A photograph of a modern blue and white electric locomotive, model VL11M6-505 A, traveling on a railway track. The locomotive features a large front window with wipers, a red and white striped nose, and the Ukrainian Railways logo. The background shows a dirt embankment and power lines.

# **Підвищення ефективності оперативного керування локомотивним парком залізниць України**

**Козаченко Д. М.  
Вернигора Р. В.  
Єльнікова Л. О.  
Березовий М. І.**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Підвищення ефективності  
оперативного керування  
локомотивним парком  
залізниць України

МОНОГРАФІЯ

Дніпро  
«ГЕРДА»  
2017



УДК 656.212.5:005.92

ПЗ2

Автори:

д-р техн. наук, проф. Д.М. КОЗАЧЕНКО,  
канд. техн. наук, доц. Р.В. ВЕРНИГОРА,  
канд. техн. наук, ст. викл. Л.О. ЄЛЬНІКОВА,  
канд. техн. наук, доц. М.І. БЕРЕЗОВИЙ.

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Дніпропетровського  
національного університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна (протокол № 5 від 26.12.2017)*

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. **Бобровський Володимир Ілліч**, професор кафедри  
«Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, Україна;  
д-р техн. наук, проф. **Лаврухін Олександр Валерійович**, завідувач  
кафедри «Управління вантажною та комерційною роботою» Українсь-  
кого державного університету залізничного транспорту, м. Харків,  
Україна;

д-р техн. наук, доц. **Турпак Сергій Миколайович**, професор кафедри  
«Транспортні технології» Запорізького національного технічного  
університету, м. Запоріжжя, Україна.

**Підвищення ефективності оперативного керування локомотивним**

ПЗ2 **парком залізниць України [Текст] : монографія / Д.М. Козаченко,  
Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова, М.І. Березовий; Дніпропетр. нац. ун-т  
залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро : Герда, 2017. – 164 с.**

ISBN 978-617-7097-82-1

Монографія присвячена актуальним питанням удосконалення методів  
оперативного планування та керування експлуатаційною роботою парку вантажних  
локомотивів на залізничному транспорті України.

Для вчених, аспірантів та студентів вищих навчальних закладів залізничного  
транспорту, а також для інженерного та керівного складу підрозділів залізниць,  
пов'язаних з організацією експлуатаційної роботи локомотивного парку.

Іл. 47. Табл. 24. Бібліогр.: 166 назв.

**УДК 656.212.5:005.92**

ISBN 978-617-7097-82-1

© Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова, М.І. Березовий, 2017  
© Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені акад. В. Лазаряна, 2017

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ .....	7
1.1. Дослідження методів планування роботи локомотивного парку .....	7
1.1.1. Проблеми ефективного використання тягового рухомого складу .....	7
1.1.2. Аналіз методів планування роботи локомотивів .....	9
1.1.3. Проблеми удосконалення системи організації роботи локомотивних бригад .....	13
1.1.4. Аналіз впливу системи організації пропуску поїздів на роботу локомотивного парку .....	20
1.2. Аналіз моделей функціонування технічних станцій .....	25
1.3. Аналіз методів прогнозування тривалості руху поїздів .....	28
1.4. Автоматизація оперативного керування тяговими ресурсами .....	30
1.5. Аналіз сучасного стану локомотивного господарства України .....	35
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УМОВ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ УКРАЇНИ .....	38
2.1. Аналіз існуючої системи організації роботи локомотивів та локомотивних бригад .....	38
2.1.1. Нормативне забезпечення планування роботи локомотивного парку .....	38
2.1.2. Планування необхідної кількості локомотивів при оперативному плануванні поїзної та вантажної роботи .....	39
2.1.3. Організація роботи та облік робочого часу локомотивних бригад .....	41
2.1.4. Складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад .....	43
2.2. Проблеми оперативного планування роботи локомотивного парку .....	48
2.3. Аналіз нерівномірності в роботі технічних станцій України .....	54
2.4. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку .....	59
РОЗДІЛ 3. АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ НАПРЯМКУ .....	67
3.1. Структура та задачі адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку .....	67
3.2. Модуль прогнозу прибуття поїздів на технічну станцію .....	70
3.2.1. Структура та принципи побудови модуля прогнозу прибуття поїздів .....	71
3.2.2. Структура та методика побудови нейронної мережі для прогнозу прибуття поїздів .....	73
3.2.3. Нормалізація даних для вхідного вектора нейромережі .....	75
3.2.4. Вибір архітектури нейронної мережі для прогнозування моментів прибуття поїздів .....	76

3.2.5. Дослідження впливу параметрів вхідного вектора на точність прогнозу тривалості руху вантажних поїздів.....	79
3.2.6. Перевірка адекватності нейромережі.....	82
3.3. Удосконалення імітаційної моделі роботи технічної станції.....	85
3.4. Математична модель роботи локомотивного депо .....	89
3.4.1. Модуль прогнозування роботи локомотивів.....	90
3.4.2. Модуль прогнозування роботи локомотивних бригад.....	93
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУ РОБОТИ ЛОКОМОТИВІВ ТА ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД .....</b>	<b>96</b>
4.1. Постановка задачі розроблення плану роботи локомотивного парку .....	96
4.2. Розв’язання задачі оптимального призначення бригад на локомотиви .....	99
4.3. Розв’язання задачі оптимального призначення локомотивів з бригадами на состави .....	102
4.4. Методика коригування плану роботи локомотивних бригад .....	110
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>112</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>114</b>
<b>ДОДАТОК А. Техніко-експлуатаційна характеристика дільниці П’ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове–І.....</b>	<b>132</b>
<b>ДОДАТОК Б. Приклад розрахунку парку локомотивів та штату локомотивних бригад та часу їх готовності до відправлення.....</b>	<b>134</b>
Б.1. Приклад розрахунку експлуатованого парку локомотивів та штату локомотивних бригад на добу .....	134
Б.2. Приклад розрахунку часу готовності локомотивних бригад до відправлення по пункту їх обороту.....	135
<b>ДОДАТОК В. Аналіз роботи технічних станцій України та нерівномірності руху вантажних поїздів.....</b>	<b>136</b>
В.1. Аналіз роботи технічних станцій .....	136
В.2. Аналіз тривалості руху поїздів на дільницях напрямку.....	142
<b>ДОДАТОК Г. Графік роботи станції .....</b>	<b>156</b>
<b>ДОДАТОК Д. Періодичність та тривалість планових ремонтів та технічного обслуговування вантажних електровозів.....</b>	<b>157</b>
<b>ДОДАТОК Е. Норми перебування локомотивів на станційних коліях залежно від необхідності заходу в локомотивне депо станції Нижньодніпровськ–Вузол .....</b>	<b>160</b>
<b>ДОДАТОК Ж. Норми витрат робочого часу локомотивних бригад в основному та оборотних депо .....</b>	<b>161</b>

## ВСТУП

Транспортна галузь є своєрідною «кровоносною системою» економіки будь-якої держави, забезпечуючи її функціонування та сталий розвиток. В Україні залізничний транспорт наразі залишається основним перевізником, на який припадає майже 60 % загального вантажообігу країни (а без урахування трубопровідного транспорту – 82 %) та більше ніж 35 % загального пасажирообігу [1]. Відповідно до затвердженої «Стратегії розвитку ПАТ «Українська залізниця» до 2021 року» (далі – Стратегія) місією залізничного транспорту є забезпечення стійкого розвитку України за рахунок надання якісних і доступних транспортних та логістичних послуг на основі принципів соціальної та екологічної відповідальності, а також ефективної моделі управління компанією, яка відповідатиме викликам сьогодення з урахуванням майбутніх потреб економіки та населення [2]. Сучасні умови функціонування транспортної системи України характеризуються демонополізацією та дерегуляцією ринку перевезень. Наслідком цього для залізничного транспорту України є постійне зростання конкуренції з боку інших видів транспорту, насамперед автомобільного. Так, частка автомобільного транспорту в загальному вантажообігу зросла з 7,5 % у 2005 р. до 16,9 % у 2016 р. [3]. На фоні тенденцій до загальнодержавного зниження економічної активності однією з основних причин втрати залізничним транспортом України позицій на ринку перевезень є критичний рівень зношеності його основних засобів, зокрема локомотивного парку. Так, зношеність парку магістральних електровозів становить 92 %, а магістральних тепловозів – 99 % [2]. Слід зауважити, що вказана проблема протягом останнього десятиріччя постійно перебуває в полі зору як керівництва Укрзалізниці (УЗ), так і держави в цілому, і відповідно робилися спроби щодо оновлення тягового рухомого складу. Зокрема, у період з 2012 по 2016 рік діяла «Програма оновлення локомотивного парку залізниць України», затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 21.08.2011 № 840 [4], що передбачала закупівлю понад 500 локомотивів на суму 28,7 млрд грн (3,6 млрд USD за курсом 2011 року). Однак ця програма через відсутність коштів залишилася не виконаною. Водночас відповідно до [2] Укрзалізниця планує придбати понад 200 нових локомотивів (обсяг інвестицій – 30 млрд грн) та модернізувати близько 360 локомотивів (обсяг інвестицій – 9,5 млрд грн) [2].

На початку 2017 р. загальний парк локомотивів УЗ складав 3 871 одиниць [5]: електровози: інвентарний парк – 1 720 одиниць, з них в експлуатації – 1 061 одиниць; тепловози: інвентарний парк – 2 151 одиниць, з них в експлуатації – 1 017 одиниць, тобто експлуатований парк локомотивів становить всього 2 078 одиниць (53,7 % від інвентарного парку). Звідси цілком очевидно, що оновлення парку тягового рухомого складу є нагальним, але вкрай складним для розв’язання завданням, що потребує значних обсягів капіталовкладень.

Слід зазначити, що прийнята у 2017 р. Стратегія передбачає протягом п’яти років зростання середньодобової продуктивності вантажного локомотива на 15 % (з 1 490 тис. т·км у 2017 р. до 1700 тис. т·км брутто у 2021 р.) [2]. В умовах дефіциту справного тягового рухомого складу через значну його зношеність, а також враховуючи обмежені інвестиційні ресурси Укрзалізниці, одним з найбільш доцільних шляхів підвищення ефективності роботи локомотивного парку та локомотивних бригад є раціональне планування використання наявного парку локомотивів. Аналіз показників роботи залізниць показує, що існуюча в Україні система оперативного керування тяговим рухомим складом нерідко демонструє свою неефективність, а планування роботи локомотивів і локомотивних бригад часто виконується без урахування багатьох впливових факторів, зокрема й економічної складової, на основі лише власного досвіду, навичок, інтуїції поїзних і локомотивних диспетчерів. Наслідком такого підходу є нераціональні розклад явок локомотивних бригад і плани закріплення локомотивів за складами, що в підсумку призводить до збільшення непродуктивних простоїв складів на станціях і зниження ефективності використання локомотивів. Так, на практиці не рідкісні випадки явки локомотивних бригад за відсутності готових до відправлення составів поїздів.

У зв’язку з цим у монографії розглянуто перспективні напрямки вдосконалення оперативного планування роботи парку вантажних локомотивів на залізничних напрямках з метою підвищення ефективності експлуатації тягового рухомого складу.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

### 1.1. Дослідження методів планування роботи локомотивного парку

#### 1.1.1. Проблеми ефективного використання тягового рухомого складу

Нині залізниці України переживають черговий етап 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 [2; 6] у загальному обсязі перевезень вантажів усіма видами транспорту. При цьому у [2] як ключову мету визначено підвищення фінансово-економічної стабільності за рахунок стійкого розвитку, зростання дохідності й рентабельності бізнесу. Цієї мети передбачається досягти за рахунок реалізації трьох основних напрямків:

- підвищення привабливості вантажних і пасажирських перевезень залізничним транспортом в Україні;
- збільшення присутності на ринках за межами України за рахунок посилення співробітництва й прямих інвестицій;
- побудова ефективного логістичного оператора й зростання частки логістичних послуг у загальному портфелі компанії.

У головних стратегічних документах розвитку транспортної галузі України в цілому та залізничного транспорту зокрема [2; 4] серед основних проблем залізничної галузі відзначено значний рівень зношеності основних фондів – інфраструктури та, насамперед, рухомого складу, а також недосконалість організаційної структури та системи управління галуззю. При цьому Стратегія передбачає за 5-тирічний термін її реалізації інвестування в оновлення основних фондів у розмірі 5,85 млрд. USD, зокрема 1,33 млрд USD – в оновлення та модернізацію тягового рухомого складу. За рахунок цих коштів



планується придбання понад 200 нових локомотивів (зокрема 120 електро-  
зів) та модернізація майже 360 локомотивів. Окрім того, до 2021 року перед-  
бачається виведення з експлуатації 1 173 наявних локомотивів (30 %  
інвентарного парку), зокрема 598 електро-зів (35 %) та 575 тепловозів (27 %).  
Основним напрямком підвищення ефективності експлуатації тягового рухо-  
мо-го складу, окрім оновлення парку локомотивів, є удосконалення системи уп-  
равління тяговими ресурсами через створення державного оператора тяги UZ  
Лосо, що буде одночасно й продавцем послуг з надання локомотивної тяги.  
Ефект від реалізації цих стратегічних завдань передбачає до 2021 р. [2]:

- забезпечення не менше ніж 90 % усіх заявок на залізничні перевезення;
- скорочення обігу вагона на 20 %;
- скорочення термінів доставки вантажів на 15 %;
- зменшення рівня зношеності магістральних локомотивів до 74 %;
- збільшення середньодобової продуктивності локомотива на 15 %.

