модуль. Дана модель призначена для розроблення оперативного плану роботи локомотивного парку на основі прогнозних моментів готовності составів, локомотивів та бригад до відправлення з технічної станції.

5. При розробленні модуля прогнозування прибуття поїздів на технічні станції використано апарат штучний нейронних мереж, а саме мережу типу перцептрон. Використання нейромережі дає можливість врахувати момент відправлення поїзда, його масу та тип локомотива для визначення прогнозованої тривалості руху поїзда між технічними станціями. Похибка отриманих результатів не перевищує 5%; адекватність розробленої моделі підтверджена на основі U-критерія Уїлкоксона.

6. В дисертаційній роботі удосконалено імітаційну модель сортувальної станції за рахунок її доповнення моделлю локомотивного депо, що дозволяє визначати прогнозні моменти готовності составів, локомотивів та бригад до відправлення для подальшого розроблення оперативних планів роботи локомотивного парку.

7. Розрахунок оперативних планів роботи локомотивного парку запропоновано здійснювати з використанням математичного апарату багатокритеріальної задачі про призначення, що дає можливість врахувати множину можливих обмежень та критерії ефективності, серед яких відповідність напрямку відправлення составів плечам обслуговування локомотивних бригад, наявність пріоритетів відправлення составів, відповідність тягових характеристик локомотивів параметрам составів, тривалості простоїв локомотивів, бригад та составів, сумарна вартість простою рухомого складу та локомотивних бригад.

8. Запропонована процедура розрахунку оперативного плану роботи локомотивного парку дає можливість завчасно проаналізувати роботу локомотивних бригад, виявити їх нестачу або надлишок та відкоригувати час явки бригад з метою зменшення їх непродуктивного простою в очікуванні відправлення зі станції.

9. Використання розробленої процедури розрахунку оперативного плану роботи локомотивного парку дозволяє скоротити тривалість непродуктивних простоїв рухомого складу та локомотивних бригад на 5-10%, а експлуатаційні витрати, пов'язані з простоєм составів, локомотивів та бригад, – на 10-15%.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року. Схвалено розпорядженням КМУ від 16.12.2009р. № 1555-р [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1555-2009-p>
2. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Схвалено розпорядженням КМУ від 20.10.2010 р. № 2174-р [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>
3. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. Постанова КМУ від 16.12.2009 р. N 1390 [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-n>
4. Довідник основних показників роботи залізниць України (1992-2002) [Текст] – К.: Укрзалізниця. – 2003. – 40 с.
5. Довідник основних показників роботи залізниць України (2004-2014) [Текст] – К.: Укрзалізниця. – 2015. – 59 с.
6. Транспорт і зв'язок України у 2012 році. Статистичний збірник. [Текст] // Київ: ДП “Інформаційно-аналітичне агентство» – 2013 – 269 с.
7. Офіційний сайт Укрзалізниці. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>
8. Марценюк, Л.В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів [Текст] / Л.В. Марценюк // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. Зб. наук. праць НАУ. Київ: НАУ. – 2012. – Вип. №33. – с. 141-147.
9. Бутько, Т.В. Удосконалення управління процесом просування поїздопотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін, Ю.В. Доценко // Зб. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 22. – С. 18-26.
10. Вернигора, Р.В. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №5/3 (59). – с. 16-19.
11. Козаченко, Д. Н. Перспективы использования частной локомотивной тяги на магистральном железнодорожном транспорте Украины [Текст] / Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора, Н.И. Березовый // Українські залізниці – 2013. №1. – с. 50-55.
12. Громов, Г.Н. У крупненный метод нормирования парка локомотивов [Текст] / Г.Н. Громов // Железнодорожный транспорт. - 1972. - №10. - С. 16-17.
13. Некрашевич, В.И. Методика расчета потребности в локомотивах при их оперативном секционировании и кратной тяге [Текст] / В.И. Некрашевич, А.И. Игнатов // Вестник ВНИИЖТ. - 2008. - №2. - С. 24-30.
14. Бурдонов, С.К. Улучшение использования локомотивов на больших полигонах [Текст] / С.К. Бурдонов, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. - 1981.- №2. - С. 49-54.
15. Гусев, В.С. Оперативное регулирование локомотивным парком на удлинённых участках обращения [Текст] / В.С. Гусев, Ф.К. Макаев // Железнодорожный транспорт. - 1983. - №10. - С. 20-22.
16. Баврин, Г.Н. Суточное планирование потребности в локомотивах грузового движения [Текст] / Г.Н. Баврин, В.Н. Коротков // Железнодорожный транспорт.- 2008.- №11.- С. 11-13.

- 17.Котляренко, Ф.М. Маршрутная система эксплуатации локомотивов на больших полигонах [Текст] / Ф.М. Котляренко, И.М. Косиков, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. - 1982. - №5. - С. 10-13.
- 18.Ременный, А.С. Организация высокопроизводительного использования локомотивов [Текст] / А.С. Ременный, Г.Н. Кегелес // Железнодорожный транспорт. - 1972. - №6. - С. 25-29.
- 19.Горский, А.В. Влияние системы ремонта локомотивов на обслуживание поездов [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев, В.А. Козырев, В.М. Куанышев // Железнодорожный транспорт. - 1994. - №11. - С.12-16.
- 20.Жуковицький, І.В. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад [Текст] / І.В. Жуковицький, В.В. Скалзуб, О.В. Ветрова, О.Л. Зіненко // Вісник ДНУЗТ. - Д., 2006. - Вип. 12. - С. 74-78.
- 21.Жуковицький, І.В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів [Текст] / І.В. Жуковицький, А.Б. Устенко, О.Л. Зіненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2011. - №5. - С. 51-56.
- 22.Козлов, П.А. Модель оптимального графика оборота поездных локомотивов [Текст] / П.А. Козлов, С.П. Вакуленко // Вестник ВНИИЖТ. - 2015. - №2. - С. 15-20.
- 23.Некрашевич, В.И. Оперативное регулирование локомотивным парком [Текст] / В.И. Некрашевич // Железнодорожный транспорт. - 1981. - №5. - С. 53-56.
24. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич, А.И. Моргунов // Вестник ВНИИЖТ. - 2005. - №3. - С. 20-25.
- 25.Некрашевич, В.И. Управление эксплуатацией локомотива. Уч. пос. [Текст] / В.И. Некрашевич, В.И. Апатцев // М.: РГОТУПС, 2004. - 257с.
- 26.Толкачева, М.М. Труды Организация труда локомотивных бригад [Текст] / М.М. Толкачева// Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. - М. : Трансжелдориздат. Вып. 197. - 1960. - 111 с.
- 27.Бархатный, В. Д. Выбор участков и способов организации работы локомотивных бригад [Текст] / В. Д. Бархатный, В.Д. Крюков // М. : Транспорт, 1974. - 36 с.
- 28.Некрашевич, В.И. Удлиненные состыкованные участки работы локомотивных бригад и эффективность их применения [Текст] / В.И. Некрашевич, Н.И. Капустин // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №3. - С. 6-10.
- 29.Давыдов, А.В. Совершенствование организации труда локомотивных бригад [Текст] / А.В. Давыдов, П.Н. Рубежанский // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №4. - С. 20-24.
- 30.Бутько, Т.В. Обґрунтування доцільності впровадження подовжених пліч оберту локомотивів та локомотивних бригад при пропуску поїздів за «жорсткими» нитками графіка [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, Т.О. Костиркіна // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. - 2010. - Вип. 119. - С. 25-28.

31. Менжулина, Л. Когда на плечо не давит [Текст] / Л. Менжуліна // Магістраль.- 2012.- № 17-18.
32. Прийняті конструктивні рішення // Придніпровська магістраль. – 2013. - №2. – С. 3.
33. Высоцкий, Ю.Л. Улучшение организации труда локомотивных бригад [Текст] / Ю.Л. Высоцкий // Железнодорожный транспорт. - 1971. - №6. - С. 30-32.
34. Дорошенко, А. А. Нововведения на Придніпровській залізничній дорозі: скорочення накладного часу роботи локомотивних бригад [Текст] / А.А. Дорошенко // Локомотив-інформ. - 2012. - № 8. - С. 43.
35. Нестеренко, С.И. Методика комплексного планирования работы локомотивных бригад депо на предстоящий планируемый год [Текст] / С.И. Нестеренко // Планирование и организация работы локомотивных бригад Сб. науч. тр / ДИИТ. - Днепропетровск, 1980. - Вып. 213/13. - С. 10-28
36. Крючкова, С.В. Основные принципы алгоритмизации составления годовых планов работы локомотивных бригад на уровне депо в условиях сложившихся контингентов бригад [Текст] / С.в. Крючкова, С.И. Нестеренко // Планирование и организация работы локомотивных бригад: Сб. науч. тр / ДИИТ. - Днепропетровск, 1980. - Вып. 213/13. - С. 29-39.
37. Киселев, К.С. Организация вычислительного процесса при составлении годовых планов работы локомотивных бригад с помощью ЭВМ [Текст] / К.С. Киселев, Л.Н. Чумак, А.Г. Евтушенко // Математическое моделирование в задачах железнодорожного транспорта : Межвуз. сб. науч. тр. / ДИИТ. - Днепропетровск, 1988. - Вып. 265/1. - С. 34-38.
38. Ковалев, В.Н. Нормирование локомотивных парков и работы локомотивных бригад [Текст] / В.Н. Ковалев // Железнодорожный транспорт.- 2008.- №11.- С. 25-29
39. Киселев, К.С. Общие принципы повышения эффективности работы локомотивных бригад на заданном полигоне [Текст] / К.С. Киселев, С.И. Нестеренко // Вопросы эксплуатации железных дорог : Труды ДИИТа. - Днепропетровск, 1977. - Вып. 193/5. - С. 68-73.
40. Киселев, К.С. Исследование вопросов оптимального распределения объемов работы локомотивных бригад между основными депо полигона [Текст] / К.С. Киселев // Планирование и организация работы локомотивных бригад : Сб. науч. тр / ДИИТ. - Днепропетровск, 1980. - Вып. 213/13. - С. 40-56.
41. Крюков, Н.Д. Автоматизация сменно-суточного планирования эксплуатационной работы дороги [Текст] / Н.Д. Крюков // Труды ВНИИЖТ. - М., Транспорт. - 1975. - Вып. 534. - 128 с.
42. Воблова, Л. А. Оперативное управление работой локомотивов и локомотивных бригад с применением ЭВМ [Текст] / Л.А. Воблова, Т.И. Гончарова // Труды ВНИИЖТа. - М., 1980. - Вып. 632 - С. 109-119.
43. Киселев, К.С. Оптимизация времени нахождения локомотивных бригад в пунктах оборота методом минимальных разностей [Текст] / К.С. Киселев, С.И. Нестеренко // Автоматическое управление и вычислительная техника на железнодорожном транспорте : Труды ДИИТа. - Днепропетровск, 1975. - Вып. 162/6. - С. 71-74.

44. Киселев, К.С. Применение ЭВМ для распределения поездов между смежными основными депо при организации работы локомотивных бригад способом накладных плеч [Текст] / К.С. Киселев // Планирование и организация работы локомотивных бригад : Сб. науч. тр / ДИИТ. - Днепропетровск, 1980. - Вып. 213/13. - С. 57-71.
45. Дашкевич, А.Б. Работа локомотивных бригад по именным графикам [Текст] / А.Б. Дашкевич, М.М. Ремизов // Железнодорожный транспорт. - 1976. - №2. - С. 60-61.
46. Помазунов, С.И. Планирование и организация работы локомотивных бригад [Текст] / С.И. Помазунов, Ю.А. Муха, С.И. Нестеренко // Железнодорожный транспорт. - 1977. - №6. - С. 41-44.
47. Щенников, Л.Н. Рациональная организация труда локомотивных бригад [Текст] / Л.Н. Щенников // Железнодорожный транспорт. - 1981. - №2. - С. 20-23.
48. Бархатный, В. Д. Принцип разработки именных графиков и безвызывной системы при частичной стабилизации графика движения грузовых поездов [Текст] / В.Д. Бархатный, Л.А. Воблова, В.Л. Сальченко // Труды ВНИИЖТа. - М., 1984. - Вып. 676 - С. 65-68.
49. Некрашевич, В.И. Организация работы локомотивных бригад по именным графикам [Текст] / В.И. Некрашевич, В.Л. Сальченко, В.Н. Ковалев // Железнодорожный транспорт. - 2004. - №10. - С. 32-36.
50. Пазойский, Ю.О. Автоматизация составления графика работы локомотивных бригад в пригородном сообщении [Текст] / Ю.О. Пазойский // Вестник ВНИИЖТ. - 1996. - №4. - С. 33-39.
51. Ковалев, Н.В. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад [Текст] / Н.В. Ковалев, В.Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТ. - 2008. - №1. - С. 38-42.
52. Дадочкин, Г.В. Совершенствование организации труда локомотивных бригад на грузонапряженных направлениях [Текст] / Г.В. Дадочкин, А.И. Карновский, В.О. Бондаренко, В.С. Лигоненко // Вопросы эксплуатации железных дорог : Труды ДИИТа. - Днепропетровск, 1970. - Вып. 96. - С. 103-108.
53. Кельперис, П.И. Работе локомотивных бригад – современные методы планирования и управления [Текст] / П.И. Кельперис, Ю.А. Муха, С.И. Нестеренко // Железнодорожный транспорт. - 1982. - №1. - С. 22-25.
54. Кузьмин, А.В. Планирование работы локомотивных бригад в крупном узле [Текст] / А.В. Кузьмин, А.Н. Ильин, Д.П. Бережонок // Железнодорожный транспорт. - 2004. - №10. - С. 32-36.
55. Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивных бригад грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №1. - С. 28-35
56. Кирпичев, Д.А. Сменно-суточное и текущее планирование [Текст] / Д.А. Кирпичев // Железнодорожный транспорт. - 2008. - №11. - С. 30-32.
57. Векуа, Ш.М. Регулирование локомотивов в условиях стабилизации грузового движения [Текст] / Ш.М. Векуа, В.И. Некрашевич, Д.В. Максимов // Железнодорожный транспорт. - 1983. - №10. - С. 29-31.
58. Бачинська, Є.Б. Аналіз технології взаємодії у підсистемах сортувальної станції та локомотивного депо [Текст] / Є.Б. Бачинська, О.А. Малахова // Збірник

наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 118. – С. 192-197.