Досягнення поставлених цілей передбачає підвищення конкуренто-  
спроможності залізниць на ринку транспортних послуг, зокрема за рахунок  
покращення якості транспортного сервісу та гнучкої тарифної політики. Як  
відомо, якість транспортних послуг значною мірою визначається таким пока-  
зником, як термін доставки вантажів, скорочення якого наразі є актуальним  
завданням, що визначене Стратегією. У свою чергу, термін доставки ванта-  
жів тісно пов'язаний з обігом вагона, що є одним з основних експлуатаційних  
показників роботи залізниць. Слід зазначити, що величина обігу вантажного  
вагона багато в чому визначає якість організації перевізного процесу, а також  
впливає на собівартість перевезень.

Як показує аналіз, за роки незалежності обіг вагона в цілому демонст-  
рує тенденцію до зростання: порівняно з 1992 р., коли обіг складав 3,6 доб., у  
2016 р. обіг становив 9,6 доб., тобто виріс у 2,7 разу. Важливо зазначити, що  
збільшення обігу вагона відбувається на фоні загального збільшення дільни-  
чної швидкості на 22 % (з 31,8 км/год у 1992 р. до 38,8 км/год у 2016 р.)

[7; 8]. Таким чином, основною причиною зростання обігу вагона є збільшення простоїв вагонів на станціях. Дослідження показують, що від 40 % до 45 % загальної величини обігу вагона складають простої вагонів на технічних станціях [9; 10]. Причому, як показав факторний аналіз, саме простої на технічних станціях найбільше впливають (у понад 60 % випадків) на зміну величини обігу вагона [11]. За останні 20 років середній простій вагонів на технічних станціях зріс майже удвічі: з 5,3 год у 1992 р. до 11,9 год у 2016 р. [7; 8]. Отже, контроль за виконанням норм простою вагонів на технічних станціях займає важливе місце в експлуатаційній роботі залізниць.

Для скорочення тривалості перебування вагонів на технічних станціях необхідно, передусім, скоротити непродуктивні простої, пов'язані з очікуванням початку технологічних операцій. Як вказано в [9], значна частка в 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 через його суттєвий рівень зношеності [12]. Враховуючи вкрай низькі темпи оновлення парку магістральних локомотивів, проблема удосконалення системи оперативного керування наявним локомотивним парком є наразі досить актуальною [9]. 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, своєчасної доставки вантажів та ритмічності перевезень, окрім розробки власне графіка руху поїздів, необхідно також розробити план роботи локомотивів, який забезпечує своєчасне відправлення поїздів зі станцій формування вантажопотоків, а також включає план прикріплення локомотивів до поїздів у пунктах обороту. Слід зазначити, що незважаючи на те, що проблема розробки ефективного

плану роботи локомотивного парку не є новою та над нею працювали видатні вчені-залізничники XX століття, її розв'язання є актуальним і зараз.

Розроблені за часів планової економіки методи розрахунку експлуатованого парку локомотивів на основі показників продуктивності локомотива та вагона, а також при заданих розмірах руху по розрахункових ділянках [13] можуть бути застосовані при річному плануванні парку тягового рухомого складу та не використовуються при оперативному плануванні парку локомотивів. При цьому в [14] зазначено, що нормування локомотивного парку необхідно виконувати з урахуванням впливу на потребу в локомотивах систем тягового обслуговування составів поїздів.

Балансовий метод визначення потреби та наявності локомотивів на кожній станції полігона, запропонований у [15], може бути використаний на полігонах з незначними коливаннями обсягів руху поїздів; в умовах жетевової нерівномірності руху вантажних поїздів застосування цього методу є неефективним.

При добовому регулюванні локомотивів може бути застосований метод «ковзаючих» пунктів обороту локомотивів та бригад [15; 16] для пришвидшення вивозу вантажних поїздів з технічних станцій, зокрема із залученням локомотивів із сусідніх ділянок обертання; при цьому автори робіт не досліджують вплив застосування «ковзаючої» технології на роботу сусідніх технічних станцій та дільниць обертання локомотивів та бригад.

У праці [17] 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, виконане за допомогою маршрутної системи експлуатації локомотивів [18; 19], 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. У роботі [20] зроблено висновки, що система технічного обслуговування та ремонту не має значного впливу на необхідні розміри парку, що експлуатується, оскільки тривалість перебування в русі значно більша тривалості ремонту.

У роботі [21] проблему оптимального призначення локомотивів для поїздів наведено у вигляді двокритеріальної задачі оптимального планування в умовах невизначеності. Автори пропонують 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 у поїздах у роботі [22] 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.

У роботі [23] запропонована модель оптимального графіка обороту локомотивів, основу якої складає динамічна транспортна задача. Описана модель дозволяє розробити графіки роботи кожного локомотива, розрахувати показники їх роботи та оптимальну кількість локомотивів. Проте цей графік

розробляється тільки з урахуванням обслуговування составів, у ньому не враховуються графік та особливості роботи локомотивних бригад. У науковій праці [24] запропонована методика оперативного регулювання локомотивного парку, що включає складання стратегічного плану регулювання (намічається основна схема передислокації локомотивів з пунктів, де очікується надлишок) та тактичного плану регулювання (уточнюється схема передислокації за періодами поточного плану залежно від оперативного стану). При цьому передбачається введення додаткового штату працівників залізниць та дирекцій залізничних перевезень для цілодобового оперативного регулювання локомотивного парку.

Для розв'язання задачі оперативного планування роботи локомотивів у [25] було застосовано 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)-годинних інтервалах). 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. З використанням такого підходу зменшується парк локомотивів, простій локомотивів та бригад, кількість заходів локомотивів на ТО-2.

Отже, невисока точність прогнозу потреби в локомотивах, їх незадовільний технічний стан, що призводить 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 роботи локомотивних бригад

Проблема ефективної організації роботи локомотивних бригад (ЛБ) постанала з початком впровадження залізничних перевезень, а зі збільшенням обсягів перевезень вантажів її актуальність також зростала. Слід зазначити, що продуктивність, а також умови праці та відпочинку ЛБ великою мірою 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 обслуговуються ЛБ з двох суміжних пунктів, кожний з яких є одночасно пунктом приписки й пунктом обороту, *петльова* – коли на ділянці роботи бригад, що обмежена двома пунктами їх обороту, поїзди обслуговуються бригадами з пункту їх приписки, розташованого всередині ділянки [26].

Як зазначалось, проблема удосконалення системи організації роботи локомотивних бригад завжди була актуальною та перебувала в центрі уваги експлуатаційної науки. Так, ще в роботах [27; 28] викладено результати дослідження з 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 у цих працях наведена методика техніко-економічного порівняння варіантів ділянок та способів організації роботи ЛБ (за приведеними витратами). Відмічено, що організація праці ЛБ накладним способом з відпочинком в пункті обороту та повним використанням можливої безперервної тривалості роботи найкраще відповідає вимогам безпеки руху, дозволяє зменшити кількість поїздок та збільшити тривалість домашнього відпочинку.

Роботи [29-31] присвячені розв'язанню задачі доцільності подовження ділянок роботи локомотивних бригад, у них також наведено 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 експлуата-

ційні витрати та покращити використання тягового рухомого складу. Так, у [32; 33] відмічено тенденцію подовження локомотивних пліч обслуговування на залізницях України та позитивний ефект за рахунок їх впровадження: за рахунок роботи на 29 подовжених дільницях обслуговування покращилося використання локомотивів і ЛБ, що дало змогу зекономити в середньому 15 електровозів та 112 ЛБ, що, у свою чергу, дозволило знизити експлуатаційні витрати у 2012 р. приблизно на 90 млн грн.

Для більш раціонального використання робочого часу локомотивних бригад у [34] запропоновано ввести в пунктах обороту та основному депо екіпірувальні бригади (машиністів, які працюють самостійно), які будуть приймати локомотив у парку приймання, проходити весь цикл операцій з локомотивом до його здачі локомотивній бригаді в парку відправлення при зворотному прямуванні.

Необхідно сказати, що цей досвід успішно використовується і зараз. Так, у [35] зазначено, що 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 привело до скорочення витрат, пов'язаних з утриманням штату машиністів та їх помічників.

Отже, як видно, проблема ефективної організації праці локомотивних бригад була завжди актуальною та активно обговорюється і зараз.

Важливу роль у 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 у роботі бригад (очікування локомотива, очікування відправлення поїзда, позанормове знаходження в пункті обороту тощо) та максимальне використання допустимої тривалості безперервної роботи бригади. Також при розробці графіка роботи бригад депо слід дотримуватися

принципу рівномірного завантаження бригад протягом місяця та року, а також надання відпусток у повному обсязі.

У 80-х роках минулого століття науковці ДПТУ розробили методику визначення необхідного облікового штату ЛБ за допомогою побудови перспективної та ступінчатої діаграм роботи бригад [36], що відображають сезонну та внутрішньомісячну нерівномірність вантажопотоків, яка базується на прогностичних обсягах роботи ЛБ та основних положеннях КЗпП. Ця методика може використовуватись як при поточному (місячному або півмісячному) плануванні явочного штату ЛБ, так і на етапі довгострокового планування, а також для визначення дати початку та закінчення відпустки робітників. У [37] запропонована методика складання річного плану роботи ЛБ при нестачі контингенту, при чому сумарна річна переробка на одного машиніста рівномірно розподілена за місяцями року (можливі й інші варіанти), а планування виконується на основі 1-3 попередніх років з урахуванням прогнозування обсягу роботи. Ця методика передбачає роботу бригад за іменними розкладами. За допомогою запропонованого в роботі [38] комплексу програм можна визначити потрібний обліковий штат ЛБ, потрібний явочний штат, оптимальні розміри та строки створення тимчасових штатів. Прогноз розробляється на основі трьох попередніх років з урахуванням надання «вікон», використання ЛБ на допоміжних роботах. Аналізуючи наведені вище наукові праці, слід зауважити, що вони виконувалися 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 у цих роботах, певним чином сьогодні вже втратили свою актуальність.

У роботі [39] 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 п'ять років з урахуванням майбутніх змін.

Планування роботи локомотивних депо необхідно виконувати з урахуванням рівномірного завантаження бригад кожного депо полігона. Так, наукові праці [40;41] 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. У процесі розв'язання задачі виконується уточнення штату ЛБ кожного депо з подальшим використанням отриманих даних при розподілі обсягів робіт між основними депо полігона, а також при розподілі контингентів бригад різних категорій (за видами руху та роду тяги). У 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 графіка роботи бригад у 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 у наступні поїздки виникає необхідність у визначенні моментів відправлення та прибуття поїздів по пунктах приписки та обороту ЛБ. Знаходження умовних (прогнозних) ниток графіка руху поїздів (ГРП) виконується за допомогою методів математичної статистики на основі внутрішньодобового розподілу розмірів руху з групуванням даних про кількість поїздів, що прибули та відправились, за часовими періодами (за 10-15 діб, що передують плановій добі) [42]. Слід зазначити, що внаслідок місячної нерівномірності руху поїздів, обсяг перевезень, наприклад, на початку місяця може значно відрізнятися від обсягу роботи всередині місяця. Тому планування розмірів руху на основі 10-15 попередніх діб не

дає достовірного результату. Регулювання наявності ЛБ в [43] зводиться до розв'язання 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 розподілу розмірів руху, що плануються та прогножуються (умовні моменти прибуття та відправлення поїздів). Авторами робіт [44; 45] розроблено та удосконалено метод мінімальних різниць, що дозволяє отримати точне рішення щодо ув'язки поїздів у пари при попередньо заданих обсягах роботи з урахуванням невідповідних величин числа парних та непарних поїздів, кількість яких відома заздалегідь. Слід зазначити, що при використанні цього методу мінімізується сумарний час перебування в оборотному депо всіх бригад, а не кожної бригади окремо.

Одним з найбільш ефективних способів організації роботи локомотивних бригад є застосування іменних розкладів, що найкращим чином задовольняють вимоги щодо організації праці та відпочинку бригад. Так, у [46] наведено методику 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. У праці [47] запропонована методика комплексного двоетапного планування роботи локомотивних бригад (довгострокового й поточного) та застосування комбінованої системи організації їх роботи. Іменні розклади складаються для двох груп локомотивних бригад: перша (основна) – за іменними розкладами, що відповідають плановій місячній нормі відпрацювання годин та необхідній кількості вихідних, друга група (підмінні ЛБ) – за комбінованим методом. Для підмінних бригад також складаються іменні розклади, але з резервом місця й



часу обслуговування можливих позапланових поїздів, тобто таких поїздів, які не увійшли в «ядро». При цьому автори зазначають, що більший економічний ефект від використання цієї методики буде у випадку впровадження її не в окремому локомотивному депо, а на декількох депо залізничної мережі одночасно. За результатами роботи [48] зроблено висновок, що застосування іменних графіків роботи локомотивних бригад дозволило майже ліквідувати позанормову роботу та зменшити втрати робочого часу бригад.

У роботах [49; 50] прогноз часу явки ЛБ на місяць, що планується, виконується на основі гарантованих інтервалів, що визначаються статистично (за виконаними графіками руху поїздів). Гарантовані інтервали – такі мінімальні проміжки часу, у 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 [51; 52] задачу розробки графіка роботи бригад розв'язують за допомогою методів цілочислового програмування, а саме як «задачу комівояжера». Слід ще раз підкреслити, що запропоновані вище методики зі створення іменних розкладів роботи локомотивних бригад використовуються при русі вантажних поїздів за «жорсткими» нитками графіка.

У науковій праці [53] була розроблена графіково-інтервальна система організації роботи ЛБ, яка базувалася на аналізі відправлення поїздів протягом однієї години за три попередні місяці. Відповідно до цього та з урахуванням розміщення пасажирських та приміських поїздів на сітці графіка, надання «вікон» визначався час явки бригад на кожну годину доби. Отриманий результат відображав внутрішньомісячну та внутрішньодобову нерівномірності поїзної та вантажної роботи. Недоліком цього методу є те, що моменти явок бригад розподілялися рівномірно протягом години залежно від кількості поїздів, що планувалась, і це в деяких випадках спричиняло очікування поїздами бригад і навпаки.