59.Атякин, Д.И. Обеспечение беспрепятственного пропуска и своевременного вывоза поездов со станции [Текст] / Д.И. Атякин // Железнодорожный транспорт.- 2008.- №2.- С. 26-27.

60.Волков, В.С. Технология, обеспечивающая организацию движения грузовых поездов по твердому графику [Текст] / В.С. Волков// Вестник ВНИИЖТ . - 2007. - №3. - С. 17-23.

61.Шапкин, И.Н. Твердый подекадный график движения грузовых поездов как одно из решений проблемы адаптации графика к колебаниям вагонопотоков [Текст] / И.Н. Шапкин, Е.М. Кожанов // Вестник ВНИИЖТ. - 2007. - №3. - С. 30-33 .

62.Кужель, А.Л. Новый подход к управлению вагонопотоками [Текст] / А.Л. Кужель, И.Н. Шапкин, А.Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт.- 2010.- №10 .- С. 19-24.

63.Некрашевич, В.И. Каким быть графику грузового движения [Текст] / В.И. Некрашевич, А.Ф. Бородин// Железнодорожный транспорт. - 1992. - №12. - С. 2-8.

64. Бородин, А.Ф. Улучшать использование грузовых локомотивов [Текст] / А.Ф. Бородин, В.Н. Костин// Железнодорожный транспорт. - 1994. - №12. - С. 16-19.

65.Дронов, В.А. Рациональная эксплуатация локомотивов [Текст] /В.А. Дронов, А.Ф. Бородин, В.Н. Ковалев // Железнодорожный транспорт. -1996. - №9. - С. 15-19.

66.Бородин, А.Ф. Экспериментальная проверка технологии поездной работы про постоянных размерах грузового движения и нефиксированных массе и длине составов [Текст] / А.Ф. Бородин, М.Ф. Васин, М.В. Суслов, Е.В. Трисчев // Вестник ВНИИЖТ. - 1993. - №5. - С. 3-7.

67.Некрашевич, В.И. Автоматизация управления локомотивными парками [Текст] / В.И. Некрашевич, В.Л. Сальченко, В.Н. Ковалев // Железнодорожный транспорт.- 2000.- №5.- С. 30-35.

68.Поплавский, А.А. Сквозное оперативное управление поездной работой на направлениях [Текст] / А.А. Поплавский, А.И. Лизунов // Железнодорожный транспорт.- 2007.- №1.- С. 16-24.

69.Шаров, В.А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию [Текст] / В.А. Шаров, А.Ф. Бородин// Железнодорожный транспорт. - 2011. - №8. - С. 11-22.

70.Конкуренция на железнодорожном транспорте Германии: 20 лет спустя [Текст] // Железные дороги мира. – 2013. - №7. - С. 11-21.

71.Швейцарская модель управления [Текст] // Железные дороги мира. 2013, №6. С. 9-13.

72.Рынок лизинга локомотивов [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - № 3. - С. 23-28.

73.Kozachenko, D. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule [Текст] / D. Kozachenko, R.Vernigora, V.Balanov, N. Berezovy, L.Yelnikova, Yu.Germanyuk // Transport Problems. – 2016. - Vol. 11, Issue 1. - p. 41-48

74. 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.
75. 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.
76. Хоодаківський, О.М. Дослідження роботи південної та північної сортувальних систем станції Основа на основі сучасних програмних засобів [Текст] / О.М. Хоодаківський, Д.В. Шумик, С.Д. Бронза, К.С. Кирпиченко // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2010. – № 5/6. – С. 18-23.
77. Нагорный, Е. В. Моделирование функционирования комплекса “Сортировочная станция - прилегающие участки ” с помощью сетей Петри [Текст] / Е.В. Нагорный, Е.С. Альошинский // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – С. 98 - 103.
78. Нагорний, Є.В. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу "Сортувальна станція - прилеглі ділянки" [Текст] / Є.В. Нагорний, Є.С. Альошинський // Зб. наук. праць ХарДАЗТ, - Вип. 42. - 2000. - с. 51-57.
79. Лаврухін, О.В. Удосконалення системи оперативного керування експлуатаційної роботи сортувальної станції [Текст] / О.В. Лаврухін, Ю.С. Старостіна // збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2008. – №13. – С. 12-21.
80. Лаврухін, О.В. Удосконалення технології змінно-добового планування рівня станції на основі нейронних мереж [Текст] / О.В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – №1. – С. 10-14.
81. Пахомова, В.М. Розробка підсистеми оперативного прогнозування простоїв прибуваючих поїздів на основі ANFIS-системи [Текст] / В.М. Пахомова, С.Ю. Дмитрієв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – №4. – С. 46-55.
82. Лаврухін, О.В. Формування моделі визначення оперативного плану роботи залізничної станції [Текст] / О.В. Лаврухін, Т.Б. Демченко, В.С. Хансверов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 135. – С. 54-58.
83. Лаврухін, О.В. Формування оптимізаційної моделі розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції [Текст] / О.В. Лаврухін, Ю. В. Доценко, П.В. Долгополов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 137. – С. 30-34.
84. Лаврухін, О.В. Удосконалення автоматизованої технології оперативного планування роботи залізничної станції [Текст] / О.В. Лаврухін, О.В. Митрофанова // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 144. – С.35-40.
85. Рахмангулов, А.Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе Anylogic [Текст] / А.Н. Рахмангулов, П.Н. Мишуров // Сборник научных трудов SWorld. Матер. междунаучно-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании – 2012». – Одесса: Купrienko – Вип. 4., Том 2 – 2012. – с. 7-13.

86.Запара, Я.В. Імітаційна модель технології роботи залізничного вузла [Текст] / Я.В. запара, Є.В. Запара // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2012. - № 2. – С. 79-86.

87.Данько М.І. та ін. Мікропроцесорна диспетчерська централізація “КАСКАД” / М.І. Данько, В.І. Мойсеєнко, В.З. Рахматов, В.І. Троценко, М.М. Чепцов: Навч. посібник. – Харків, 2005. – 176 с.

88.Шапкин, И.Н. Инструменты бизнес-анализа в технологии оперативного планирования и управления поездной работой [Текст] / И.Н. Шапкин, А.Н. Вдовин // железнодорожный транспорт. – 2013. - №8. – С. 29-33.

89.Гайков, А. Р. Інтелектуальні транспортні системи в Україні [Електронний ресурс] / А. Р. Гайков, О. П. Євсєєва, О. В. Баранов, В. Ю. Баранов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 106-112. Режим доступу - <http://www.kpi.kharkov.ua/archive/86.pdf>

90.Уманский, В.И. Общие принципы интеллектуализации станционных систем управления [Текст] / В.И. Уманский, С.И. Долганюк // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. - №6. – С. 8-12.

91.Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы [Текст] / А. В. Лаврухин //Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2015. – №. 1 (55).- С.43-53.

92.Функциональное моделирование работы железнодорожных станций [Текст]: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин; Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2015. – с.244.

93.Яновський, П.О. Встановлення впливу різних факторів на час знаходження поїздів на залізницях і визначення його тривалості в умовах функціонування автоматизованої системи моделювання та аналізу [Текст] / П.О. Яновський // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2008. - № 1. – С. 3-9.

94.Бутько, Т.В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту [Текст] / Т.В. Бутько, О.В. Лаврухін // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. - №8. – С. 21-29.

95.Лысыков, М.Г. Система планирования показателей работы железнодорожной сортировочной станции [Электронный ресурс] / М.Г. Лысыков, А.М. Ольшанский // Technology. – 2013. – Т. 2. – С. 31-38. Режим доступа - http://www.ssau.ru/files/science/conferences/pit2014/pit_14_1_5_106.pdf

96.Виноградов, С.А. Оценка взаимного влияния поездов в поездопотоке на технологически необходимое количество локомотивов [Текст] / С.А. Виноградов, А.В. Лохач, Т.В. Виноградова // Вестник ВНИИЖТ. - 2000. - №3. - С. 18-21.

97.Кокурин, И. М. Автоматизация информационной поддержки принятия решений поездным диспетчером при организации движения поездов [Электронный ресурс] / И. М. Кокурин, А. Б. Васильев // Автоматика на транспорте . – 2015. – Т. 1. – №. 2. Режим доступа - <http://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-informatsionnoy-podderzhki-prinyatiya-resheniy-poezdnym-dispatcherom-pri-organizatsii-dvizheniya-poezdov>

98. Huaqing, Mao. Train schedule adjustment strategies for train dispatch / Mao Huaqing, Li Zhu // *Telkomnika*, Vol. 11, No.5, May 2013, pp.2526-2534.
99. Логвинова, Н.А. Совершенствование методов оценки технологических параметров прогнозирования времени движения поездов на направлении железнодорожных перевозок Знаменка – Одесса [Текст] / Н.А. Логвинова // *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень*, Вип. 9. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – с. 42-48.
100. Нормирование и прогнозирование на железных дорогах: Методы, алгоритмы, технологии расчета [Текст] И.Н. Шапкин, Р.А.Юсипов, Е.М. Кожанов: М. – 2006. –С. 265.
101. Бардась, А.А. Методы интеллектуальных систем в задачах оперативного управления на сортировочных станциях [Электронный ресурс] / А. А. Бардась // *Интеллектуальные транспортные системы*. – 2013. – Вып. 2. – С. 5-10. – Режим доступа: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3116/1/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%B4%D0%B0%D1%81%D1%8C.pdf>.
102. Дементієнко, Р.В. Автоматизована система керування і контролю за тяговим рухом складом залізничного транспорту із застосуванням навігаційних систем [Текст] / Р.В. Дементієнко// *Збірник наукових праць Укр.ДАЗТ*. – 2010. – Вип. 118. – С. 157-162.
103. Мартиросян, С.Р. Формування моделі визначення раціональних варіантів пропуску поїздів по дільниці [Текст] / С.Р. Мартиросян, О.В. Лаврухін // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2011. – №4/3(52). – С. 35-37.
104. Вохмінцев, С.В. Концепция информационного обеспечения железнодорожного транспорта [Текст] / С.В. Вохмінцев, Р.В. Семчук, А.Ю. Гуль // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2011. – №5. – с.27-31.
105. Білоус, Ю.А. Результаты работы локомотивного хозяйства в 2012 році [Текст] / Ю.А. Білоус// *Локомотив- информ.* – 2013. – № 4. – С. 27-31.
106. Неплюев, В.А. Автоматизированная система диспетчерского управления локомотивами и локомотивными бригадами на замкнутых полигонах («СИГНАЛ-Л») [Текст] / В.А. Неплюев // *Вестник ВНИИЖТ*. 2010. №5. С. 40-43.
107. Капустин, Н.И. Система СИГНАЛ-Л: актуальные проблемы и задачи [Текст] / Н.И. Капустин// *Железнодорожный транспорт*.- 2008.- №11.- С. 22-24.
108. Акулов, А.П. Возможности АСУ локомотивным парком [Текст] / А.П. Акулов// *Железнодорожный транспорт*.- 2008.- №11.- С. 14-15.
109. Ильин, А.Н. Планирование эксплуатационной работы в центре управления перевозками [Текст] / А.Н. Ильин // *Железнодорожный транспорт*.- 2002.- №5.- С. 34-37.
110. Зіненко, Л.О. Впровадження автоматизованих систем управління для поліпшення якості експлуатації локомотивного парку [Текст] / Л.О. Зіненко// *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2008. – №2. – С. 49-57.
111. Стужук, А.А. Експлуатація автоматизованої системи управління локомотивним парком і локомотивними бригадами [Текст] / А.А. Стужук, В.С.