Комплекс задач з планування та організації роботи ЛБ, поданий у [54], включав створення інформаційної бази та розв'язання задач обліку та звітності, планування роботи ЛБ на період від доби до року, управління роботою ЛБ у реальному масштабі часу. Автори відмічають, що автоматизація розв'язку 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 набула поширення, оскільки дорожні обчислювальні центри не були забезпечені швидкодійними ЕОМ з достатньою оперативною пам'яттю.

Методика визначення потреби локомотивних бригад та прикріплення їх до составів, що запропонована в [55], базується на прогнозі прибуття ЛБ на 3-6 год, тривалості технологічних операцій та відпочинку бригад. Автори цієї методики зазначають, що великі станції можуть впливати на нерівномірність потоку та організацію використання ЛБ шляхом впровадження гнучкого, варіантного плану формування поїздів, а саме формуванням багатогрупних поїздів далекого призначення. Залежно від прогнозу на 3-6 год вперед вирішується доцільність формування багатогрупних поїздів далекого 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 у [56] метод передбачає послідовне взаємопов'язане виконання розрахунків зі складання 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 графіка роботи бригад у пункті обороту виконується залежно від наявності та тривалості відпочинку, а також на основі попередньо складеного графіка відправлення поїздів, забезпечених локомотивами. У роботі [57] 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 у пункті обороту на початок періоду планування, заплановані «вікна» дозволяє розрахувати змінно-добовий план регулювання локомотивних бригад, що включає дані про явки бригад (за пунктами їх проживання) на добу з розбиттям по змінах, а також дані про повернення бригад як пасажирів та підсилку в пункти обороту. Поточний план регулювання ЛБ розробляється на шестигодинний період за 3 години до його початку з інтервалом 3 години. Проте, у 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 за часів Радянського Союзу, коли була планова економіка з жорстким контролем діяльності всіх сфер промисловості, а також методики, базою яких є рух вантажних поїздів за «жорсткими» нитками графіка. Оскільки в Україні відбувся перехід від планової до ринкової економіки, а впровадження «жорсткого» графіка руху поїздів зараз на стадії обговорення та теоретичних досліджень, то найбільш прийнятним способом удосконалення оперативної роботи локомотивного парку є створення адаптивних систем для ефективного оперативного управління роботою залізниць.

#### 1.1.4. Аналіз впливу системи організації пропуску поїздів на роботу локомотивного парку

Система організації 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 кращі 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.

У роботі [58] наведена методика регулювання локомотивного парку шляхом моделювання організації роботи локомотивів у межах дільниці обертання при виділенні в графіку руху «ядра». Так, приблизно 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 поїзди, розробляються регулювальні заходи по локомотивному парку в оперативному режимі. Як видно, ця методика використовується при стабілізації великої частини обсягу перевезень, чого важко досягнути в сучасних умовах при значній нерівномірності руху вантажних поїздів. Зокрема, для стабільного забезпечення ядра поїздів локомотивами пропонується вводити додатковий парк локомотивів у пунктах їх обороту та перечеплення, при цьому не враховуються виникаючі додаткові простой тягових одиниць.

Як вказано в [59; 60], однією з основних причин простою поїздів в очікування локомотивів як на залізницях України, так і Російської Федерації, є відсутність електровозів. Автор статті [60] зазначає, 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. У роботі [61] відмічено, що ритмічність відправлення поїздів може бути забезпечена за рахунок підвищення транзитності вагонопотоків, зокрема 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 позиції раціонального використання рухомого складу, планування роботи локомотивного парку, своєчасної доставки вантажів є застосування «жорсткого» графіка руху поїздів. Наукові доробки з цієї проблеми з'являлися ще за часів Радянського Союзу і наразі знову активно обговорюються.

Так, у [62] пропонується технологія роботи за «жорстким» ГРП, що базується на дискретному плануванні вантажної роботи станції та на управлінні навантаженням. Ефективність запропонованих рішень, як зазначають автори, полягає в 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 за схемою «точно в строк», покращенням збереженості вантажів. У [63] відмічено, що завдяки пришвидшенню просування вагонопотоків (організація технічної маршрутизації, групових поїздів) покращується використання локомотивного парку за рахунок мінімальної кількості перечеплень локомотивів на технічних станціях.

У працях [64–66] запропонована технологія поїзної роботи при постійних протягом місяця розмірах вантажного руху та нефіксованих вазі та довжині составів (ГРПР) на основі суміщеного варіантного графіка руху (СВГР), «жорсткого» графіка обороту локомотивів, іменних розкладах роботи ЛБ. Ця методика дозволяє стабілізувати вантажний рух (зокрема, 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 експреси, 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 [67] відмічено зменшення простоїв вагонів на станціях по-



лігону, зменшення парку локомотивів та ЛБ, кількості зупинок на станціях з неприймання поїздів, повну ліквідацію резервних пробігів локомотивів. Зазначено, що на напрямках з різкими коливаннями поїздопотоків ( $>13\%$ ) технологія ГРПР ефективна при оперативному введенні додаткових локомотивів та ЛБ, зокрема диспетчерських з 12-годинним режимом роботи.

У роботі [68] автори пропонують застосовувати іменні розклади для ЛБ, жорсткі графіки обороту для локомотивів, використовувати технологію СВГД для обліку нерівномірності поїздо- та вагонопотоків. Вказано, що зменшення питомого часу перебування на станції обороту та перечеплення сприяє збільшенню середньодобового пробігу та зменшенню експлуатованого парку локомотивів. У [69] для стійкої частини поїздопотоків на основі «жорстких» ниток графіка складаються графік обороту локомотивів та іменні розклади роботи ЛБ. Для локомотивів, які обслуговують факультативні поїзди (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, зокрема рекомендується розробляти графік руху поїздів не по залізничних дільницях, а по напрямках просування вантажопотоків.

У роботі [70] 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, зокрема виділення «ядра», організації руху групових поїздів та технічної маршрутизації за узгодженими розкладами, 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 зі зміни локомотивів та ЛБ.

У багатьох країнах Європи рух вантажних поїздів за розкладом є нормою роботи залізниць. Так, у Німеччині [71] вантажоперевізники подають заявку на використання певної нитки графіка, 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), існують інші залізничні компанії, які надають транспортні послуги як своєю інфраструктурою, так і інфраструктурою SBB, користуючись правом відкритого доступу [72]. 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 [73]. При цьому однією з можливостей збільшення продуктивності роботи локомотивів та зменшення числа ЛБ є рух локомотивів по міжнародних маршрутах 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 їх доставки за технологією «точно в строк» [74]. 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, цей процес потребує як організаційних зусиль, створення нормативно-правової бази, так і суттєвих матеріальних витрат, а також його впровадження є досить тривалим процесом.

## **1.2. Аналіз моделей функціонування технічних станцій**

Для аналізу функціонування залізничних напрямків та станцій, розроблення планів їх роботи, виявлення «вузьких» місць ефективним є використання імітаційного 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 [75; 76]. Модель може бути використана: для планування роботи станції в умовах реконструкції або закриття технічних засобів та для оцінки різних варіантів організації роботи станції в таких умовах [75], а також для нормування різних показників роботи станції та аналізу якості роботи оперативної зміни [76]. 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 [77] використовують програму Advanced Model Designer (AMD), яка базується на методах моделювання однорідних і неоднорідних СМО. Програма AMD дозволяє коригувати структуру й параметри моделі СМО, зокрема й під час моделювання.

Широкого поширення останнім часом набули моделі транспортних об'єктів, розроблені з використанням апарата мереж Петрі. Технологічний процес обробки поїздів у таких моделях описується послідовністю позицій (станів) і переходів. При цьому переходи імітують обробку об'єктів протягом заданого часу, а позиції характеризують поточний стан системи й визначають умови переходів. Під час виконання умов перехід спрацьовує, у результаті чого змінюється поточна розмітка мережі. Зокрема, у [78; 79] розроблена методика представлення комплексу «сортувальна станція – прилеглі ділянки» у вигляді мережі Петрі. У цих працях показано, що шляхом ускладнення структури модельованої мережі можна досягти будь-якого ступеня деталізації.

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 у роботах [80–82] використано нейронні мережі та теорії нечітких множин, що дають можливість зменшити простій рухомого складу та підвищити ефективність функціонування станції в цілому.

У працях [83–85] 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 усе частіше використовуються сучасні програмні засоби моделювання. Так, у [86] 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 поїзди, локомотиви й вагони подаються у 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. Водночас у цій 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.

У роботі [87] запропонована імітаційна модель роботи залізничного вузла на основі агентного моделювання: на інфраструктурному рівні агентами є залізничні колії, локомотиви, бригади; на сервісному рівні агентами є 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. Ця СПЕР інтегрована в систему диспетчерської централізації «Каскад» [88].

Автори наукової праці [89] пропонують доповнювати моделі оперативного планування та керування поїзною роботою інструментами бізнес-аналітики для підвищення ефективності прийняття рішень.

Останнім часом набувають поширення 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 й передачі інформації про роботу і стан транспортних засобів, а також для обміну інформацією між користувачами й керуючими структурами в режимі реального часу і управління транспортом [90]. Розв'язання транспортних задач базується на застосуванні сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій і методів управління. Так, у статті [91] визначено загальні умови побудови інтелектуальних станційних систем, використання яких дозволить суттєво підвищити ефективність функціонування залізничних станцій.

У науковій статті [92] 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.

Заслуговує на увагу досвід вчених ДШТУ, де під керівництвом професора В. І. Бобровського створено наукову школу з функціонального моделювання роботи залізничних станцій [93] 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 з нормативним графіком руху поїздів, виходячи з величини середньої швидкості руху тощо.

Так, автор роботи [94] обґрунтовує необхідність використання ймовірно-статистичних методів у дослідженнях руху поїздів. Зокрема, 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.

У роботі [95] розроблено основні принципи моделі аналізу та прогнозу прямуювання та прибуття транзитних поїздів, основу якої складають методи нечіткої логіки й теорія нечітких множин. Автори наукової праці [96] пропонують прогноз прибуття поїздів розробляти з використанням нейронних мереж на основі досвіду пропуску поїздопотоків протягом попередніх періодів.

У працях [97; 98] розрахунок прогнозного 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 прогнозну тривалість руху між станціями розраховують на основі середнього значення швидкості руху [99]. У роботі [100] прогнозування тривалості руху між технічними станціями пропонується виконувати на основі перегонних тривалостей руху поїздів згідно з графіком руху.

Загальним недоліком проаналізованих робіт [94–100] є те, що при розрахунку тривалості руху вантажних поїздів не брався до уваги такий фактор, як маса поїзда, що має суттєвий вплив на величину тривалості руху поїздів між станціями. Окрім того, у цих роботах недостатньо уваги приділяється дослідженню впливу часу та дати на тривалість руху.

У роботі [101] запропоновано метод багатфакторного ситуаційно-евристичного нормування тривалості технологічних операцій для побудови плану-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 [102], прогнозування руху поїздів у АСУЗТ виконується за рахунок нормативних тривалостей руху по перегонах. Також автори зазначають, що одним з перспективних напрямків прогнозування руху поїздів є розрахунок тривалості руху з використанням даних систем глобального позиціонування GPS. Так, у роботах [103–106] запропоновані СППР для диспетчерського персоналу з використанням інформації, що надходить з GPS-приладів, встановлених на локомотивах, для оперативного контролю дислокації рухомого складу. Надалі аналогічні системи можна буде використовувати для розрахунку прогнозних моментів прибуття поїздів (локомотивів) на станції.

Отже, проблема визначення прогнозної 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 враховува-



ла всі можливі чинники, може бути досить складною, тому актуальним завданням наразі є визначення факторів, які мають найбільший вплив на величину тривалості руху, та з урахуванням ступеня їх впливу розробити адекватну прогнозну модель тривалості руху вантажних поїздів між станціями залізничного напрямку.

#### **1.4. Автоматизація оперативного керування тяговими ресурсами**

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 останнім часом широко впроваджується автоматизована система диспетчерського управління локомотивами та локомотивними бригадами на замкнутих полігонах обертання СИГНАЛ-Л [107–109], 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, у якій, зокрема, 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 [110] 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. Кількість явок розраховується як мінімальна потреба бригад при даному поїз-

допотоці; решта ЛБ працює за системою виклику. Створення на залізниці єдиного диспетчерського центру управління перевезеннями дозволило оперативно контролювати забезпечення балансу локомотивів на полігоні та своєчасне повернення їх у пункти масового зародження поїздопотоків, виключивши простої сформованих составів у 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 за періодами 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 графіка руху. Так, у [111] зазначено, 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 у очікуванні локомотивів та простою локомотивів у очікуванні поїздів на деяких станціях Придніпровської залізниці. При ідентифікації закону розподілу часу простою було визначено, що щільність цих розподілів підпорядкована закону Вейбулла–Гнеденка.

Виконаний у [112] аналіз експлуатації АРМів локомотивного депо, що використовуються на залізницях України, показав необхідність полегшення процесу введення інформації, прискорення її обробки, збільшення швидкості отримання оперативних даних. Також у цій праці зроблено висновки про необхідність поширення удосконалених АРМів. У роботах [113; 114] відмічено

недосконалість існуючих АРМів працівників локомотивних депо, зокрема АРМів диспетчерського апарату дирекції та залізниць (у частині функцій, що стосуються 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 [115] 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-С, дає можливість створити повноцінну інформаційну модель АСУ Т.