Коновалов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 114. – С. 27-29.

112. Жуковицький, І.В. Проблеми та перспективи інформатизації в локомотивному господарстві УЗ [Текст] / І.В. Жуковицький, О.Л. Зіненко, А.Б. Устенко // Локомотив-інформ. – 2008. – № 10. – С. 4-6.

113. Жуковицький, І.В. Проблеми та перспективи автоматизації управління локомотивним господарством УЗ [Текст] / І.В. Жуковицький, А.Б. Устенко, О.Л. Зіненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №2. – С. 38-42.

114. Новохацький, О. Ф. Стан справ та перспективи розвитку інформаційних технологій у локомотивному господарстві [Текст] / О. Ф. Новохацький, С. Ю. Цейтлін // Локомотив-інформ. – 2011. – № 12. – С. 22-23.

115. Портнов, О. Третій не лишній: крім машиніста і помічника, в локомотивах з'являються навігатори [Текст] / О. Портнов // Магістраль. – 2012. – №97. – С.4.

116. PTC making slow progress [Текст] // Railway gazette international. – April 2013. – P. 38-42.

117. Уманський, В.И. Имитационное моделирование поездных и маневровых передвижений в интеллектуальных станционных системах оперативного управления [Текст] / В.И. Уманський, С.И. Долганюк, С.В. Калинин // Вестник ВНИИЖТ. 2013. №2. С. 7-13.

118. Backåker, Lars. Trip plan generation using optimization: A benchmark of freight routing and scheduling policies within the carload service segment [Електронний ресурс] / Lars Backåker, Johanna Törnquist Krasemann // Journal of Rail Transport Planning & Management, Volume 2, Issues 1–2, November–December 2012, Pages 1–13. Режим доступу – <http://www.journals.elsevier.com/journal-of-rail-transport-planning-and-management/>

119. Косо́вець, С.О. Особливості структури управління локомотивним господарством на етапі реформування Укрзалізниці [Текст] / С.О. Косо́вець // Локомотив-інформ. – 2013. – №11(89). – С. 51-52.

120. Укрзалізниця: концентрація ресурсів на оновленні парку локомотивів залишається пріоритетним завданням на 2013 рік від 16.11.2012 Режим доступу: http://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/326193/.

121. Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 1 серпня 2011 р. N 840.

122. Вернигора, Р.В. Перспективи створення адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивів та локомотивних бригад [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 4. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – с. 25-29.

123. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України № ЦД-00-52, затверджена наказом № 969-ЦЗ від 15.12.2004.

124. Особливості регулювання робочого часу і часу відпочинку окремих категорій працівників залізничного транспорту, робота яких безпосередньо пов'язана із забезпеченням безпеки руху поїздів і обслуговуванням пасажирів. Затверджено наказом Укрзалізниці від 10.03.1994 р. №40-Ц.

125. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України. Затверджено наказом Укрзалізниці від “5” квітня 2002р. №170-Ц.

126.Інструкція з технічного обслуговування електровозів та тепловозів в експлуатації.

127.Хасин, Л.Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством / Под ред. Л.Ф. Хасина: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. – М.: «Желдориздат», 2002. – 452 с.

128.Ломотько, Д.В. Аналіз стану у сфері управління транспортними ресурсами залізниць [Текст] / Д.В.Ломотько, О.В. Ковальова, Є.А. Козелецький // 36. наук. праць. ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 25. – С. 71-75.

129.Переста, Г. І. Аналіз впливу складових елементів на величину обороту вантажного вагона [Текст] / Г. І. Переста, Т. В. Болвановська // 36. наук. праць. ДНУЗТ, – Д.: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 75-77.

130.Марценюк, Л.В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів [Електрон. ресурс] / Л.В. Марценюк - Режим доступа: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/418>

131.Вернигора, Р.В. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова// Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт // Научно-практический журнал. – Республика Беларусь, Гомель: БелГут, 2015. - №5/3 (59). – С.16-19.

132.Бодюл, В.И. Повышение ритмичности и эффективности транспортного производства на основе снижения внутрисуточной неравномерности грузовых перевозок на железных дорогах: дисс. докт. техн. наук. [Текст] / В.И. Бодюл – М.: 2006. – 318 с.

133.Леман, Э. Проверка статистических гипотез [Текст] / Э. Леман – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1979. - 408 с.

134.Правдин, Н.В. Прогнозирование грузовых потоков [Текст] / Н.В. Правдин, М.Л. Дыкандюк, В.Я. Негрей – М.: Транспорт, 1987. – 247 с.

135.Сотников, Е.А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на требуемую пропускную способность участков [Текст] / Е.А. Сотников, К.П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – №5. – С. 3-9.

136.Вернигора, Р.В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте [Текст] / Р. В. Вернигора, Н.И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/3 (56). – С. 62-67.

137.Вернигора, Р. В. Аналіз нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій на залізничному напрямку [Текст] / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2013. - №3/3 (63). – С.63-66.

138.Вагнер, Г. Основы исследования операций. – М.: Мир, 1972. – 337 с.

139.Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст] – М.: Транспорт . – 1985. – 287 с.

140.Грузо-пассажирский электровоз ДЭ1. [Електрон. ресурс] / Режим доступа - devs.com.ua

141.Бардась, О.О. Підвищення ефективності поїздоутворення шляхом вибору черговості розпуску составів [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22. 01 / Бардась Олександр Олександрович; ДНУЗТ.

142.Єльнікова, Л.О. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку [Текст] /Л.О. Єльнікова // 36. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – с. 35-39.

143.Вернигора, Р.В. Структура та принципи функціонування прогновної моделі роботи залізничного напрямку [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 9. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – с. 16-22.

144.Вернигора, Р. В. Можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних напрямків [Текст] / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 7. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 15-19.

145.Sun, Y. A PSO-GRNN model for railway freight volume prediction [Електрон. ресурс] / Y.Sun, M. Lang, D. Wang, L. Liu // Journal of Industrial Engineering and Management. - 2014 – 7(2). - P. 413-433. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1007>

146.Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы [Текст] / А. В. Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. - № 1 (55). - С.43-53.

147.Руденко, О.Г. Штучні нейронні мережі [Текст]: навчальний посібник/ О. Г. Руденко, Є.В. Бодянский. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.

148.Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст]/ Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский / Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

149.Филиппенко, О.И., Биологические, искусственные и нейроавтоматные сети – сравнительный анализ. Часть 2. Искусственные нейронные сети [Текст] / О. И. Филиппенко, И.Г. Филиппенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3/2(15) – С. 87-93.

150.Дьяконов, В.П. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. [Електрон. ресурс] / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов - С. Пб.: "Питер". - 2001. - 480 с. Режим доступа - <http://www.twirpx.com/file/132347/>

151.Бодянский, Е.В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения [Текст]: монографія / Е.В. Бодянский, О.Г. Руденко. - Харьков: Телетех, 2004. – 369 с.

152.Новотарський, М.А. Штучні нейронні мережі: обчислення [Електрон. ресурс] / М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко// Праці Інституту математики НАН України. – Т50. –Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с. - Режим доступа - <http://novotarskiy.narod.ru/mono2.htm>

153.Вернигора, Р.В. Дослідження ефективності використання нейронних мереж при прогнозуванні прибуття поїздів на технічні станції [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2015. - №3/3 (

75). – С. 23-27.

154.Вернигора, Р.В. Дослідження процесів формування на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання [Текст] / Р.В. Вернигора, О.В. Пугач // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №6/4. – с. 52-55.

155.Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич, А.И. Моргунов // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – №3. – С. 20-25.

156.Некрашевич, В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивных бригад грузового движения в условиях автоматизации [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – №1. – С. 28-35.

157.Некрашевич, В.И. Проблема адаптации графика движения грузовых поездов к колебаниям вагонопотоков [Текст] / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. – 2006. – №4. – С. 23-27.

158.Ковалев, Н.В. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад [Текст] / Н.В. Ковалев, В. Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – №1. – С. 38-42.

159.Жуковицький, І. В. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад [Текст] / І. В. Жуковицький, В. В. Скалзуб, О. В. Ветрова, О. Л. Зіненко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – С. 74-78.

160.Жуковицький І.В., Устенко А.Б., Зиненко О.Л. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2011. №5. С. 51-56

161.Вернигора, Р.В. Розробка оперативного плану роботи локомотивного парку на основі багатокритеріальної задачі про призначення [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // HYPERLINK "http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=JUU_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=IJ=&S21COLORTERMS=1&S21STR=Ж74012" \o "Періодичне видання" Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 10. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – с. 16-22.

162.Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность [Текст] / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц. – М.: Мир, 1984. – 512 с.

163.Банди, Б. Основы линейного программирования [Текст]/ Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.

164.Таха, Хэмди, А. Введение в исследование операций. 6-е издание [Текст] / Хэмди А. Таха – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 912 с.

165.Никонов, О.Я. Математические методы решения многокритериальной задачи о назначениях [Текст] / О.Я. Никонов, О.А. Подоляка, А.Н. Подоляка, Е.В. Скакалина // Вестник ХНАДУ. – 2011. – № 55. – с. 103-112.

166. Кожухаров, А.Н Многокритериальная задача о назначениях [Текст] / А. Н. Кожухаров, О. И. Ларичев // Автомат. и телемех.- 1977.- № 7. – С. 71–88.

ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"ПРИДНІПРОВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ"

вул. Карла Маркса, 108, м. Дніпропетровськ, 49600, тел.: (0562) 33-00-00, 33-01-00, факс 33-00-10
E-mail: p.a.-sekretary@dp.uz.gov.ua Код ЄДРПОУ 24986164

м. Дніпропетровськ

« 5 » жовтня 2015 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспірантки кафедри
«Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Єльнікової Лідії Олегівни
на тему «Підвищення ефективності перевізного процесу на залізничних
напрямах за рахунок удосконалення оперативного керування
експлуатацією локомотивного парку»

На засіданні ради головних інженерів служб та дирекцій залізничних перевезень ДП «Придніпровська залізниця» 5 жовтня 2015 року (протокол № 34) було розглянуто методику розрахунку оперативного плану роботи парку вантажних локомотивів на залізничному напрямку П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове І, яка розроблена в дисертаційній роботі аспірантки кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Єльнікової Л.О. У результаті встановлено:

- використання розробленої Єльніковою Л.О. методики розрахунку оперативного плану роботи локомотивного парку дозволяє скоротити експлуатаційні витрати пов'язані з непродуктивним простоем локомотивів, локомотивних бригад та составів вантажних поїздів на технічних станціях;
- запропонована у дисертації Єльнікової Л.О. адаптивна математична модель може стати основою для розробки сучасної АСК оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничних напрямках;
- результати дисертаційної роботи Єльнікової Л.О. прийняти до розгляду щодо можливості впровадження в службі перевезень та у відділі перевезень Дніпропетровської дирекції залізничних перевезень Придніпровської залізниці.

В.о. головного інженера – першого
заступника начальника залізниці



О.В. Бабенко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна



С. В. Мямлін

5 листопада 2015 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Єльнікової Лідії Олегівни
«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ НА
ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ
ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ЛОКОМОТИВНОГО
ПАРКУ»

м. Дніпропетровськ

« 4 » листопада 2015 р.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна виконано наступні науково-дослідні роботи, в яких використано результати дисертації Єльнікової Л.О. «Підвищення ефективності перевізного процесу на залізничних напрямках за рахунок удосконалення оперативного керування експлуатацією локомотивного парку»:

- «Розробка вимог до інфраструктури залізничного транспорту та удосконалення методів її експлуатації в умовах розділення парку вантажних вагонів» (№ державної реєстрації 0114U002544);
- «Формування підходів щодо покращення використання вантажних вагонів та оперативного управління просуванням вагонопотоків в міжнародних перевезеннях» (№ державної реєстрації 0115U002423);
- «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ державної реєстрації 0109U000480).

Начальник НДЧ
Д. Т. Н., професор

Д. М. Козаченко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна



Б. Є. Боднар

16 листопада 2015 р.

АКТ

про використання результатів дисертації Єльнікової Лідії Олегівни
«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ НА
ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ
ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ЛОКОМОТИВНОГО
ПАРКУ»

м. Дніпропетровськ

«12» листопада 2015 р.

Цей акт складений про те, що у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті» використовуються наукові та практичні результати, отримані в дисертації Єльнікової Л.О., а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисциплін «Оперативне керування рухом і роботою локомотивного парку».

2. Результати дисертації використовуються при виконанні дипломних проектів та дипломних магістерських робіт спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень та управління на залізничному транспорті».