Як зазначалося 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 [116], що дає змогу визначити положення локомотива, виконану ним роботу тощо. Проте, окрім визначення місцезнаходження локомотивів, необхідно створити програмний комплекс для підтримки прийняття оперативних рішень диспетчерським персоналом на основі даних навігаційного обладнання. Так, у роботі [103] 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. У роботі [104] 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. У процесі функціонування

модель повинна аналізувати варіанти прокладки поїздів і знаходити оптимальну нитку графіка, яка буде сприяти дотриманню нормативного графіка руху поїздів.

Як вказано в роботі [105], 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 наземного обладнання) окрім традиційного керування рухом поїздів, дозволить розв'язати додаткові задачі: автоматичне оповіщення працівників станцій, ремонтних бригад, пасажирів про наближення рухомого складу, автоматичне складання графіка виконаного руху, а також підвищення безпеки руху поїздів тощо. Автори вказують, що запропонований апаратно-програмний комплекс вміщує 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» [106], яке реалізоване на вебсторінці єдиного корпоративного порталу УЗ з можливістю взаємодії із системою 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 зауважити, що наукові доробки, запропоновані в роботах [103; 104], наразі перебувають на стадії розроблення програмних комплексів, а результатів використання програмного забезпечення для оперативного планування роботи залізничного транспорту України, запропонованих у [105; 106] на сьогодні немає.

Використання навігаційного обладнання поширюється також і за кордоном. Так, у США з 2015 року впроваджується використання Positive train control (PTC) [117], до інфраструктури якої входять навігаційне обладнання в

локомотиві, наземне обладнання із сигналами, датчики визначення місцезнаходження поїзда, а також центр контролю. РТС призначена для відображення в кабіні машиніста в реальному масштабі часу інформації про показання світлофорів, обмеження швидкості та місця проведення ремонтних робіт. Система РТС буде забезпечувати рух поїздів, забезпечувати контроль місцезнаходження рухомого складу, що, у 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 [118].

Китайські науковці [119] план роботи локомотивного парку при довгостроковому плануванні пропонують складати на основі графіка руху поїздів, що, у 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. Ця система повинна вирішувати широкий комплекс завдань, пов'язаних з оперативним плануванням роботи локомотивів та локомотивних бригад, зокрема, здійснювати розрахунок моменту явки бригад залежно від підходів поїздів до станції, поїзного положення безпосередньо на станції формування й відправлення поїздів, а також планування прикріплення локомотивів до поїздів на 3-4 години вперед з урахуванням наявності локомотивів у поїздах на підходах до станції та у локомотивних депо.

### **1.5. Аналіз сучасного стану локомотивного господарства України**

У 2013 році в підпорядкуванні Укрзалізниці налічувалось 49 основних та 40 оборотних депо [120]. У депо виконують такі види робіт: перевезення вантажу та пасажирів локомотивами в межах діляниць обслуговування; екіпірування локомотивів; виконання поточного ремонту ПР-1, ПР-2, ПР-3; виконання технічного обслуговування ТО-2, ТО-3.

Слід зазначити, що «Стратегією розвитку ПАТ «Українська залізниця» до 2021 р.» передбачено скорочення кількості локомотивних депо на 25 % [2].

Як зазначалося, на початок 2017 р. загальний парк локомотивів становив 3 871 од.[3; 5]:

- електровозів 1 720 од. (в експлуатації – 1 061 од., несправних – 509 од., у резерві – 150 од.);

- тепловозів 2 151 од. (в експлуатації – 1 018 од., несправних – 984 од., у резерві – 149 од.).

Для здійснення перевезень по магістральних залізничних лініях використовується близько 95 % електровозів та 40 % тепловозів [12].

Після розпаду СРСР у 1991 р. локомотивний парк України налічував 1 910 електровозів і 4 210 тепловозів, середній рівень зношеності локомотивного парку при цьому становив близько 60 % [121]. Таким чином, за період 1991–2016 рр. інвентарний парк локомотивів зменшився на 2 249 од. (на 37 %), причому в основному за рахунок списання тепловозів, кількість яких зменшилася на 2 059 одиниць (49 %), у той час як загальна кількість електровозів зменшилася на 190 одиниць (10 %). Динаміка зміни інвентарного парку локомотивів України показана на рис. 1.1 [3].

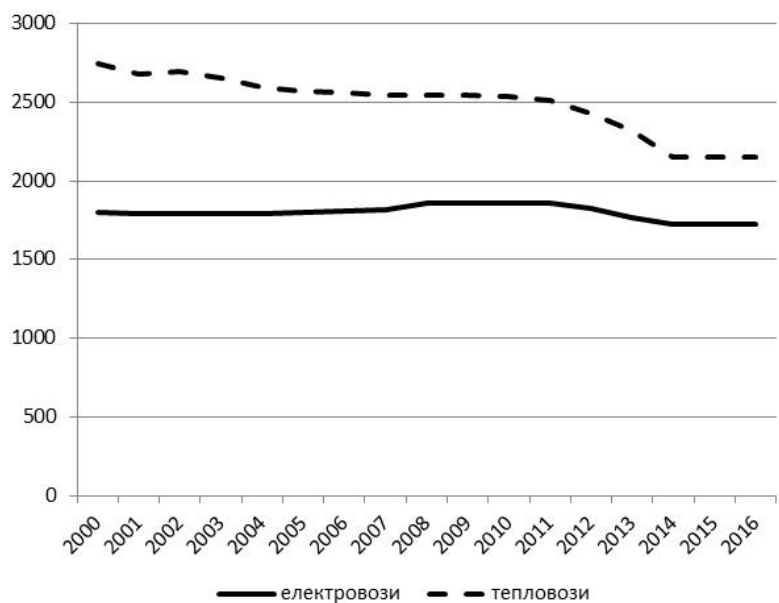


Рис. 1.1. Динаміка зміни парку локомотивів протягом 2000–2016 рр.

Водночас на фоні зменшення загального парку локомотивів середня продуктивність українського локомотива за роки незалежності зросла на 55 %: якщо в 1992 р. вона становила 962 тис. т·км бруutto/добу, то в 2017-му – уже 1 490 тис. т·км бруutto/добу [2; 7].

Як уже зазначалося, основною проблемою для українських залізниць нині є не стільки зменшення локомотивного парку в цілому, як значний рівень його зношеності: для магістральних електровозів цей рівень становить 92 %, для магістральних тепловозів – 99 % [2]. При цьому середній строк експлуатації українських локомотивів складає близько 35 років: електровозів (при нормативі 30 років) – 38 років, а тепловозів (при нормативі 20 років) – 33 роки [3] (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Віковий стан локомотивного парку України						
Тип	Строк експлуатації, років					Разом
	до 8	9...15	16...25	26...40	більше 40	
Електровози	69 (4 %)	64 (3,7 %)	36 (2,1 %)	638 (37,1 %)	913 (53,1 %)	1 720
Тепловози	4 (0,2 %)	6 (0,3 %)	140 (6,5 %)	1 667 (77,5 %)	334 (15,5 %)	2 151
Разом	73 (1,9 %)	70 (1,8 %)	176 (4,5 %)	2 305 (59,5 %)	1 247 (32,2 %)	3 871

Оновлення ж парку локомотивів в Україні йде вкрай повільно. Так, за всі роки незалежності Україна придбала всього майже 100 локомотивів. Варто відзначити фактичне невиконання «Програми оновлення локомотивного парку залізниць України» [4], яка передбачала до 2016 р. придбання більше 500 нових локомотивів, однак придбано було тільки 60 одиниць. Як вже зазначалось, амбітні плани щодо оновлення тягового рухомого складу містить «Стратегія розвитку ПАТ «Українська залізниця» на 2017–2021 рр.», у якій з цією метою передбачається обсяг інвестицій на рівні 40 млрд грн [2].

При експлуатації рухомого складу понад нормативний термін служби істотно погіршуються показники безпеки й економічної ефективності, зростає ресурсо- і енергоємність перевезень. У перспективі виникають загрози: з одного боку – різке підвищення витрат на експлуатацію застарілого рухомого складу, з іншого – неможливість здійснювати перевезення через фізичну відсутність тягового рухомого складу. 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 [9].

Таким чином, 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].



## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ УМОВ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ УКРАЇНИ

#### **2.1. Аналіз існуючої системи організації роботи локомотивів та локомотивних бригад**

##### **2.1.1. Нормативне забезпечення планування роботи локомотивного парку**

На сьогодні технологія управління локомотивним парком в Україні регламентується низкою 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, залізниці, дирекцій залізничних перевезень (далі – дирекцій) і станцій.

Для прикладу на рис. 2.1 наведено порядок розробки оперативного плану роботи локомотивного господарства станції. Слід зазначити, що оперативний план роботи дирекцій розробляється аналогічно порядку, наведеному на рис. 2.1. Вихідними даними для складання оперативного плану на всіх рівнях є:

- норми технічного плану;
- графік руху й план формування поїздів;
- технологічні норми на обробку поїздів, вагонів і вантажних операцій;
- оперативна інформація про поїзну й вантажну роботу та 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, що отримані з інформаційних систем.

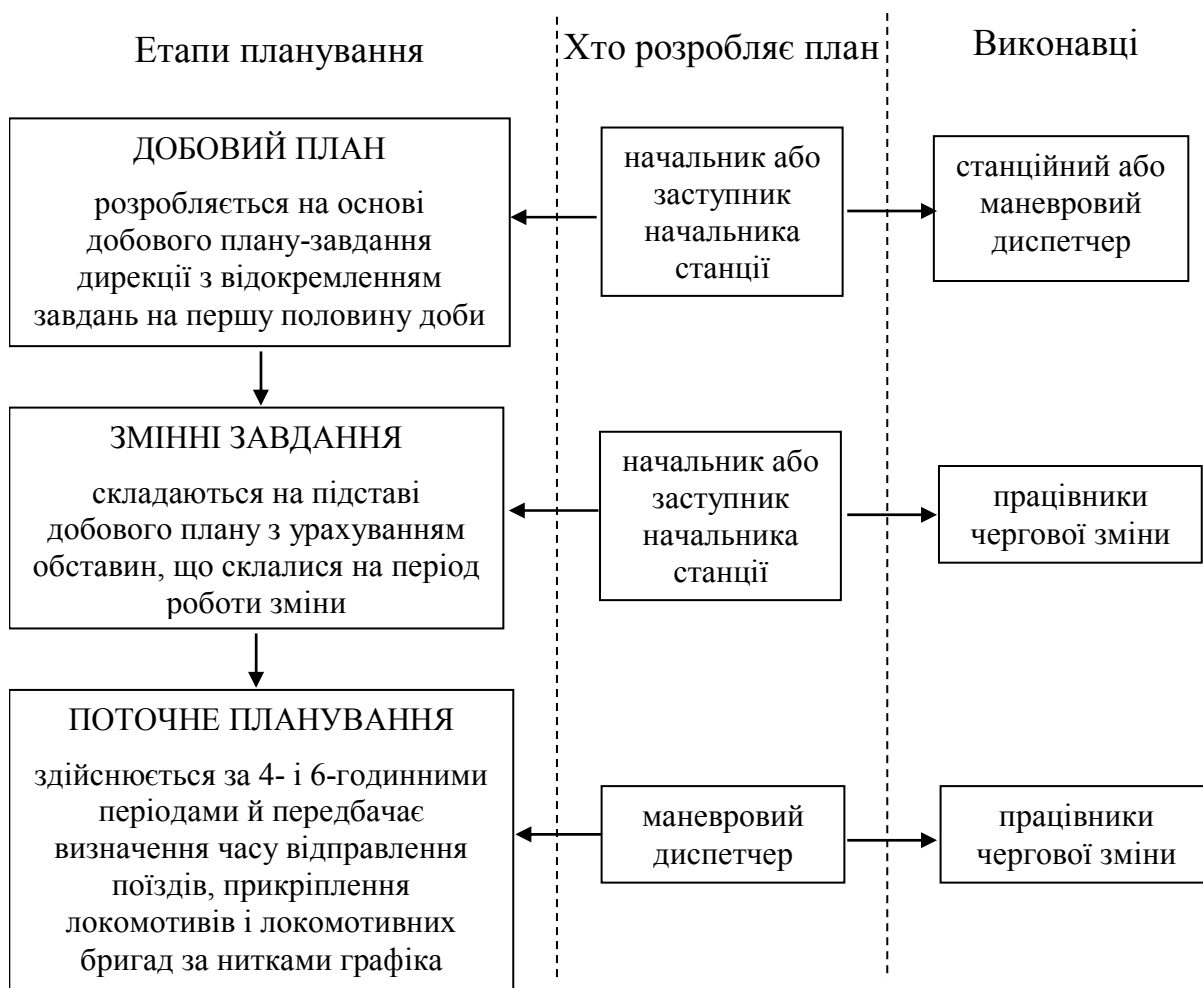


Рис. 2.1. Порядок оперативного планування роботи локомотивного господарства станції

### 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 довжини в межах декількох дирекцій план розробляється службою перевезень залізниці. При цьому порядок визначення в змінно-добовому плані дирекції потрібного парку локомотивів і локомотивних бригад зводиться до такого.

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 в локомотивах на пару поїздів на дільницях обертання [123; 127]:

$$M_{ек} = K_{л} n , \quad (2.1)$$

де  $K_{л}$  – коефіцієнт потреби в локомотивах;

$n$  – кількість пар поїздів на дільниці.

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

$$K_{л} = \frac{\theta_{л}}{24} , \quad (2.2)$$

де  $\theta_{л}$  – оборот локомотива, який визначається як

$$\theta_{л} = \frac{2l}{v_{д}} + \sum t_{зб} + t_{об} + t_{ос} , \quad (2.3)$$

де  $l$  – довжина ділянки;

$v_{д}$  – дільнична швидкість;

$\sum t_{зб}$  – 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 в локомотивах на всіх дільницях обертання:

$$M_{ек}^{заг} = \sum K_{ли} n_i . \quad (2.4)$$

де  $K_{ли}$  – коефіцієнт потреби в локомотивах на  $i$ -й дільниці;

$n_i$  – кількість пар поїздів на  $i$ -й дільниці.