декан факультету УПП
к.т.н., доцент

Р. В. Вернигора

ДОДАТОК Б

Техніко-експлуатаційна характеристика ділянки П'ятихатки - Нижньодніпровськ-Вузол- Синельникове 1

Таблиця А.1 Технічна характеристика перегонів ділянки П'ятихатки -
Нижньодніпровськ-Вузол

Перегони	Кількість головних колій	Довжина перегону, км	Тривалість руху у напрямку, год	
			парному	непарному
П'ятихатки - Железнякове	2	18	11	11
Железнякове - Вільногірськ		9	6	6
Вільногірськ - Верхівцеві		17	18	18
Верхівцеві - Верхньодніпровськ		15	9	10
Верхньодніпровськ - Воскобійня		8	8	8
Воскобійня - Дніпродзержинськ-пас		13	10	10
Дніпродзержинськ-пас - Баглій		4	3	3
Баглій - Сухачівка	3	14	10	9
Сухачівка - Дівка		9	5	7
Дівка - Горяїнове		6	6	5
Горяїнове - Дніпропетровськ		2	5	4
Дніпропетровськ - Нижньодніпровськ -Вузол	2	10	10	14

Таблиця А.2 Технічна характеристика ділянки Нижньодніпровськ-Вузол –
Синельникове I

Назва станції	Кількість головних колій	Відстань між станціями, км	Тривалість руху у напрямку, год	
			парному	непарному
Нижньодніпровськ-Вузол - Ігрень	2	6	3	4
Ігрень - Іларіоново		12	15	15
Іларіоново - Синельникове 2		20	21	21
Синельникове 2 - Синельникове 1		14	9	9



Рисунок А1 Схема ділянки П'ятихатки - Нижньодніпровськ-Вузол



Рисунок А2 Схема ділянки Нижньодніпровськ-Вузол - Синельникове 1

ДОДАТОК В

Приклад розрахунку парку локомотивів та штату локомотивних бригад та часу їх готовності до відправлення

В.1 Приклад розрахунку експлуатованого парку локомотивів та штату локомотивних бригад на добу

Вихідні дані:

- кількість пар поїздів на дільниці $n=22$ пар поїздів;
 - довжина ділянки $l=130$ км;
 - дільнична швидкість $v_d=38,5$ км/год;
 - загальний простій локомотива на станціях зміни локомотивних бригад всередині ділянки обертання $\Sigma t_{зб}=0$;
 - простій локомотива на станції оборотного депо $t_{об}=3,5$ год;
 - простій локомотива на станції основного депо $t_{ос}=2,6$ год.
- Оборот локомотива на дільниці складає

Коефіцієнт потреби локомотивів на пару поїздів дорівнює

Експлуатований локомотивний парк вантажного руху на дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки визначається як

Таким чином, для перевезення 22 пар поїздів на дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки експлуатований парк локомотивів повинен складати 12 локомотивів на добу; при цьому, необхідно забезпечити явку 24 бригад (по 12 на кожну зміну).

В.2 Приклад розрахунку часу готовності локомотивних бригад до відправлення по пункту їх обороту

Вихідні дані (для дільниці НДВ – Синельникове-І):

- час прибуття поїзда $t_p=13$ год 47 хв=13,78 год;
- підготовчо-заклучний час роботи бригад по пункту обороту $t_{техбр}=1,8$ год.

Вихідні дані (для дільниці НДВ – П’ятихатки):

- час прибуття поїзда $t_p=3$ год 30 хв=3,5 год;
- час роботи бригади від моменту прибуття до здачі локомотива $t_{збр}=0,5$ год;
- фактичний час роботи локомотивної бригади на дільниці від явки на роботу по пункту їх приписки до моменту здачі локомотива в пункті обороту $t_p=9,5$ год;
- час роботи бригади по пункту обороту від моменту явки бригади до відправлення з поїздом $t_{пбр}=1,9$ год.

Готовність локомотивної бригади 1 категорії (без відпочинку у пункті обороту) розглянуто на прикладі дільниці НДВ - Синельникове-І і складає:

$$t_{гот}=13,78+1,9=15,68 \text{ год.}$$

Таким чином, локомотивна бригада, основне депо якої знаходиться на станції НДВ та прибула на станцію Синельникове-І о 13 год 47 хв, буде готова до відправлення з поїздом о 15 год 41 хв.

Готовність бригади 2 категорії (з відпочинком у пункті обороту) розглянуто на прикладі дільниці НДВ – П'ятихатки і складає:

$$t_{\text{гот}} = 3,5 + 0,5 + 0,5 * 9,5 + 1,8 = 10,55 \text{ год.}$$

Таким чином, локомотивна бригада, основне депо якої знаходиться на станції НДВ та прибула на станцію П'ятихатки о 3 год 30 хв, після відпочинку буде готова до відправлення з поїздом о 10 год 33 хв.

ДОДАТОК Г

Аналіз роботи технічних станцій України та нерівномірності руху вантажних поїздів

Г.1 Аналіз роботи технічних станцій

В п. Г.1 наведені результати досліджень щодо виявлення залежності інтенсивності потоку поїздів на сортувальних станціях від дня тижня та періоду доби. Перевірка даної гіпотези виконана за допомогою статистичної обробки даних АСКВП УЗ-Є про прийом та відправлення поїздів для п'яти опорних сортувальних станцій України – Львів, Знам'янка, Основа, Нижньодніпровськ-Вузол та Ясинувата за вересень 2013 року. В тому числі, для випадкової величини тривалості простою поїздів різних категорій в парках сортувальних станцій визначені параметри її розподілу.

В табл. Г.1 наведені коефіцієнти нерівномірності Кнер поїздопотоків станцій.

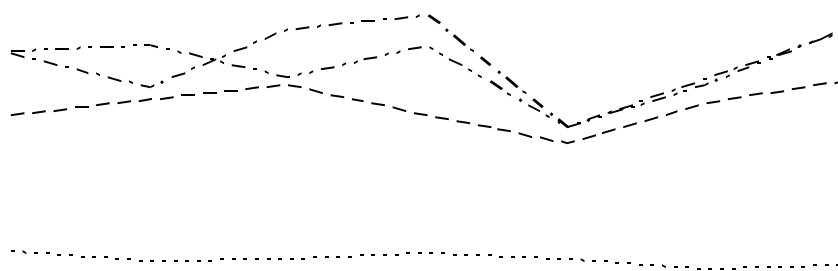
Таблиця Г.1 Значення коефіцієнтів нерівномірності Кнер поїздопотоків станцій

Станція	Категорія поїзда	Коефіцієнт нерівномірності Кнер поїздопотоків станцій	
		внутрішньо добовий	тижневий
Львів	форм.	2,50	1,22
	розф.	2,67	1,81
Знам'янка	транз.	1,98	1,19
	форм.	2,15	1,16
	розф.	2,47	1,54
Основа	транз.	4,21	1,78
	форм.	4,00	1,23
	розф.	2,67	1,32
НДВ	транз.	2,12	1,25
	форм.	2,54	1,21
	розф.	2,47	1,68
Ясиновата	транз.	1,82	1,36
	форм.	1,82	1,37
	розф.	2,29	1,58

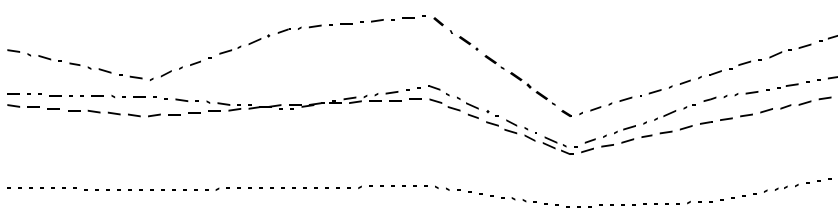
Примітка: транз. – транзитний поїзд;
форм. – поїзд свого формування;
розф. – поїзд у розформування.

На рис. Г.1 та рис. Г.2 наведені графіки інтенсивності відправлення поїздів різних категорій в залежності від дня тижня та періоду доби відповідно.

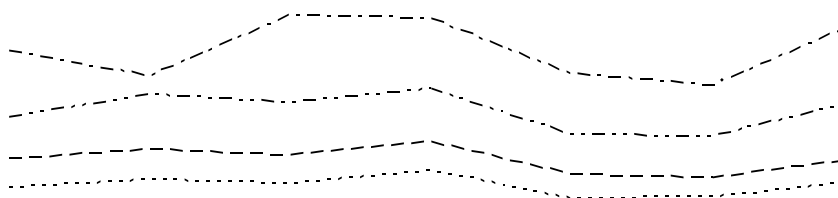
a)



б)



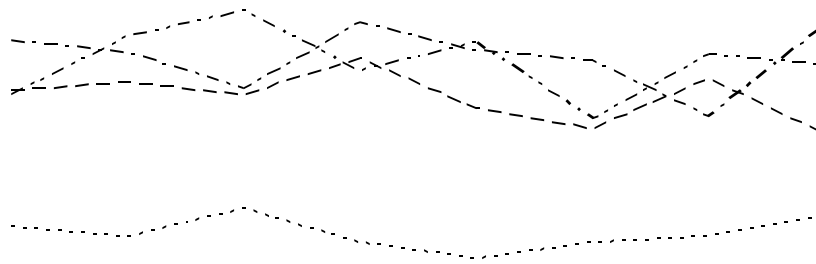
в)



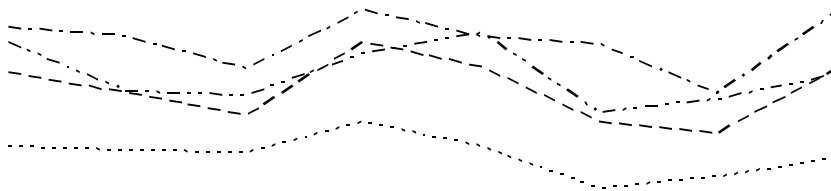
----- -.-.- -.-.-

Рисунок Г.1 Графіки інтенсивності відправлення поїздів різних категорій в залежності від дня тижня: а) транзитних поїздів; б) поїздів свого формування; в) поїздів у розформування.

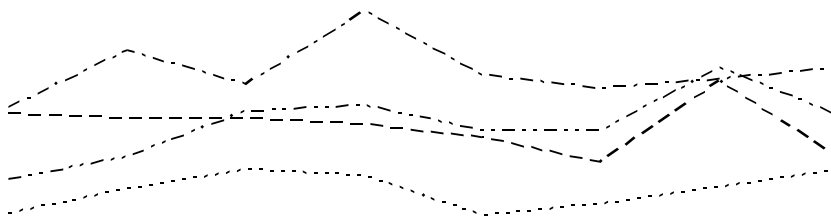
a)



б)



в)



.....

Рисунок Г.2 Графіки інтенсивності відправлення поїздів різних категорій в залежності від періоду доби: а) транзитних поїздів; б) поїздів свого формування; в) поїздів у розформування.

В таблиці Г.2 наведені параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості простою поїздів різних категорій в парках сортувальних станцій.

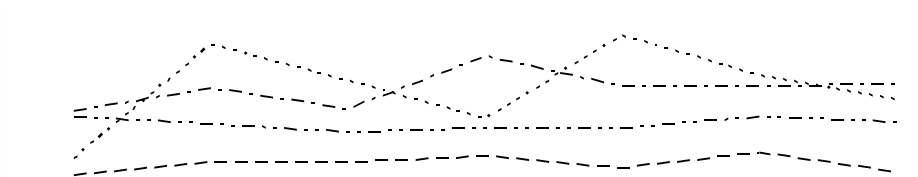
Таблиця Г.2 Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості простою поїздів різних категорій в парках сортувальних станцій

Станція	Категорія поїзда	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
Львів	транз.	1,52	0,87	0,35	4,17
	форм.	2,00	1,28	0,50	6,92
	розф.	2,72	1,49	0,53	7,92
Знам'янка	транз.	1,69	0,90	0,50	4,92
	форм.	1,87	0,98	0,08	7,60
	розф.	1,98	0,84	0,50	6,60
Основа	транз.	2,10	1,92	0,50	9,48
	форм.	2,67	1,46	0,42	8,70
	розф.	3,47	1,54	0,60	7,98
НДВ	транз.	1,29	0,87	0,27	4,90
	форм.	2,12	1,19	0,50	5,90
	розф.	1,31	0,74	0,42	4,58
Ясиновата	транз.	2,42	1,82	0,50	9,42
	форм.	2,74	1,62	0,60	8,80
	розф.	3,18	1,33	0,50	6,98

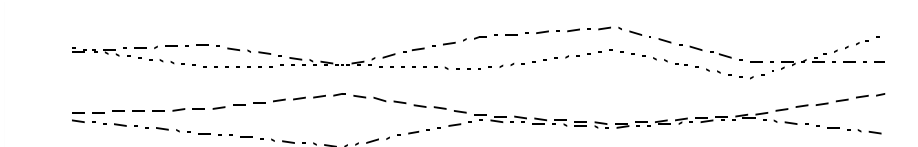
Примітка: транз. – транзитний поїзд;
 форм. – поїзд свого формування;
 розф. – поїзд у розформування.