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

У добових планах завдання на регулювання локомотивного парку встановлюється на половину доби, а в необхідних випадках за 6-годинними пері-

одами, 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, наведеному для дирекцій залізничних перевезень.

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

- експлуатований парк локомотивів на УЗ (залізниці) і на подовжених ділянках обертання;
- кількість локомотивів, що відправляються резервом на інші залізниці, а також тих, що пересилаються між ділянками 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 організовується, 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 увійшли в іменні графіки й не охоплені 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 ділянках 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 урахуванням сезонних і щодобових коливань вагонопотоків.

По кожному пункту явки локомотивних бригад начальником дирекції залізничних перевезень за узгодженням з районними профспілковими організаціями і з урахуванням пропозицій локомотивних бригад повинна бути встановлена межа допустимого часу перебування 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), призначеного 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 залежно від графіка руху поїздів і варіантних графіків, що розробляються у зв'язку з наданням «вікон» у 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 тощо) 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 в 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 поїздки) повинна бути не менше ніж половина часу попередньої роботи і, як правило, не повинна бути більшою ніж час 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 збільшуватися мінімальна тривалість відпочинку в пунктах обороту.

Час відпочинку локомотивних бригад в пунктах обороту понад половину 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 графіка 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 перебування 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 графіка обороту локомотива залежить як від типу графіка вантажних поїздів на напрямку, так і від кількості поїздів у парному та непарному напрямках (рис. 2.2).

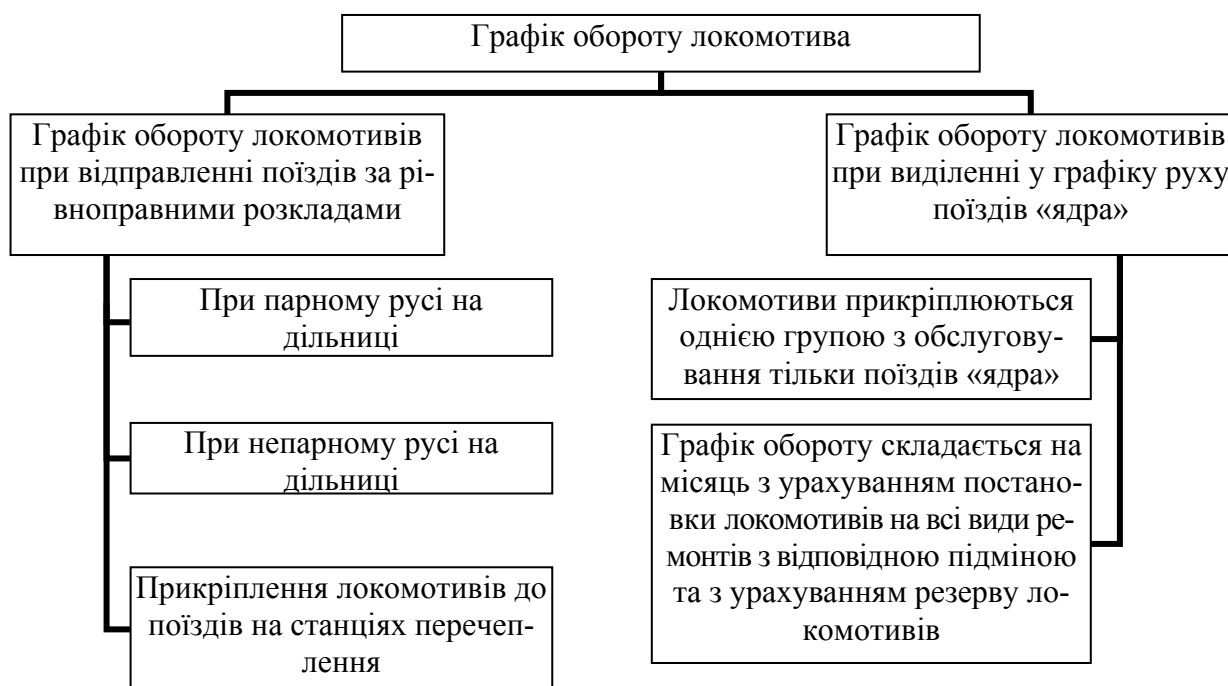


Рис. 2.2. Умови вибору методики складання графіка обороту локомотива

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 виконання всіх технологічних операцій (задана технологічна

норма). За таким принципом (перший прибув – перший відправився) прикріплюються послідовно всі локомотиви, що прибувають;

- при непарному русі, коли на станцію обороту прибуває більше поїздів, ніж відправляється у зворотному напрямку, прикріплення локомотивів починається із забезпечення останнього поїзда, який відправляється у зворотному напрямку в 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 всі локомотиви, що прибули з поїздами. Зворотні поїзди, що залишилися без локомотивів, забезпечуються локомотивами, які підсиляються резервом з поїздами з таким розрахунком, щоб у цих локомотивів в пункті обороту витримувалася 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 в 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 в попутному напрямку. При недостатній кількості локомотивів на станцію підсиляються резервні тягові одиниці в напрямку загального резервного пробігу.

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



- локомотиви прикріплюються однією групою з обслуговування тільки поїздів «ядра»;
- графік обороту розраховується на місяць з урахуванням постановки локомотивів на всі 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 менший ніж

$$\alpha_{\text{ря}} = \frac{0,02}{4 - 0,035 n_{\text{я}}}, \quad (2.6)$$

де  $n_{\text{я}}$  – середньозважені розміри руху поїздів, що охоплені ядром.

Резервна кількість локомотивів визначається за формулою

$$\Delta M_{\text{я}} = \alpha_{\text{ря}} M_{\text{я}}, \quad (2.7)$$

де  $M_{\text{я}}$  – парк локомотивів, що призначений для обслуговування поїздів «ядра» без урахування резервування.

На першому етапі слід розробити графік обороту локомотивів, що обслуговують поїзди «ядра» без урахування резервування, визначити величину парку локомотивів  $M_{\text{я}}$ , визначити резерв  $\Delta M_{\text{я}}$ , 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 таким чином:

Встановлюється час готовності бригад до відправлення по пункту їх обороту:

- 1-ї категорії (без відпочинку в пункті обороту):

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

- 2-ї 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;

$t_{\text{р}}$  – фактична тривалість роботи локомотивної бригади на ділянці 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 Б наведено розрахунок часу готовності локомотивних бригад різних категорій до відправлення по пункту їх обороту на прикладі діляниць Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І та Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки.

6. Складання графіка обороту локомотивів і роботи локомотивних бригад може бути здійснене з допомогою 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 вагона. Як відомо, цей показник включає в себе тривалість перебування вагона в русі, під вантажними операціями та на проміжних і технічних станціях. Як свідчать дослідження [10; 128–130], досить суттєвий вплив (43 %) на величину обороту вагона має саме тривалість перебування вагона на технічних станціях (рис. 2.3).

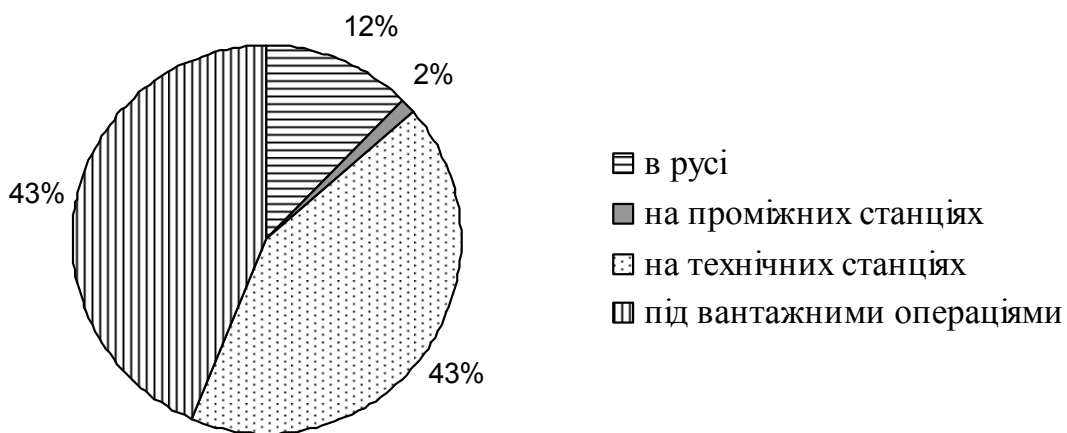


Рис. 2.3. Структура обігу вантажного вагона

Тривалість перебування 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 насамперед необхідно зменшити непродуктивні простої в очікуванні операцій за рахунок удосконалення технології роботи станцій і дільниць. Одним з таких непродуктивних елементів простою, які істотно впливають на загальний час перебування вагонів на технічних станціях, є очікування готовими до відправлення складами подачі поїзних локомотивів в приймально-відправних парках. Так, у праці [131] з використанням імітаційного моделювання і методів факторного аналізу було отримано аналітичні моделі, аналіз яких показав, що час перебування вагонів на сортувальних станціях у цілому і в парках відправлення, зокрема, значною мірою залежить від рівня забезпечення готових складів поїзними локомотивами.

Результати виконаних досліджень показують, що середній простій составів у 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 [9]. Для прикладу на рис. 2.4 наведено графіки зміни середньої тривалості очікування поїзних локомотивів на станції Нижньодніпровськ–Вузол Придніпровської залізниці за 9 років.

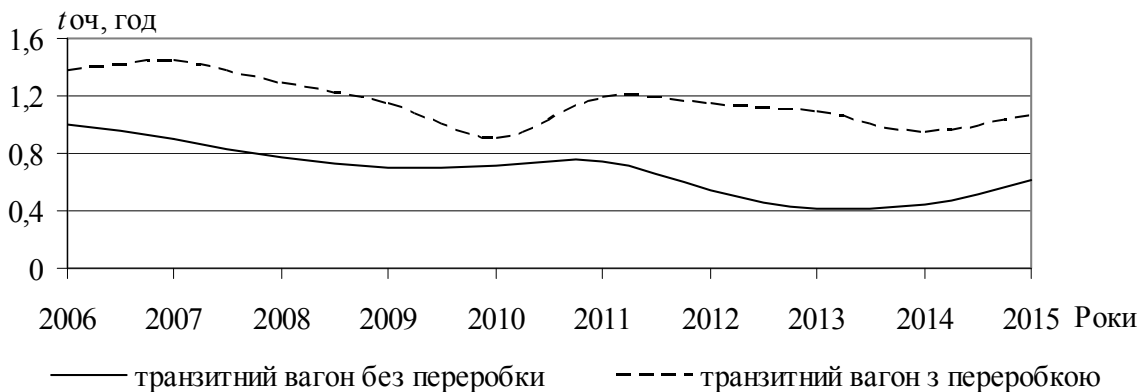


Рис. 2.4. Динаміка зміни середньої тривалості очікування поїзного локомотива составами на станції Нижньодніпровськ-Вузол протягом 2006-2015 рр.

Як видно з рис.2.4, середня тривалість очікування поїзних локомотивів до 2014 р. має тенденцію до зниження, проте, незважаючи на зниження обсягів перевезення вантажів протягом 2014-2015 рр., спостерігається зростання такого простою, 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 составами змінюється в часі (за місяцями й роками) у досить широких межах, у той час як відносна величина цього показника в загальному простої вагонів на станції залишається практично постійною. Так, на рис. 2.5 наведено графіки зміни частки часу очіку-

вання поїзних локомотивів у загальному простої на станції Нижньодніпрорівськ–Вузол протягом 2006–2015 рр.

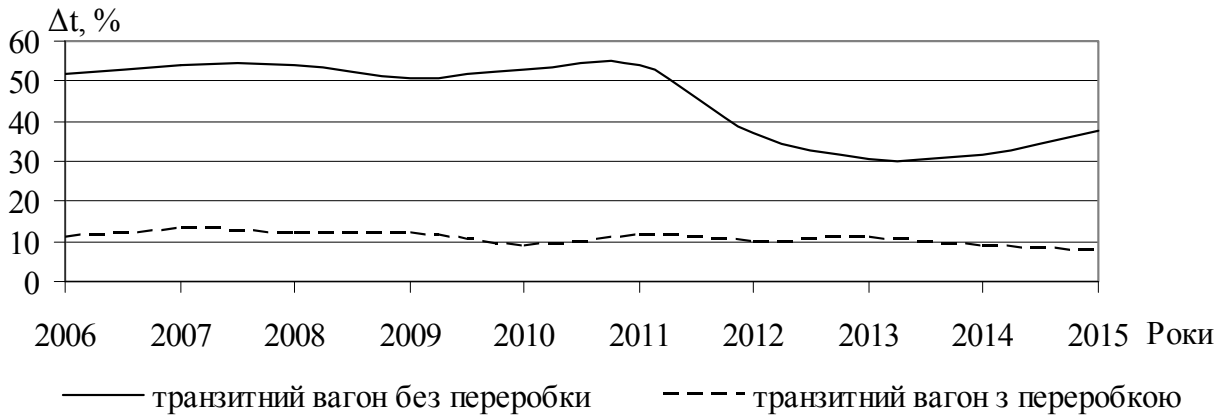


Рис. 2.5. Динаміка зміни частки тривалості очікування поїзного локомотива в загальному простої вагонів на станції Нижньодніпрорівськ–Вузол протягом 2006–2015 рр.