На рис. Г.3 та рис. Г.4 наведені графіки тривалості простою поїздів різних категорій в залежності від дня тижня та періоду доби відповідно.

a)



б)



в)

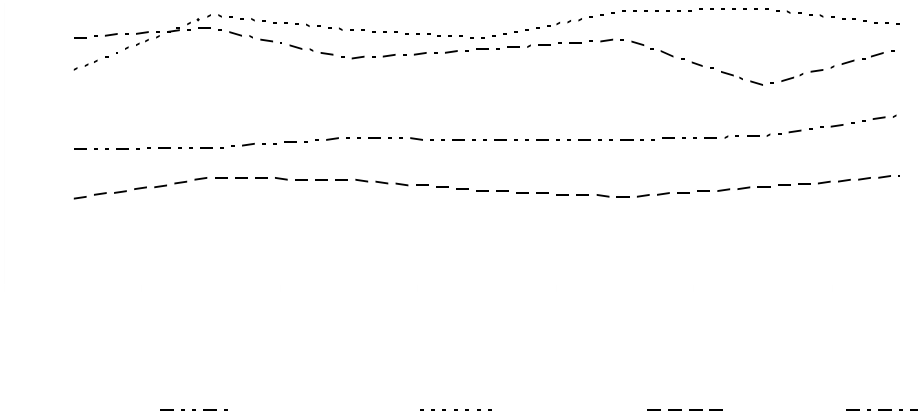
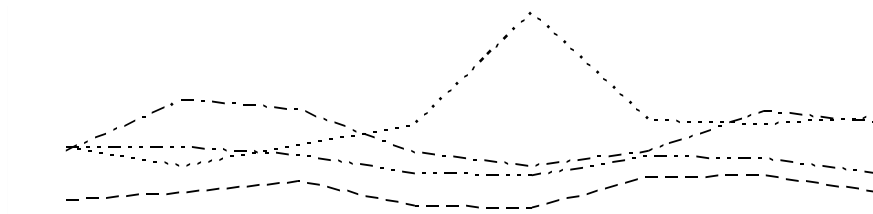
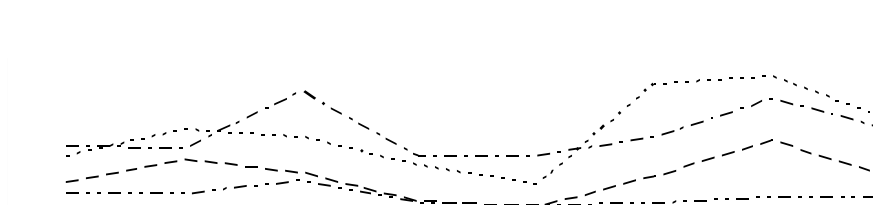


Рисунок Г.3 Графіки тривалості простою поїздів різних категорій в залежності від дня тижня: а) транзитних поїздів; б) поїздів свого формування; в) поїздів у розформування

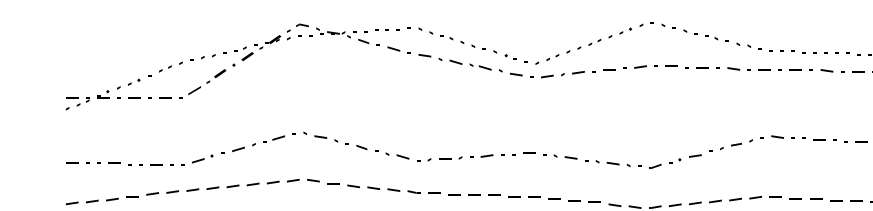
a)



б)



в)



----- ----- -----

Рисунок Г.4 Графіки тривалості простою поїздів різних категорій в залежності від періоду доби: а) транзитних поїздів; б) поїздів свого формування; в) поїздів у розформування.

Г.2 Аналіз тривалості руху поїздів на ділянках напрямку

Для проведення досліджень щодо виявлення факторів, які впливають на величину тривалості руху поїздів між технічними станціями, з банку даних АСК ВП УЗ-Є був отриманий масив даних про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П’ятихатки за 15 діб січня, квітня, червня та вересня 2014 року. При цьому, по кожному поїзду, окрім тривалості руху між станціями, фіксувались: час та дата (день тижня, місяць) його відправлення з технічної станції, маса поїзда та тип локомотива. В тому числі, наведені залежності кількості відправлених поїздів в залежності від періоду доби та дня тижня відправлення з технічної станції (рис. Г.5, Г.6).

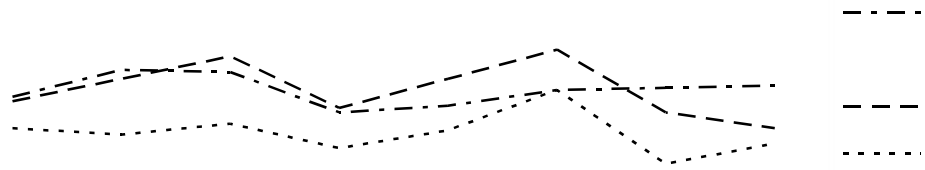
В п. Г.2 наведені параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на ділянках, в тому числі, мінімальні та максимальні значення даної величини (див. табл. Г.3). На рис. Г.7-Г.10 наведені графіки тривалості руху вантажних поїздів в залежності від періоду доби їх відправлення, дня тижня, маси поїзда, а також типу локомотива.

Таблиця Г.3 Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на ділянках

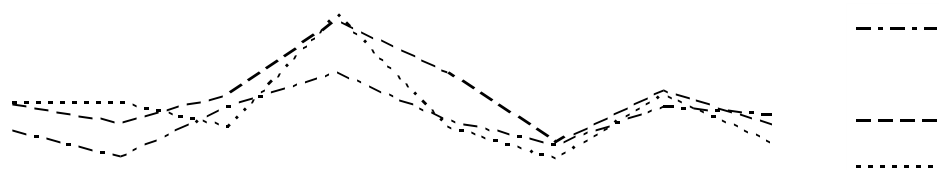
Дільниця	Місяць	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
Нижньодніпровськ- Вузол - П’ятихатки	січень	3,38	0,65	2,33	5,53
	квітень	3,69	0,64	2,25	5,50
	червень	3,50	0,56	2,00	5,50
	вересень	3,45	0,54	2,33	5,18
П’ятихатки – Нижньодніпровськ- Вузол	січень	3,44	0,75	1,50	5,92
	квітень	3,97	0,89	2,42	7,00
	червень	3,64	0,79	2,08	6,27
	вересень	3,47	0,79	2,33	6,25
Нижньодніпровськ- Вузол - Синельникове-І	січень	1,15	0,27	0,78	2,10
	квітень	1,21	0,33	0,55	2,25
	червень	1,26	0,38	0,60	2,45
	вересень	1,13	0,32	0,62	2,42
Синельникове-І – Нижньодніпровськ- Вузол	січень	1,25	0,24	0,83	1,92
	квітень	1,32	0,27	1,00	2,10
	червень	1,34	0,42	0,92	2,50
		1,25	0,33	0,80	2,50

	вересе нь				
--	--------------	--	--	--	--

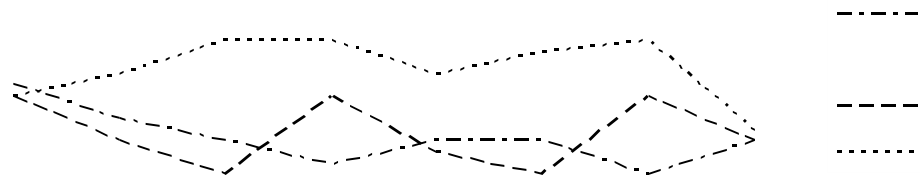
а)



б)



в)



г)

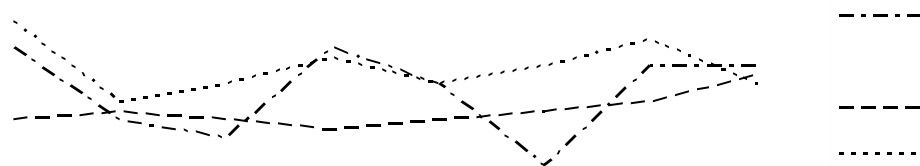
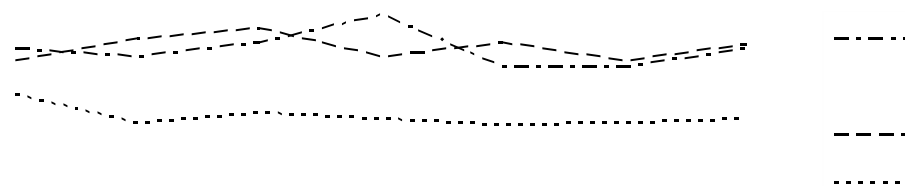
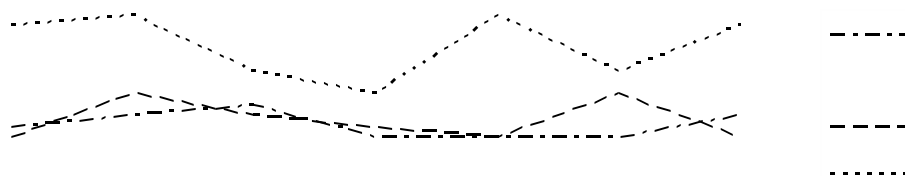


Рисунок Г.5. Графіки інтенсивності відправлення вантажних поїздів в залежності від періоду доби їх відправлення на ділянках: а) П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол; б) Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки; в) Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол; г) Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

б)



в)



г)

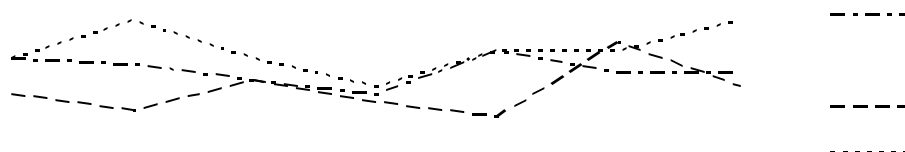


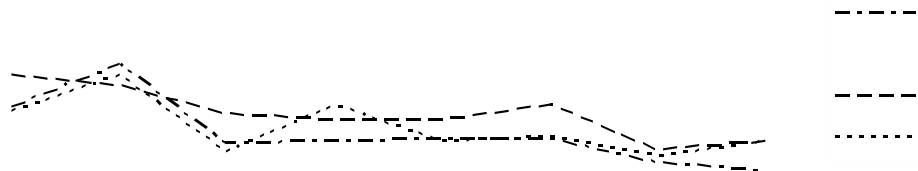
Рисунок Г.6. Графіки інтенсивності відправлення вантажних поїздів в залежності дня тижня їх відправлення на дільницях: а) П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол; б) Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки; в) Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол; г) Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

Таблиця Г.4 Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях в залежності від періоду доби їх відправлення

Дільниця	Місяць	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
	0-3	3,32	0,56	2,27	5,50

Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки	3-6	3,44	0,69	2,00	5,20
	6-9	3,43	0,62	2,33	5,53
	9-12	3,52	0,59	2,33	5,50
	12-15	3,41	0,57	2,62	5,45
	15-18	3,68	0,57	2,67	5,17
	18-21	3,62	0,60	2,50	5,33
	21-24	3,72	0,64	2,10	5,42
П'ятихатки - Нижньодніпровськ-Вузол	0-3	3,78	0,80	2,33	6,33
	3-6	3,78	0,76	2,60	6,25
	6-9	3,53	0,72	1,92	6,00
	9-12	3,59	0,80	2,42	6,60
	12-15	3,78	0,95	2,25	6,58
	15-18	3,72	0,94	1,50	7,00
	18-21	3,44	0,70	2,03	5,77
	21-24	3,46	0,87	2,33	6,00
Нижньодніпровськ-Вузол - Синельникове-І	0-3	1,13	0,32	0,83	2,42
	3-6	1,19	0,34	0,60	2,10
	6-9	1,27	0,36	0,83	2,07
	9-12	1,18	0,38	0,78	2,33
	12-15	1,14	0,24	0,83	1,83
	15-18	1,24	0,36	0,83	2,25
	18-21	1,18	0,36	0,55	2,45
	21-24	1,14	0,26	0,78	2,15
Синельникове-І - Нижньодніпровськ-Вузол	0-3	1,17	0,29	0,83	2,50
	3-6	1,28	0,32	0,92	2,42
	6-9	1,37	0,35	0,92	2,50
	9-12	1,26	0,28	0,92	2,18
	12-15	1,12	0,19	0,92	1,68
	15-18	1,31	0,28	0,90	2,18
	18-21	1,39	0,39	0,92	2,27
	21-24	1,37	0,36	0,80	2,42