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

Як зазначено вище, на тривалість перебування 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 брига, але й відміни їх поїздок. Так, у табл. 2.1 наведено дані про річну кількість відправлених бригад з локомотивного депо станції Нижньодніпрорівськ–Вузол за 2011–2013 рр., кількість додаткових та відмінених поїздок бригад протягом цих 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 поїзду		44 599	38 898	34 552	-5701	-4346
в т.ч. додатково до плану	кількість бригад за рік	2 314	1 504	1 959	-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		41 290	36 836	34 133	-4 454	-2 703

Аналіз даних табл. 2.1 показує, що протягом трьох років річна кількість відправлених бригад зменшилася майже на 10 000 бригад. Це відбувається внаслідок того, що за аналогічний період відправлено майже на 7 000 поїздів менше. Незважаючи на зменшення загальної кількості відправлених бригад, частка бригад, викликаних додатково до плану, у 2013 році збільшилася на 0,5 % порівняно з 2011 р. і склала 5,7 % проти 5,2 % у 2011 р. При цьому суттєво зменшилася кількість відмінених поїздок локомотивних бригад протягом 2013 року, що можна пояснити зменшенням поїздопотуку. 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 дільницях час у русі протягом поїздки складає трохи більше половини робочого часу. 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.

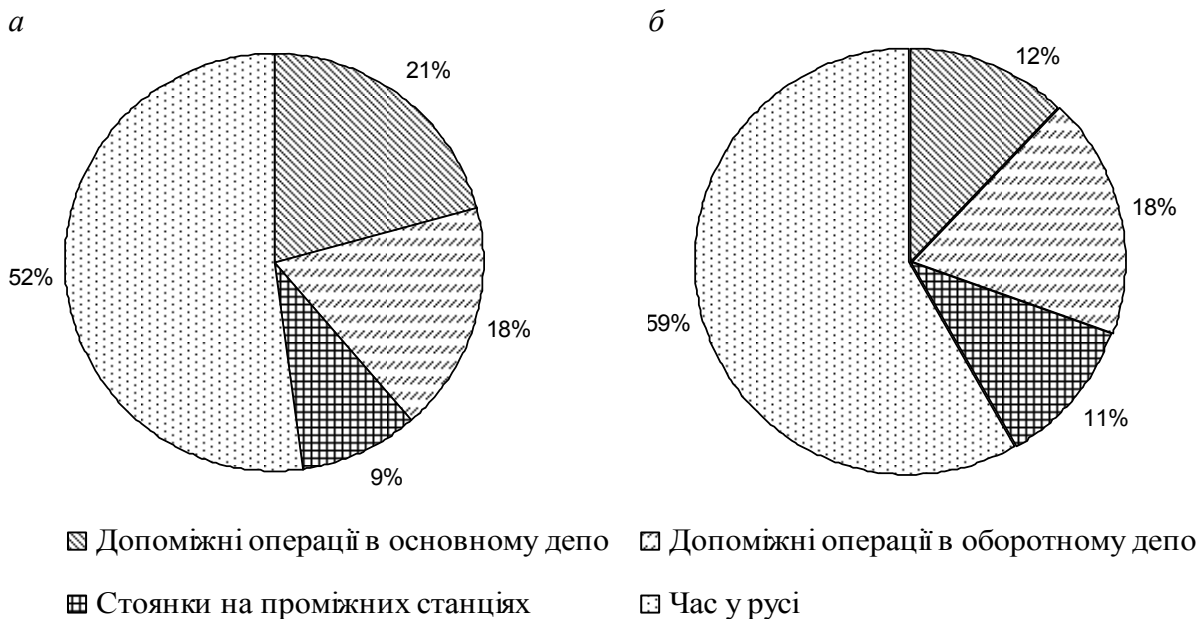


Рис. 2.6. Розподіл робочого часу локомотивних бригад депо станції

Нижньодніпровськ–Вузол за 2013 р. протягом поїздки по напрямку станцій:

а – П'ятихатки; б – Ясинувата

Як видно з рис. 2.6, час перебування бригади в русі не перевищує 60 % від загальної тривалості робочого часу, стоянки на проміжних станціях складають у середньому 10 %, решту часу становить перебування в основному та оборотному депо, де бригада зайнята операціями з приймання/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.

У результаті аналізу роботи сортувальної станції Нижньодніпровськ–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 цієї випадкової величини дозволив визначити, що вона розподілена за логарифмічно-нормальним законом з параметрами: математичне сподівання –  $M[t_{оч}] = 36$  хв, середньоквадратичне відхилення –  $\sigma[t_{оч}] = 20$  хв. Так, на рис. 2.7 наведено гістограму та функцію розподілу випадкової величини тривалості очікування готовності состава на станції Нижньодніпровськ–Вузол.

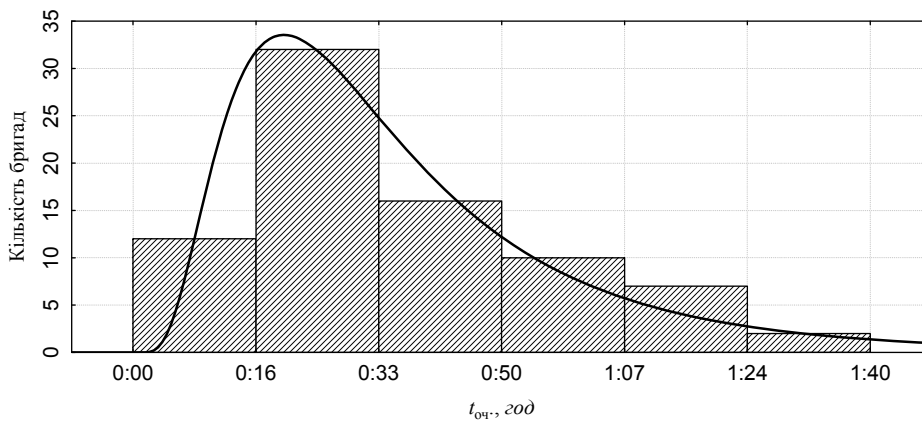


Рис. 2.7. Гістограма та функція розподілу випадкової величини тривалості очікування готовності состава на станції Нижньодніпровськ–Вузол

Отже, основними причинами існуючих недоліків у 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, зокрема й 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 з усунення вказаних недоліків є:

- оновлення та збільшення парку вантажних локомотивів;
- удосконалення технології управління роботою наявного парку.

Очевидно, що перший варіант потребує значних капітальних вкладень, тож, враховуючи поточну економічну ситуацію в країні в цілому та в Укрзалізниці зокрема, виділити достатній обсяг коштів на оновлення парку локомотивів наразі не є можливим. Окрім того, процес оновлення тягового рухомого складу, навіть за наявності фінансування, триватиме протягом декількох років. Водночас були виявлені резерви зі скорочення простою вагонів на технічних станціях, а також проблеми, пов'язані з плануванням роботи локомотивного парку, тому удосконалювати його роботу наразі доцільно за наявного технічного оснащення.



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

### **2.3. Аналіз нерівномірності в роботі технічних станцій України**

Основою вирішення завдання 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, певні факторів взагалі не враховуються, насамперед нерівномірність руху вантажних поїздів, що має суттєвий вплив на тривалість руху вантажних поїздів.

Відомо, що на залізничному транспорті існують 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. У цьому зв'язку під час розробки методики прогнозування поїзної роботи технічних станцій було поставлене завдання визначення взаємозалежності між днем тижня та кількістю поїздів, що прибувають і відправляються зі станції, а також між періодом доби та кількістю поїздів, що перероблюються на станції. Для перевірки гіпотези про взаємозв'язок інтенсивності потоку поїздів та дня тижня і періоду 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.

У 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 за днями 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.

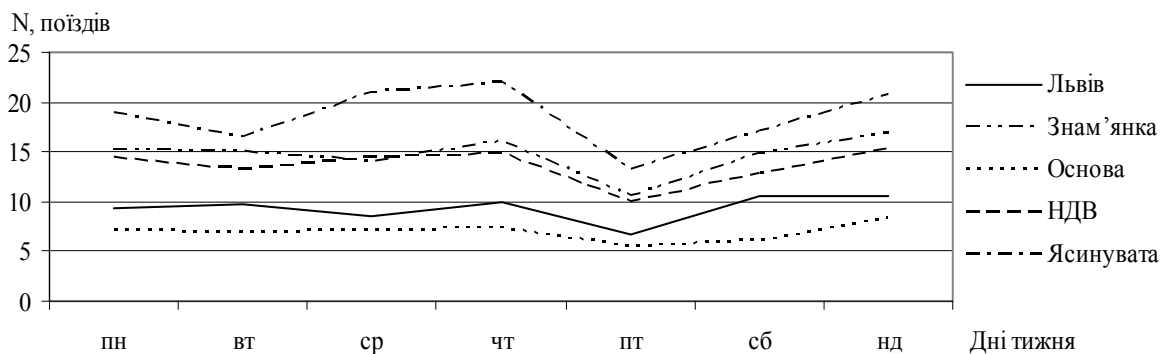


Рис. 2.8. Залежність між середньодобовою кількістю поїздів свого формування та днем тижня

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 з формування поїздів для всіх станцій. У вихідні дні, а особливо в 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  $K_{\text{нер}}$ , 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 В): 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 залежно від періоду доби.

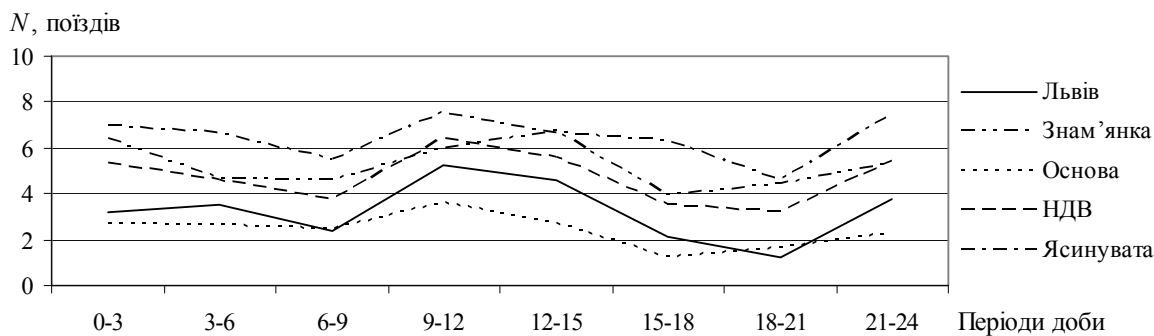


Рис. 2.9. Залежність кількості поїздів свого формування на станціях від періоду доби

Як свідчать графіки, наведені на рис. 2.8, у період від 6<sup>00</sup> до 9<sup>00</sup> 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 21<sup>00</sup>. Збільшення обсягів роботи станцій з формування поїздів протягом 9<sup>00</sup> – 15<sup>00</sup> можна пояснити намаганням оперативного диспетчерського персоналу відправити якомога більше поїздів на стикові пункти дирекцій та залізниць до звітної години 17<sup>00</sup>. Збільшення кількості відправлених поїздів свого формування на кінець доби пояснюється необхідністю доставити вантаж на під-

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

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

Таким чином, було виявлено залежність (зокрема, 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 перебування на технічних станціях України. Так, на рис. 2.10 наведено графіки тривалості загального простою та простою в парку відправлення, а також кількості відправлених вагонів за 2002—2011 рр. на станції Знам'янка.

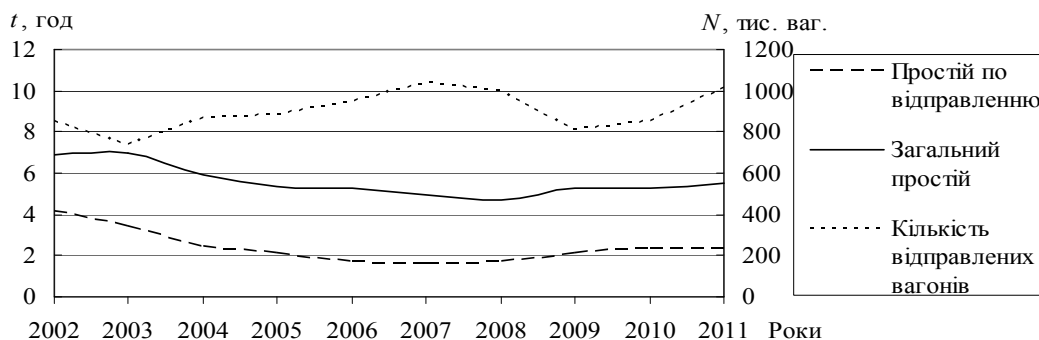


Рис. 2.10. Тривалості простою вагонів та кількість відправлених вагонів по станції Знам'янка протягом 2006–2011 рр.

Перевірка наявності взаємозв'язку між тривалістю простою вагонів у 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 перебу-

вання вагонів на станції прямо пропорційно залежить від величини тривалості перебування вагонів у парку відправлення (коефіцієнт кореляції  $R=0,94$ ). Треба зауважити, 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, у результаті обробки даних про тривалість перебування вантажних поїздів різних категорій у парках сортувальних станцій було визначено, що відповідна випадкова величина розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Визначення закону розподілу вказаної випадкової величини та його параметрів виконувалось за допомогою методів статистичного аналізу [133]. Для прикладу, на рис. 2.11 наведені гістограма та диференціальна функція розподілу випадкової величини тривалості перебування вантажних поїздів на станції Нижньодніпровськ–Вузол від моменту виставки із сортувального парку до моменту відправлення зі станції  $t_{\text{форм}}$ .

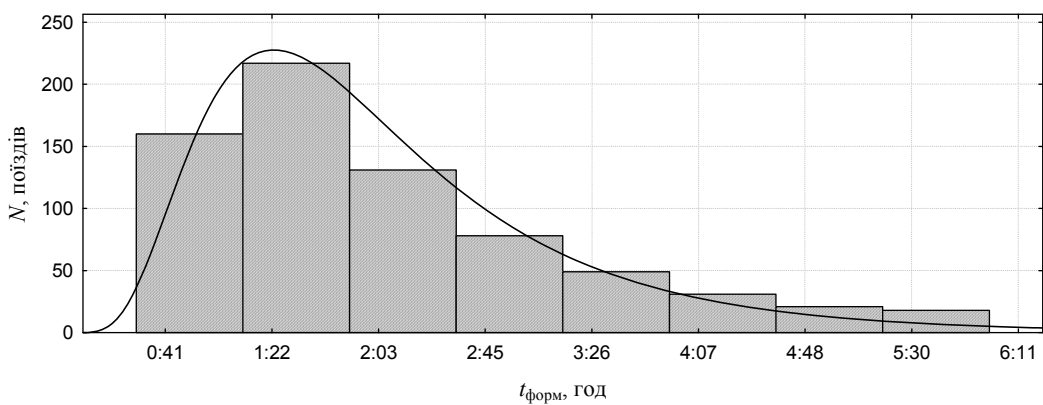


Рис. 2.11. Гістограма та диференціальна функція розподілу випадкової величини тривалості формування поїздів на станції Нижньодніпровськ–Вузол

Випадкова величина тривалості простою поїздів у парку відправлення станції Основа має такі параметри: математичне сподівання  $M[t_{\text{форм}}] - 2,67$  год, середнє квадратичне відхилення  $\sigma - 1,46$  год. Аналогічні

дослідження виконані також для інших сортувальних станцій. Параметри розподілу випадкової величини простою поїздів різних категорій у парках станцій наведені в додатку В.

Слід зазначити, що діапазон коливання тривалості перебування вантажних поїздів у парках відправлення сортувальних станцій досить значний. Так, мінімальна тривалість перебування 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. Така сама ситуація спостерігається практично на всіх сортувальних станціях, і максимальне значення тривалості перебування поїзда в парку відправлення станції може перевищувати мінімальне значення цієї величини в 20 разів. Ці прості, 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, у 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, крім іншого, необхідно мати достовірний прогноз прибуття поїздів на технічні станції. Водночас 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 нері-

вномірності також необхідно враховувати при прогнозуванні руху вантажних поїздів на залізничному напрямку.

Отже, розв'язання 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, для дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки у квітні математичне сподівання 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 з перевіркою за критерієм Пірсона  $\chi^2$  [133] ця гіпотеза може бути прийнята.

Під час виконання досліджень було висунуте припущення, що тривалість руху поїзда між технічними станціями залежить як від моменту його відправлення із 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 пе-

ріоду було визначено закон розподілу випадкової величини тривалості руху поїзда, а також відповідні параметри –  $M[t]$ ,  $\sigma[t]$  (див. дод. В). У результаті виконаних досліджень було виявлено, що в кожному періоді доби випадкова величина тривалості ходу поїзда також розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Кількісну оцінку ступеня 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 залежно від періоду доби відправлення вантажних поїздів із сусідньої технічної станції. Графіки тривалості руху поїздів на всіх дільницях напрямку протягом різних місяців залежно від періоду доби відправлення вантажних поїздів із сусідньої технічної станції наведено в додатку В.

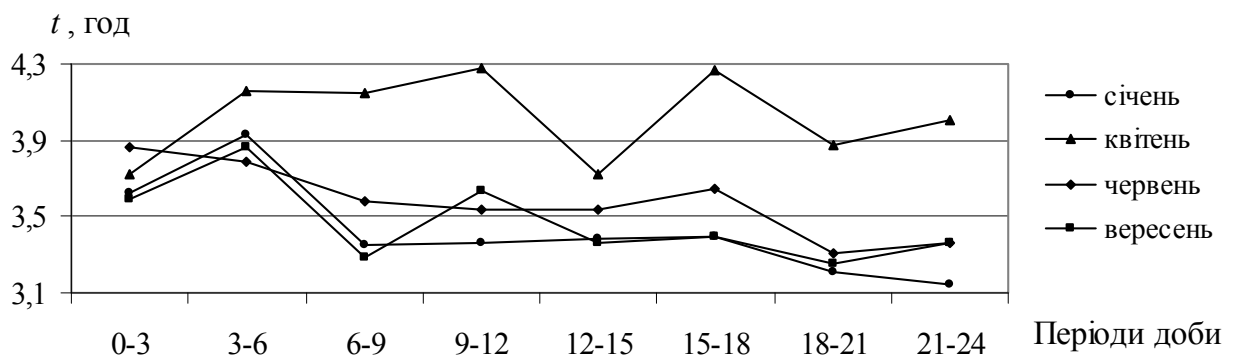


Рис. 2.12. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол залежно від періоду доби їх відправлення

Як видно, в основному, тривалість руху поїзда знижується до кінця доби. Наприклад, якщо для червня тривалість руху поїзда, відправленого в період 0<sup>00</sup>...3<sup>00</sup>, 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  $3^{00}...6^{00}$ ,  $9^{00}...12^{00}$ ,  $15^{00}...18^{00}$ ), а також періоди зниження тривалості руху вантажних поїздів (періоди  $6^{00}...9^{00}$ ,  $12^{00}...15^{00}$ ,  $18^{00}...24^{00}$ ). Слід зазначити, що для кожної дільниці залізничного напрямку існують характерні лише для неї залежності величини тривалості руху поїздів від періоду доби відправлення із 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 кількості 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].

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  $15^{00}...18^{00}$ , при цьому коефіцієнт нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій напрямку перебуває в межах  $K_{\text{нер}}=1,23...1,92$  залежно від місяця року.

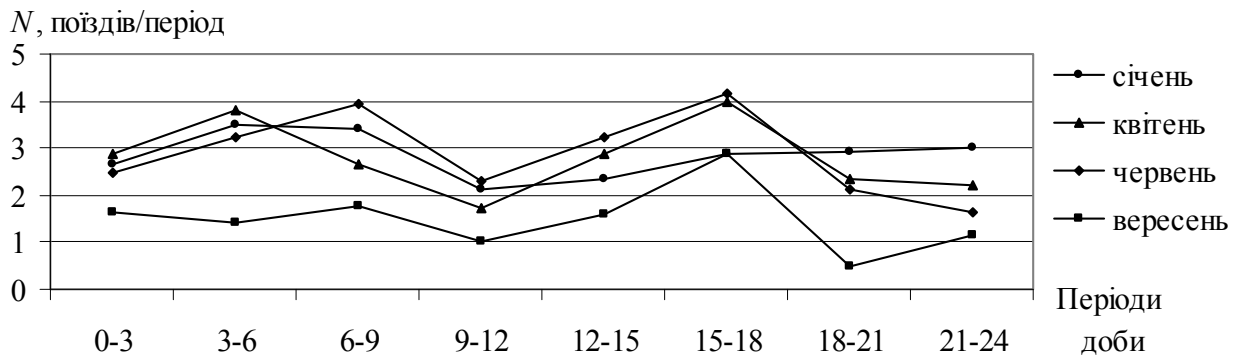


Рис. 2.13. Графіки зміни середньої кількості відправлених поїздів протягом доби на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол залежно від періоду доби

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 із 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 залежно від дня тижня відправлення вантажних поїздів із сусідньої технічної станції. Графіки тривалості руху поїздів на всіх дільницях напрямку протягом різних місяців залежно від дня тижня відправлення вантажних поїздів із сусідньої технічної станції наведено в дод. В.

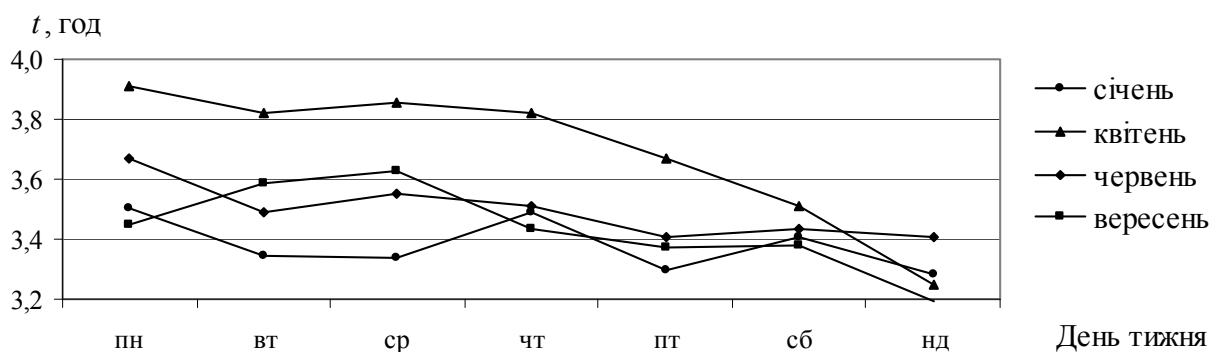


Рис. 2.14. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки залежно від дня тижня їх відправлення

Аналіз наведених графіків дозволяє зробити припущення, що існує досить суттєва різниця величини тривалості руху поїздів, відправлених на початку та в кінці тижня, при чому діапазон коливання математичного сподівання цієї величини складає 3,2...3,9 год, тобто поїзд, відправлений у неділю, приїде на технічну станцію в середньому на 0,7 год (на 20 %) швидше, ніж поїзд, відправлений у понеділок. За допомогою кореляційного аналізу було встановлено, що між днем тижня відправлення вантажного поїзд 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 залежно від дня тижня.

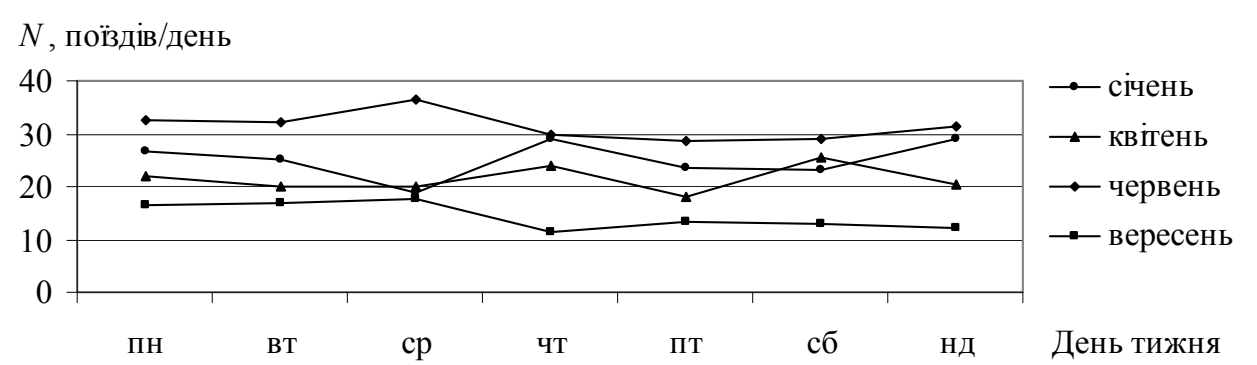


Рис. 2.15. Інтенсивність відправлення вантажних поїздів на дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки залежно від дня тижня

Згідно з отриманими графіками, можна відмітити, що інтенсивність відправлення поїздів наприкінці тижня дещо нижча, порівняно з початком тижня, при цьому коефіцієнт нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій напрямку перебуває в межах  $K_{\text{нер}}=1,16...1,21$  залежно від місяця року.

Як відомо, характер руху поїзда по ділянці, а значить і його тривалість, суттєвим чином визначається типом локомотива та масою состава. У цьому

зв'язку було виконане дослідження впливу цих параметрів на величину тривалості руху поїздів на дільницях.

Згідно з технічними характеристиками тягових рухомих засобів [139; 140], локомотиви, які обертаються на дільницях напрямку Синельниково-І – Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки, можна розділити на 4 групи за потужністю: 1-ша група – ВЛ11 та ВЛ11М, 2-га група – ВЛ11М/5 та ВЛ11/6, 3-тя група – ВЛ8, 4-та 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 дод. В. Для прикладу, на рис. 2.16 наведено графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол залежно від типу локомотива. Графіки тривалості руху поїздів на всіх дільницях напрямку протягом різних місяців залежно від типу локомотива наведено в дод. В.

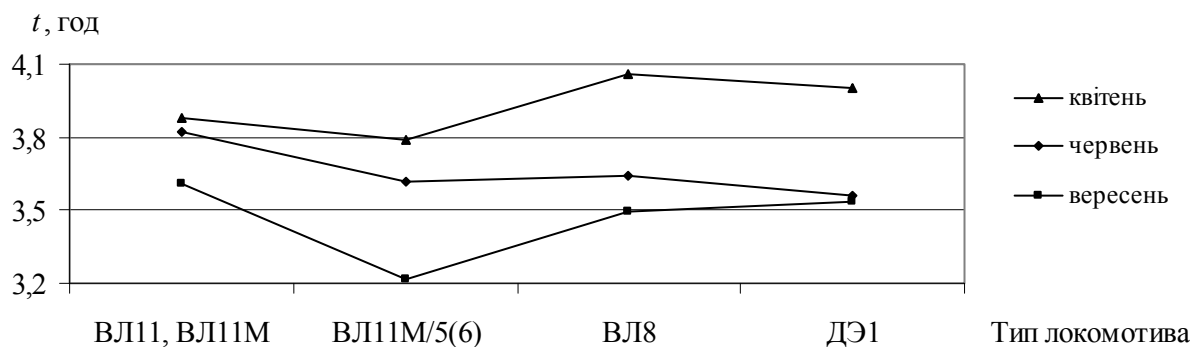


Рис. 2.16. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол залежно від типу локомотива

Аналіз наведених графіків показує, що локомотиви другої групи (ВЛ11М/5 та ВЛ11/6) найшвидше долають відстань між сусідніми технічними станціями. Так, у вересні поїзд з локомотивом типу ВЛ11М/5 у середньому переував у русі майже на 20 хв (9,5 %) менше, ніж поїзд з локомотивом ВЛ8. Слід зазначити, що аналогічна тенденція спостерігається на всіх дільницях, які досліджувались. Водночас 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 значенні маси поїзда – 6 500 т. Для кожного такого інтервалу було визначено параметри законів розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів, які наведені в додатку В. 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 наведено графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол залежно від маси поїзда.