а)



б)

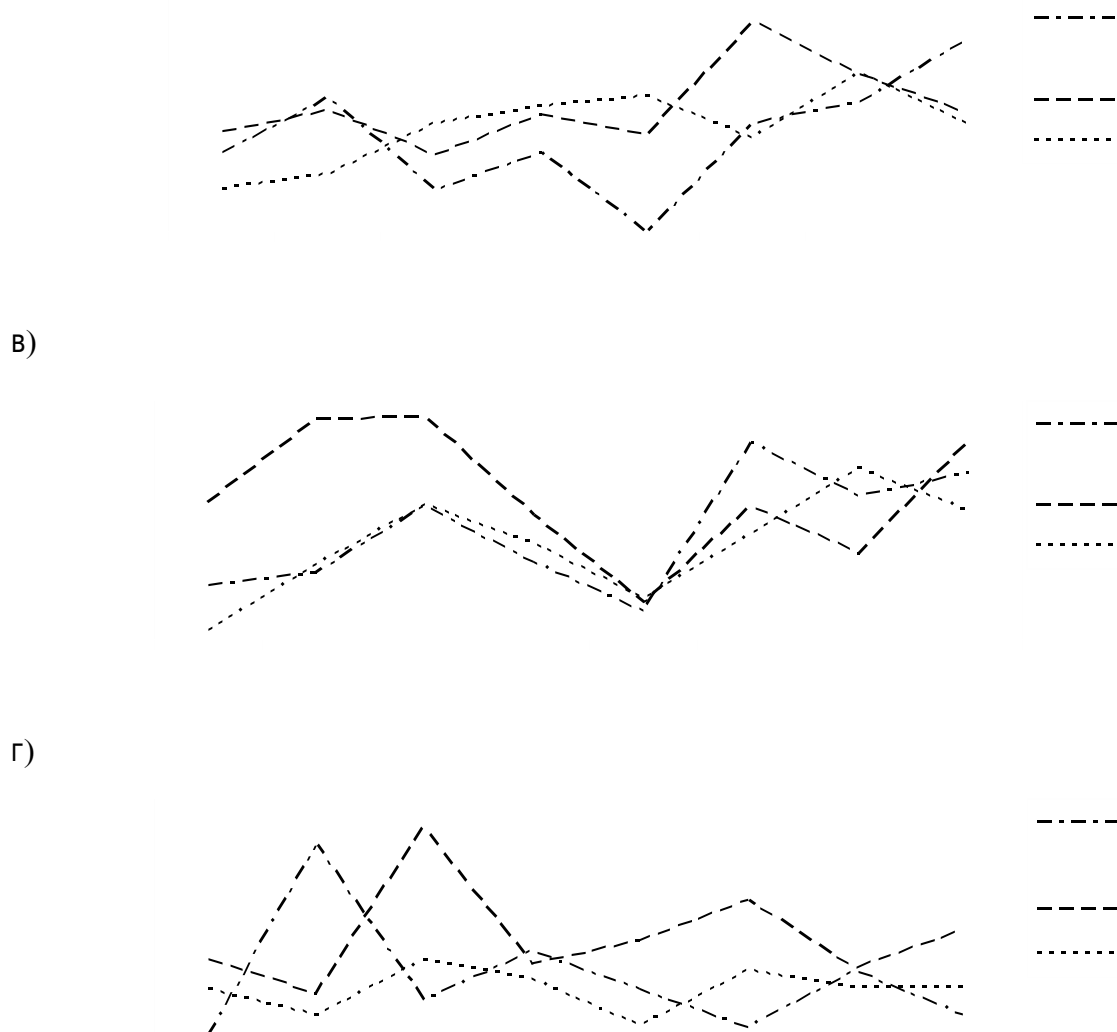


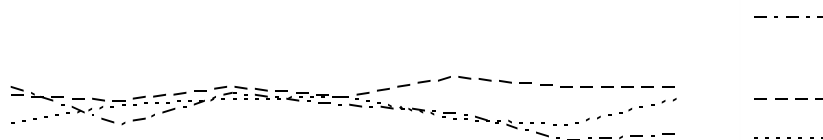
Рисунок Г.7. Графіки тривалості руху вантажних поїздів в залежності від періоду доби їх відправлення на дільницях: а) П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол; б) Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки; в) Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол; г) Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

Таблиця Г.5 Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях

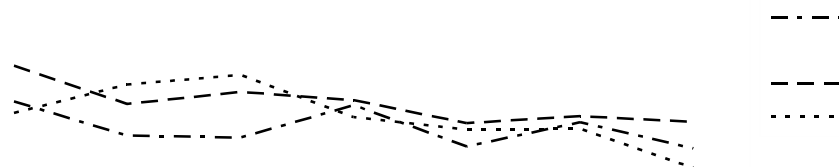
Дільниця	Місяц	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки	понеділок	3,65	0,63	2,47	5,50
	вівторок	3,56	0,65	2,25	5,35
	середа	3,59	0,62	2,33	5,30
	четвер	3,58	0,61	2,57	5,53
	п'ятниця	3,44	0,57	2,33	5,50
	субота	3,44	0,60	2,17	5,45
	неділя	3,31	0,57	2,00	5,45

П'ятихатки – Нижньодніпровськ- Вузол	понеділок	3,71	0,86	2,33	6,75
	вівторок	3,64	0,77	1,92	6,58
	середа	3,76	0,87	2,03	6,25
	четвер	3,73	0,92	1,50	7,00
	п'ятниця	3,63	0,87	2,33	6,60
	субота	3,56	0,75	2,25	6,00
	неділя	3,51	0,77	2,23	6,27
Нижньодніпровськ- Вузол - Синельникове-І	понеділок	1,16	0,36	0,83	2,45
	вівторок	1,19	0,35	0,55	2,33
	середа	1,14	0,27	0,60	1,93
	четвер	1,30	0,41	0,78	2,42
	п'ятниця	1,17	0,33	0,62	2,10
	субота	1,11	0,24	0,83	2,07
	неділя	1,21	0,32	0,78	2,00
Синельникове-І – Нижньодніпровськ- Вузол	понеділок	1,41	0,45	0,92	2,50
	вівторок	1,27	0,27	0,83	1,77
	середа	1,23	0,37	0,83	2,50
	четвер	1,31	0,29	0,93	2,25
	п'ятниця	1,22	0,24	0,92	1,85
	субота	1,33	0,35	0,80	2,42
	неділя	1,21	0,23	0,92	1,92

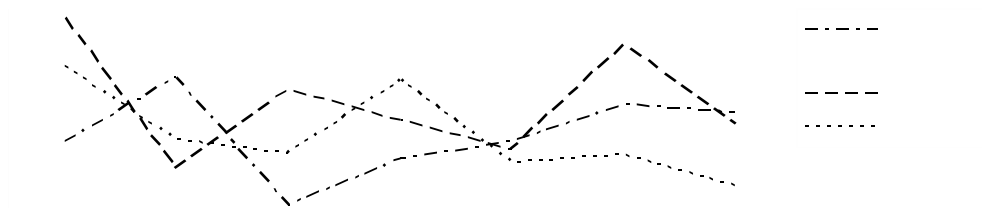
а)



б)



в)



г)

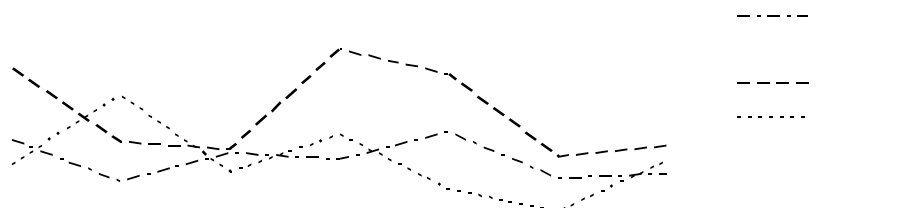


Рисунок Г.8. Графіки тривалості руху вантажних поїздів в залежності від дня тижня їх відправлення на ділянках: а) П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол; б) Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки; в) Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол; г) Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

Таблиця Г.6 Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях в залежності від маси поїзда

Дільниця	Місяць	Інтервали маси	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год	Місяць	Інтервали маси	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	січень	0-1500	3,25	0,69	2,33	5,33	червень	0-1500	3,22	0,53	2,00	4,67
		1500-2000	3,87	0,86	2,70	4,55		1500-2000	3,54	0,57	2,95	4,08
		2000-2500	3,09	0,39	2,43	4,05		2000-2500	3,45	0,48	2,75	4,08
		2500-3000	3,35	0,56	2,60	4,38		2500-3000	3,34	0,60	2,70	4,83
		3000-3500	3,39	0,61	2,57	5,23		3000-3500	3,30	0,53	2,52	4,58
		3500-4000	3,44	0,63	2,57	5,20		3500-4000	3,47	0,82	2,52	5,17
		4000-4500	4,18	1,06	2,50	5,53		4000-4500	3,48	0,47	2,82	5,00
		4500-5000	-	-	-	-		4500-5000	3,60	0,55	2,75	5,50
		5000-5500	-	-	-	-		5000-5500	3,69	0,48	2,97	4,50
		5500-6500	-	-	-	-		5500-6500	3,24	0,37	2,97	4,08

Нижньодніпро вськ- Вузол - П'ятихатки	кві тен ь	0-1500	3,57	0,71	2,25	5,50	вер есе нь	0-1500	3,10	0,64	2,33	4,30
		1500- 2000	3,34	0,52	2,53	3,92		1500- 2000	3,37	0,54	2,58	4,42
		2000- 2500	4,00	-	4,00	4,00		2000- 2500	3,74	0,85	3,00	4,75
		2500- 3000	3,35	0,24	3,08	3,58		2500- 3000	3,28	0,59	2,70	3,88
		3000- 3500	-	-	-	-		3000- 3500	3,37	0,50	2,82	4,50
		3500- 4000	3,50	0,57	2,90	4,18		3500- 4000	3,24	0,62	2,58	4,12
		4000- 4500	3,76	0,67	2,78	5,08		4000- 4500	3,38	0,58	2,62	4,58
		4500- 5000	3,75	0,60	2,57	5,17		4500- 5000	3,51	0,50	2,60	5,18
		5000- 5500	3,71	0,76	2,27	5,45		5000- 5500	3,52	0,57	2,68	4,57
		5500- 6500	3,48	0,57	2,88	4,67		5500- 6500	2,92	-	2,92	2,92
П'ятихатки- Нижньодніпров ськ- Вузол	січ ень	0-1500	3,37	0,54	2,58	4,42	чер вен ь	0-1500	3,68	0,83	2,08	5,83
		1500- 2000	3,29	0,59	2,58	5,08		1500- 2000	3,61	0,70	2,68	6,27
		2000- 2500	4,02	0,93	2,78	6,75		2000- 2500	3,51	0,75	2,58	5,72
		2500- 3000	3,43	0,57	2,42	4,60		2500- 3000	3,43	0,57	2,42	4,60
		3000- 3500	3,76	0,62	3,10	4,58		3000- 3500	3,50	0,83	2,33	5,58

Продовження таблиці Г.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		3500- 4000	3,35	0,56	2,60	4,38		3500- 4000	3,61	0,80	2,42	5,27

П'ятихатки- Нижньодніпро вськ- Вузол	січ ень	4000- 4500	3,89	0,97	3,08	5,25	черве нь	4000- 4500	3,23	0,49	2,33	3,83
		4500- 5000	3,30	0,53	2,52	4,58		4500- 5000	3,59	0,54	2,67	4,77
		5000- 5500	-	-	-	-		5000- 5500	3,92	0,93	2,42	6,18
		5500- 6500	-	-	-	-		5500- 6500	3,76	0,62	3,10	4,58
	кві тен ь	0-1500	3,94	0,73	2,50	5,42	вер есе нь	0-1500	3,24	0,74	2,40	6,10
		1500- 2000	4,02	0,87	2,67	6,60		1500- 2000	3,63	0,90	2,50	5,58
		2000- 2500	3,92	0,91	2,75	5,92		2000- 2500	3,29	0,59	2,58	5,08
		2500- 3000	4,01	1,05	2,58	6,35		2500- 3000	3,52	0,94	2,42	6,25
		3000- 3500	3,88	0,99	2,42	7,00		3000- 3500	3,71	0,70	2,75	4,68
		3500- 4000	3,85	0,78	2,83	6,18		3500- 4000	3,56	0,66	2,67	4,75
		4000- 4500	4,35	1,16	3,00	6,25		4000- 4500	3,46	0,64	2,67	4,52
		4500- 5000	3,89	0,97	3,08	5,25		4500- 5000	3,82	0,92	2,50	6,00
		5000- 5500	4,02	0,93	2,78	6,75		5000- 5500	3,94	0,78	2,92	4,92
		5500- 6500	4,36	1,21	2,67	6,58		5500- 6500	2,92	-	2,92	2,92
		0-1500	1,09	0,23	0,83	2,10		0-1500	0,99	0,19	0,55	1,33
		1500- 2000	1,30	0,34	0,97	2,10		1500- 2000	1,27	0,35	0,85	1,83
		2000- 2500	1,21	0,34	0,92	2,00		2000- 2500	1,38	0,46	0,97	2,25

Нижньодніпро вськ- Вузол - Синельникове- І	січ ень	2500- 3000	1,23	0,31	0,92	1,93	чер вен ь	2500- 3000	1,29	0,31	0,90	2,00
		3000- 3500	1,24	0,35	0,92	1,75		3000- 3500	1,17	0,26	0,88	1,58
		3500- 4000	1,09	0,24	0,78	1,70		3500- 4000	1,26	0,36	0,90	1,93
		4000- 4500	1,00	-	1,00	1,00		4000- 4500	1,21	0,29	0,92	1,58
		4500- 5000	-	-	-	-		4500- 5000	-	-	-	-
		5000- 5500	-	-	-	-		5000- 5500	1,00	0,00	1,00	1,00
		5500- 6500	-	-	-	-		5500- 6500	-	-	-	-
	кві тен ь	0-1500	3,94	0,73	2,50	5,42	вер есе нь	0-1500	1,27	0,45	0,78	2,45
		1500- 2000	4,02	0,87	2,67	6,60		1500- 2000	1,36	0,41	0,92	1,90
		2000- 2500	3,92	0,91	2,75	5,92		2000- 2500	1,08	0,36	0,60	1,88
		2500- 3000	4,01	1,05	2,58	6,35		2500- 3000	1,36	0,41	1,00	2,15
		3000- 3500	3,88	0,99	2,42	7,00		3000- 3500	1,37	0,31	0,87	2,00
		3500- 4000	3,85	0,78	2,83	6,18		3500- 4000	1,27	0,24	0,90	1,73
		4000- 4500	4,35	1,16	3,00	6,25		4000- 4500	0,98	0,09	0,83	1,08
		4500- 5000	3,89	0,97	3,08	5,25		4500- 5000	-	-	-	-
		5000- 5500	4,02	0,93	2,78	6,75		5000- 5500	1,63	0,62	1,18	2,07
			4,36	1,21	2,67	6,58			1,17	-	1,17	1,17

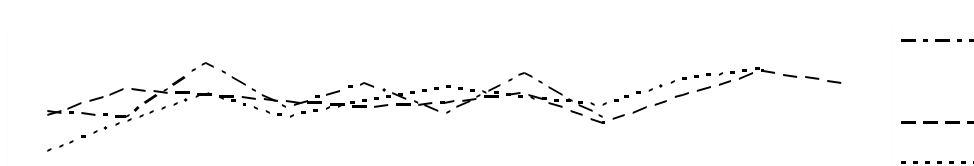
		5500-6500						5500-6500				
--	--	-----------	--	--	--	--	--	-----------	--	--	--	--

Продовження таблиці Г.6

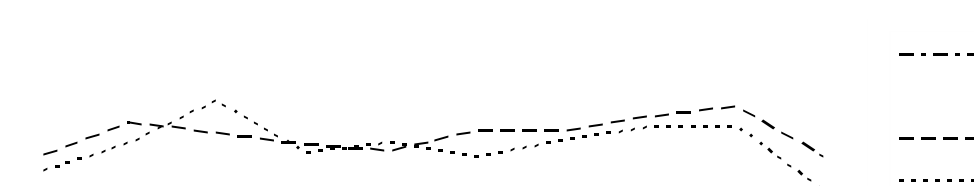
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	січ ень	0-1500	1,46	0,50	0,92	2,18	чер вен ь	0-1500	1,18	0,12	0,92	1,33
		1500-2000	1,12	0,15	0,92	1,42		1500-2000	1,17	0,00	1,17	1,17
		2000-2500	-	-	-	-		2000-2500	1,54	0,56	1,17	2,50
		2500-3000	1,35	0,41	0,97	2,50		2500-3000	1,33	0,48	1,00	2,42
		3000-3500	1,55	0,35	1,08	1,92		3000-3500	1,46	0,66	0,92	2,42
		3500-4000	1,49	0,34	1,25	2,10		3500-4000	1,26	0,40	0,92	2,42
		4000-4500	1,21	0,21	1,00	1,50		4000-4500	1,46	0,50	0,92	2,18
		4500-5000	-	-	-	-		4500-5000	1,55	0,35	1,08	1,92
		5000-5500	-	-	-	-		5000-5500	-	-	-	-
		5500-6500	-	-	-	-		5500-6500	-	-	-	-
		0-1500	1,38	0,30	1,08	2,10		0-1500	1,26	0,46	0,80	2,27
		1500-2000	1,21	0,21	1,00	1,50		1500-2000	1,12	0,15	0,92	1,42
		2000-2500	1,19	0,18	1,00	1,35		2000-2500	1,13	0,18	0,92	1,35
		2500-3000	1,42	0,00	1,42	1,42		2500-3000	1,18	0,16	0,97	1,35
		3000-3500	1,12	0,10	1,00	1,25		3000-3500	1,11	0,13	0,90	1,33

Синельникове- І - Нижньодніпро вськ- Вузол	кві тен ь	3500- 4000	1,49	0,34	1,25	2,10	вер есе нь	3500- 4000	1,35	0,34	1,00	2,02
		4000- 4500	1,31	0,25	1,00	1,68		4000- 4500	1,13	0,22	0,92	1,67
		4500- 5000	1,34	0,28	1,08	1,68		4500- 5000	1,39	0,28	1,00	2,00
		5000- 5500	-	-	-	-		5000- 5500	1,35	0,41	0,97	2,50
		5500- 6500	-	-	-	-		5500- 6500	1,40	0,59	0,92	2,25

а)



б)



в)



г)

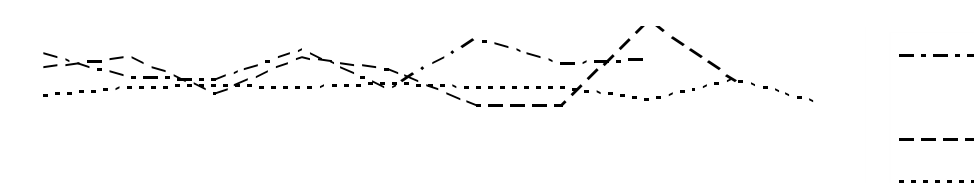


Рисунок Г.9. Графіки тривалості руху вантажних поїздів в залежності від маси поїзда на дільницях: а) П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол; б) Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки; в) Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол; г) Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

Таблиця Г.7 Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях в залежності від типу локомотива

Дільниця	Місяць	Тип локомотива	Математичне очікування $M[t]$, год	Середнє квадратичне відхилення σ , год	Мінімальне значення випадкової величин	Максимальне значення випадкової величини, год
----------	--------	----------------	-------------------------------------	---	--	---

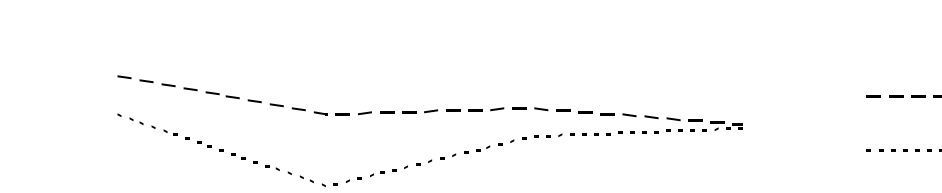
					и, год	
1	2	3	4	5	6	7
Нижньодніпровськ- Вузол - П'ятихатки	квітень	ВЛ11, ВЛ11М	3,70	0,60	2,75	5,23
		ВЛ11М/5(6)	3,64	0,57	2,73	4,87
		ВЛ8	3,67	0,65	2,25	5,50
		ДЭ1	4,10	0,64	3,05	5,17
	червень	ВЛ11, ВЛ11М	3,41	0,58	2,17	4,32
		ВЛ11М/5(6)	3,55	0,65	2,50	5,45
		ВЛ8	3,50	0,55	2,00	5,50
		ДЭ1	3,43	0,53	2,75	4,90
	вересень	ВЛ11, ВЛ11М	3,52	0,51	2,77	4,45
		ВЛ11М/5(6)	3,22	0,47	2,33	4,18
		ВЛ8	3,50	0,53	2,58	4,92
		ДЭ1	3,51	0,78	2,58	5,18
П'ятихатки – Нижньодніпровськ- Вузол	квітень	ВЛ11, ВЛ11М	3,88	0,86	2,42	6,60
		ВЛ11М/5(6)	3,79	0,87	2,50	5,92
		ВЛ8	4,06	0,89	2,67	6,75
		ДЭ1	4,00	0,92	2,75	7,00
	червень	ВЛ11, ВЛ11М	3,82	0,81	2,67	5,52
		ВЛ11М/5(6)	3,62	0,87	2,42	6,18
		ВЛ8	3,64	0,77	2,08	6,27
		ДЭ1	3,56	0,92	2,42	5,83
	вересень	ВЛ11, ВЛ11М	3,61	1,07	2,58	6,10
		ВЛ11М/5(6)	3,22	0,52	2,58	4,52
		ВЛ8	3,50	0,79	2,33	6,25
		ДЭ1	3,54	0,78	2,58	4,83
	квітень	ВЛ11, ВЛ11М	1,33	0,42	0,90	2,00
		ВЛ11М/5(6)	1,23	0,32	0,90	2,25
		ВЛ8	1,16	0,31	0,55	2,00
		ДЭ1	0,97	0,00	0,97	0,97
		ВЛ11, ВЛ11М	1,10	0,18	0,92	1,50
		ВЛ11М/5(6)	1,38	0,46	0,83	2,45
		ВЛ8	1,24	0,36	0,60	2,03

Нижньодніпровськ- Вузол - Синельникове-І	червень	ДЭ1	1,08	0,14	1,00	1,25
	вересень	ВЛ11, ВЛ11М	1,07	0,15	0,83	1,40
		ВЛ11М/5(6)	1,06	0,23	0,78	1,67
		ВЛ8	1,18	0,36	0,62	2,42
		ДЭ1	1,12	0,43	0,83	2,15

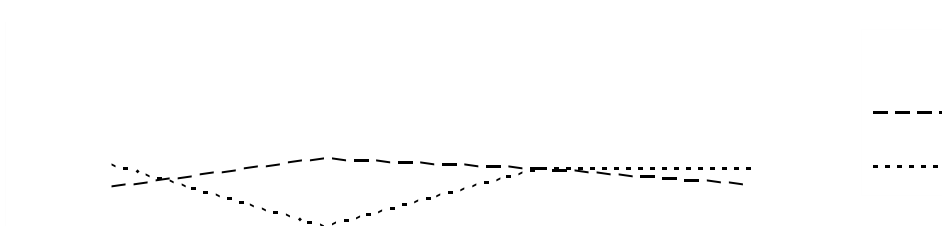
Продовження таблиці Г.7

1	2	3	4	5	6	7
Синельникове-І – Нижньодніпровськ- Вузол	квітень	ВЛ11, ВЛ11М	1,46	0,37	1,00	2,10
		ВЛ11М/5(6)	1,29	0,25	1,00	2,10
		ВЛ8	1,33	0,25	1,00	1,83
		ДЭ1	-	-	-	-
	червень	ВЛ11, ВЛ11М	1,40	0,56	0,92	2,50
		ВЛ11М/5(6)	1,33	0,36	0,92	2,42
		ВЛ8	1,27	0,39	0,92	2,42
		ДЭ1	1,46	0,48	1,17	2,18
	вересень	ВЛ11, ВЛ11М	1,15	0,19	0,90	1,37
		ВЛ11М/5(6)	1,18	0,24	0,92	2,00
		ВЛ8	1,27	0,37	0,80	2,50
		ДЭ1	1,50	0,43	1,08	2,27

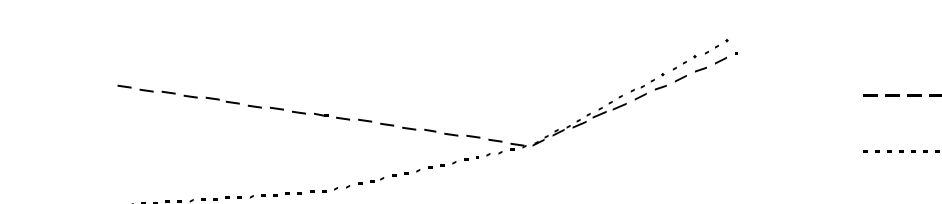
a)



б)



в)



г)

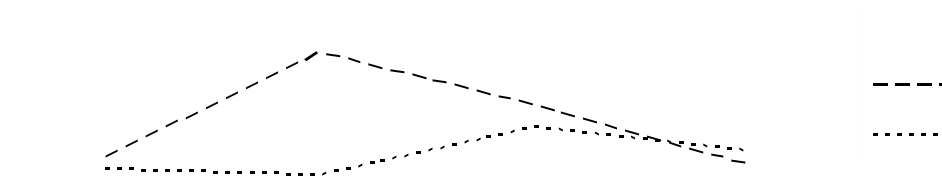
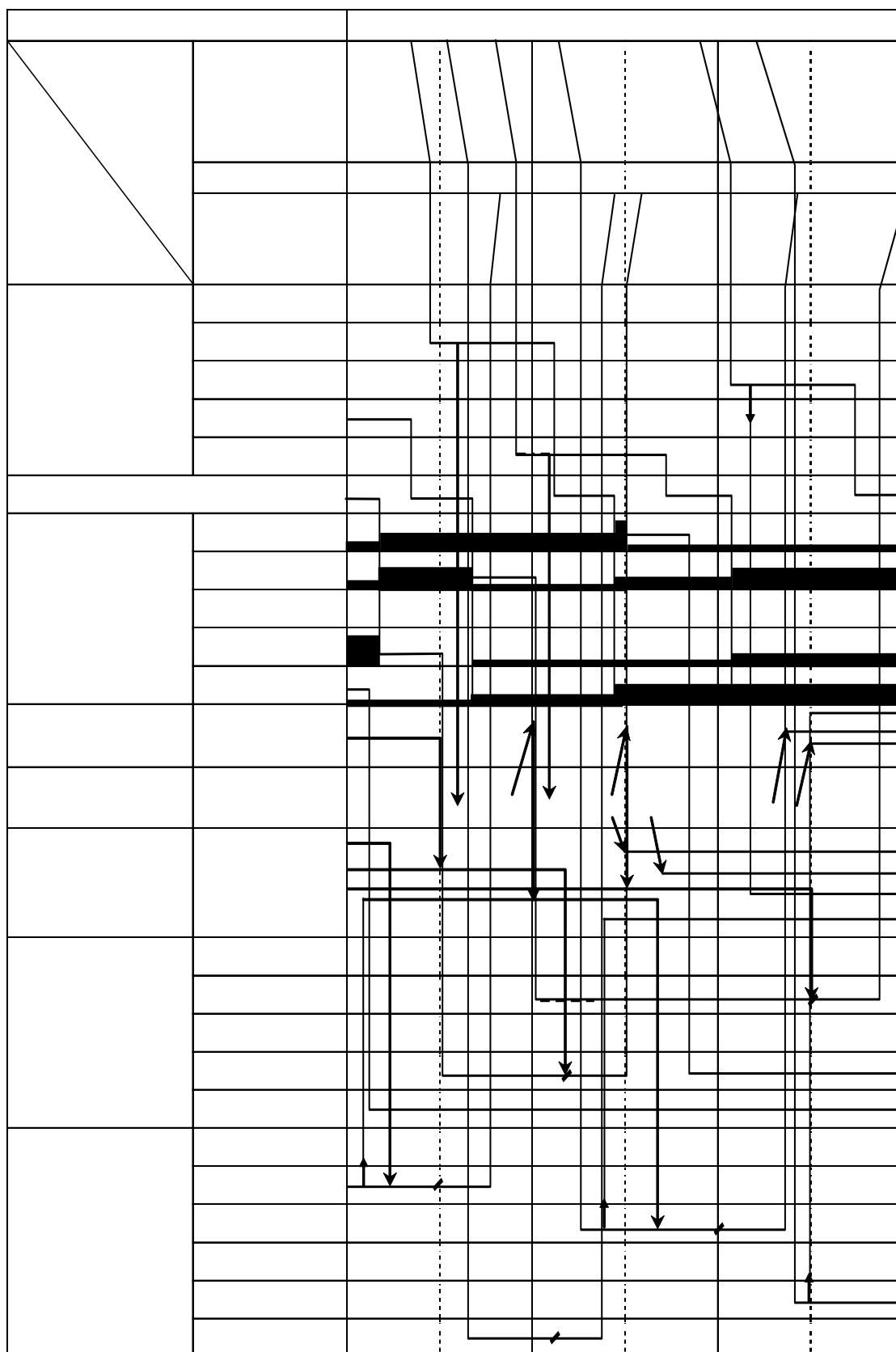


Рисунок Г.10. Графіки тривалості руху вантажних поїздів в залежності від типу локомотива на ділянках: а) П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол; б) Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки; в) Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол; г) Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

ДОДАТОК Д

Графік роботи станції



ДОДАТОК Е

Періодичність та тривалість планових ремонтів та технічного обслуговування вантажних електровозів

Систему планово-попереджувального ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу становить:

1. Технічне обслуговування ТО-1, ТО-2, ТО-3, поточний ремонт ПР-1 – для попередження появи несправностей ТРС в експлуатації, підтримання його в працездатному і належному санітарно-гігієнічному стані, забезпечення безпечної експлуатації, пожежної безпеки та безаварійної роботи.

2. Технічне обслуговування ТО-4 – для обточування бандажів колісних пар без викочування їх з-під локомотива для підтримання оптимальної величини прокату та товщини гребенів.

3. Технічне обслуговування ТО-5:

-ТО-5а – підготовка (консервація) ТРС для постановки в запас Укрзалізниці та резерв залізниці (далі – РУЗ);

-ТО-5б – підготовка (консервація) ТРС для відправлення в недіючому стані на капітальні ремонти на заводи або до інших депо, в поточний ремонт до інших депо своєї чи інших залізниць. Передачі на баланс інших депо або передислокації;

-ТО-5в – підготовка (розконсервація) до експлуатації після побудування, ремонту на заводах або в інших депо після передислокації;

-ТО-5г – підготовка (розконсервація) до експлуатації перед видачею локомотивів із запасу Укрзалізниці або РУЗ.

4. Технічне обслуговування ТО-6 – виконання регламентних робіт з продовження терміну служби несучих конструкцій. Дозволити об'єднувати ТО-6 із виконанням технічного обслуговування ТО-3, поточних ремонтів ПР-1, ПР-2, ПР-3.

5. Поточний ремонт ПР-2 та ПР-3 – для забезпечення справності ТРС, відновлення основних експлуатаційних характеристик та забезпечення їх стабільності в міжремонтний період виконанням ревізії, ремонту, заміни груп деталей, вузлів та агрегатів, регулювання та випробувань, а також часткової модернізації.

6. Капітальний ремонт КР-1 – для відновлення паспортних характеристик, часткового відновлення ресурсу заміною та ремонтом зношених несправних агрегатів ТРС, вузлів, деталей та їх модернізацією.

7. Капітальний ремонт КР-2 – для відновлення справності та повного ресурсу ТРС, його паспортних характеристик, модернізації агрегатів, вузлів та деталей, повної заміни кабельнопровідникової продукції та обладнання, що відпрацювали свій ресурс, на нові.

8. Капітальний ремонт із продовженням ресурсу (КРП) для відновлення експлуатаційних характеристик, справності та повного ресурсу на період продовження строку служби понад встановлений після побудови, а також модернізації усіх агрегатів, вузлів і деталей, включаючи базові, повної заміни кабельнопровідникової продукції та обладнання з виробленим моторесурсом відповідно до технічних умов.

В табл. Ж.1 та Ж.2 для вантажних електровозів наведені середні норми міжремонтних періодів та середні норми простоїв на технічному обслуговуванні та поточному ремонті відповідно.

Таблиця Ж.1 Середні норми міжремонтних періодів для вантажних електровозів

Технічне обслуговування	Поточні ремонти	Капітальні ремонти
ТО-2 (год)		

Вид та серія електровоза	депо Нижньодніпровськ-Вузол	депо Синельникове-1 та Пятихатки	ТО-31 (тис.км)	ПР-11 (тис.км)	ПР-22 (тис.км)	ПР-32 (тис.км)	КР-13 (тис.км)	КР-23 (тис.км)
ВЛ8	36	38	11	22	165	330	660	1980
ВЛ11м			15	30	175	350	700	2100
ВЛ11м5(6)				50	200	400	800	2400
ДЕ1			15	30	200	400	800	2400

Примітки:

1. Ставити тяговий рухомий склад на технічне обслуговування ТО-3, поточний ремонт ПР-1 дозволяється із відхиленням від установлених норм міжремонтних періодів у межах від -10% до +10%.

2. Ставити тяговий рухомий склад на поточні ремонти ПР-2, ПР-3 дозволяється з відхиленням від встановлених міжремонтних пробігів у межах від -10% до +20%.

3. Відправляти тяговий рухомий склад на капітальний ремонт на заводи дозволяється з відхиленням від встановлених міжремонтних періодів у межах від 10% до +25%.

Таблиця Ж.2 Середні норми простоїв на технічному обслуговуванні та поточному ремонті (з урахуванням очікування та поетапного продовження терміну служби)

Вид та серія електровоза	Технічне обслуговування				Поточні ремонти		
	ТО-2 (год)			ТО-3 (год)	ПР-1 (год)	ПР-2 (діб)	ПР-3 (діб)
	Нижньодніпровськ-Вузол	Синельникове-1	П'ятихатки				
ВЛ8	0,66 хв	1	1,5	12	24	2 *	5 *
ВЛ11м							
ВЛ11м5(6)							
ДЕ1							

Примітки: * простій вказано в перерахунку на секцію локомотива.

При поєднанні обточування колісних пар (ТО-4) з виконанням технічного обслуговування ТО-2, ТО-3 та поточних ремонтів ПР-1, ПР-2, тривалість їх збільшувати на час, необхідний для технічного обслуговування ТО-4, з розрахунку обточування однієї колісної пари, згідно з табл. Ж.3.

Таблиця Ж.3 Тривалість технічного обслуговування ТО-4 електровозів з розрахунку на одну колісну пару на верстаті КЖ-20

Серія ТРС	Норма простою
ВЛ8	1 година
ДЕ1	1,2 години
ВЛ11м, ВЛ11м5, ВЛ11м6	1,1 години

Примітка. При ТО-4 на верстаті А-41 норма простою з розрахунку на одну колісну пару збільшується у 2 рази.

ДОДАТОК Ж

Норми знаходження локомотивів на станційних коліях в залежності від необхідності заходу в локомотивне депо станції Нижньодніпровськ-Вузол

Таблиця 3.1 Тривалість операцій по прибуттю поїзда, включаючи тривалість руху до контрольного пункту локомотивного депо

В який парк прибув локомотив, з якої станції	, хв	
	У випадку прибуття з поїздом	У випадку прибуття резервом
В парк "Г" зі ст. Ігрені та ст. Самарівка	18	14
В парк "І" зі ст. Ігрені	27	24
В парк "Л" зі ст. Самарівка	28	25
В парк "З" із ст. Нижньодніпровськ, зі ст. Дніпропетровськ - Південний	20	15
В парк "Є" із ст. Нижньодніпровськ та зі ст. Дніпропетровськ - Південний	31	28

Тривалість руху від контрольного пункту локомотивного депо до колій парків станції :

- із парку "І" на ст. Нижньодніпровськ, на ст. Дніпропетровськ – Південний – 16 хв.;
- із парку "Б" на ст. Нижньодніпровськ та на ст. Дніпропетровськ – Південний – 13 хв.;
- із парку "Л" на ст. Нижньодніпровськ – 16 хв.;
- із парку "Л" на ст. Дніпропетровськ – Південний – 17хв.;
- із парку "Є" на ст. Ігрені, на ст. Самарівка – 18 хв.

Таблиця 3.2 Тривалість знаходження локомотивів на станційних коліях з моменту прибуття з поїздом до відправлення без заходу в депо

парк відправлення парк прибуття	Б	Є	І	Л
Г	57	58	57	57
Є	66	41	66	66
З	63	59	64	64
І	54	66	41	57
Л	56	67	57	41

Примітка: При прибутті та відправленні локомотивів з поїздами з парків "І", "Є", "Л" відбувається зміна локомотивних бригад.

ДОДАТОК 3
Норми витрат робочого часу локомотивних бригад в основному та оборотних депо

Дільниці	В основному депо					Знаходження локомотивних бригад на станційних коліях оборотного депо
	Від'їзди до початку приймання локомотива	Відпочатку приймання локомотива до проходження контролю посту	Від проходження контролю посту до відправлення поїзда	Від моменту прибуття до проходження контролю поїзда	Від проходження контролю поїзда до завершення здачі локомотива	
Нижньодніпровськ-Вузол - П'ятихатки -	0,4	0,3	0,8	0,8	0,3	0,9
Нижньодніпровськ-Вузол - Синельникове-І -						0,8
Нижньодніпровськ-Вузол						