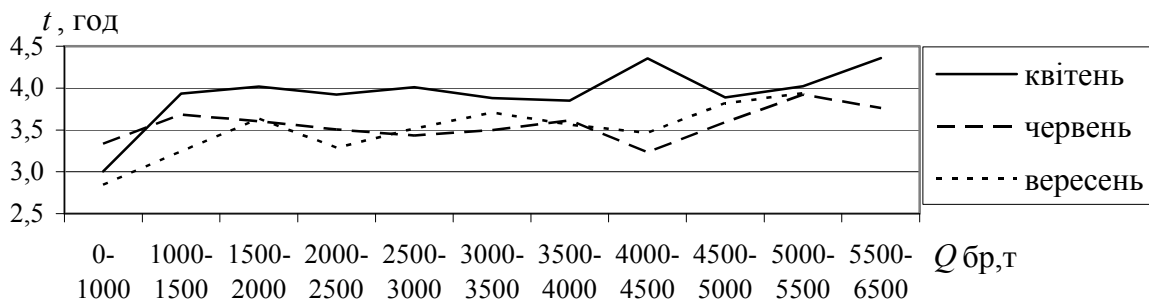


Рис. 2.17. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол залежно від маси поїзда

Слід зазначити, що отримані результати щодо ступеня впливу маси состава на тривалість руху поїздів на дільниці також підтверджуються іншими дослідженнями, наприклад [141].

Таким чином, як показують результати досліджень, тривалість руху поїздів між технічними станціями не тільки визначається встановленими нормами часу руху по перегонах, але й 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, порівняно з іншими факторами, то для отримання більш точного прогнозу моментів прибуття поїздів на технічні станції необхідно враховувати всі розглянуті фактори при прогнозуванні тривалості руху поїздів на залізничному напрямку.

## РОЗДІЛ 3

### АДАПТИВНА МОДЕЛЬ 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 бригад. 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 прогностичних моментів їх готовності до поїзної роботи, а також з урахуванням прогностичних моментів готовності составів вантажних поїздів до відправлення з технічних станцій з метою зменшення невиробничих простоїв та пов'язаних з цим витрат [122].

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

- формування вхідної інформації про поїзди, зокрема про локомотиви та бригади, що відправляються із суміжних технічних станцій залізничного напрямку;
- визначення прогностичних 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.

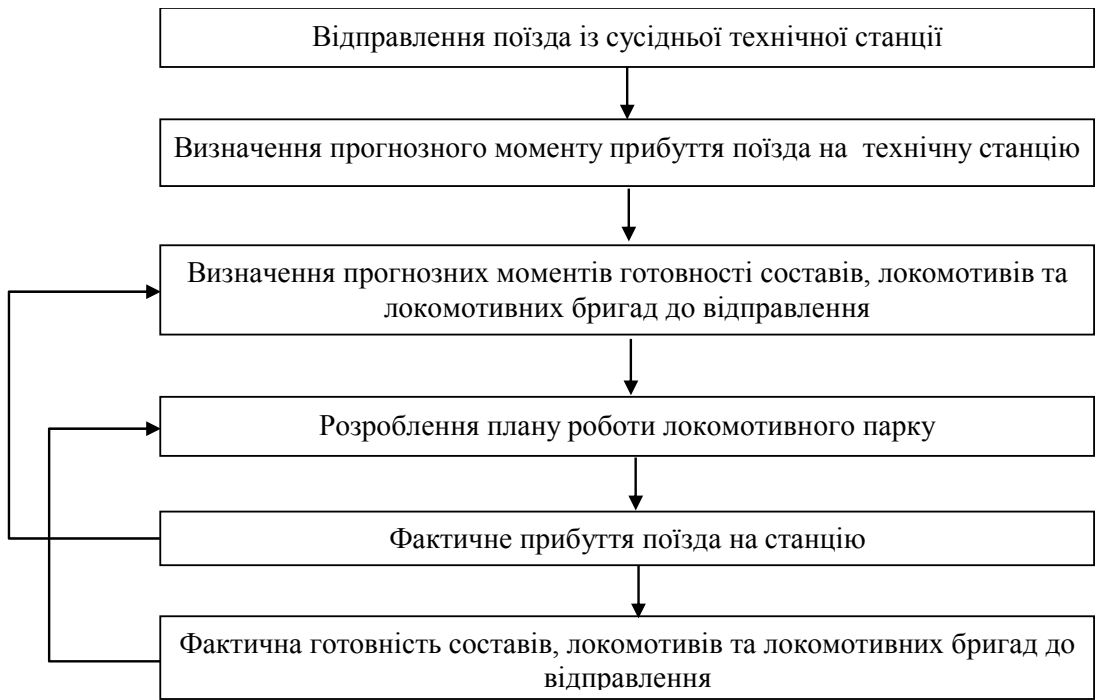


Рис. 3.1. Алгоритм роботи адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку

Як видно з рис. 3.1, ця 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 (рис. 3.2), яка містить блок формування вхідної інформації, прогнозну модель поїзної роботи залізничного напрямку та розрахунковий модуль. У свою чергу, прогнозна модель поїзної роботи залізничного напрямку складається з модуля прогнозу прибуття поїздів та імітаційної моделі технічної станції, що включає модель локомотивного депо [143].

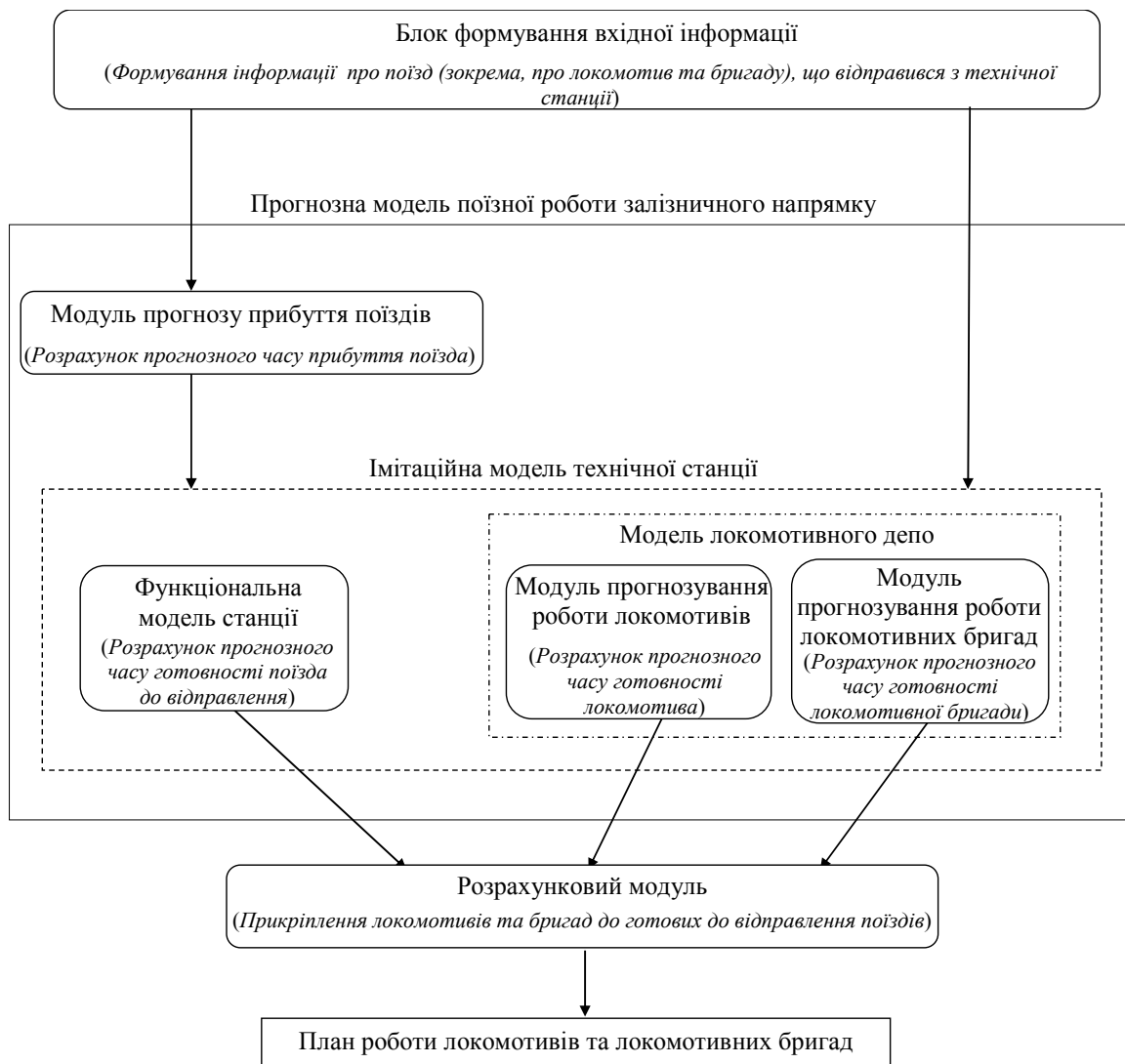


Рис. 3.2. Структура адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку

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 прицеплення 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 розглянуто як розв'язок оптимізаційної задачі прикріплення локомотивів до поїздів на основі певного критерію оптимальності. За такий критерій найбільш доцільно обрати сукупні вагоно-, 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 цієї задачі. Оскільки простій рухомого складу та простій у 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 простоем вагонів, локомотивів та бригад. Таким чином, метою цієї оптимізаційної задачі є мінімізація витрат, що виникають у разі непродуктивного простою 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 з основних показників, із застосуванням 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 зазначалося раніше, функціонування залізничного транспорту, зокрема поїзна робота, характеризується значною нерівномірністю (сезонною, тижневою, внутрішньодобовою), тому, розробляючи прогнозну модель залізничного напрямку, необхідно враховувати фактор нерівномірності. З цією метою в розд. 2 було виконано 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 усіх факторів, які впливають на тривалість руху вантажних поїздів на дільницях. Вихідні дані для модуля прогнозу прибуття поїздів отримують з АСК ВП УЗ-Є (блоку формування вхідної інформації) в реальному режимі часу та можуть бути описані такою структурою:

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

де  $I_i$  – індекс  $i$ -го поїзда;

$K_i^B, K_i^N$  – код станції відправлення та призначення відповідно;

$T_i$  – вектор дати відправлення  $i$ -го поїзда із 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 із сусідньої технічної станції включає відомості про час відправлення протягом доби  $t_i$ , день тижня  $d_i$  та місяць року  $y_i$  та має таку структуру:

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

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

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

де  $m_i$  – кількість вагонів у  $i$ -му поїзді;

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

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

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

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

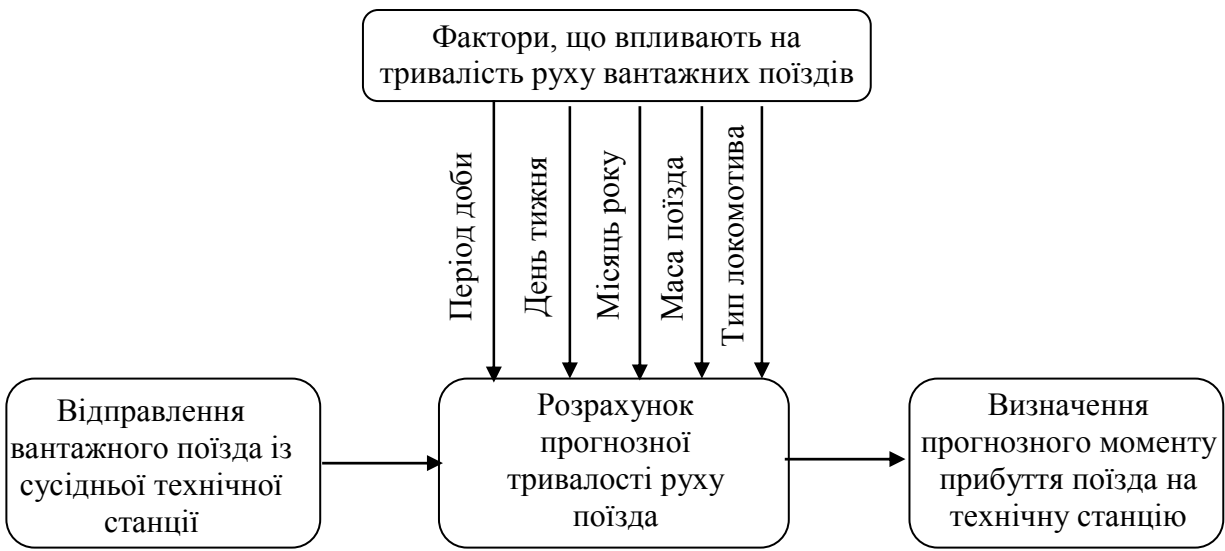


Рис. 3.3. Алгоритм роботи модуля прогнозу прибуття поїздів

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

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

Для розрахунку прогнозової 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], у 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 сьогодні широко застосовуються в будь-яких галузях, починаючи від завдань апроксимації функцій і закінчуючи створенням нейрокомп'ютерів. Основними сферами 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 й поняття навчання [148].

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

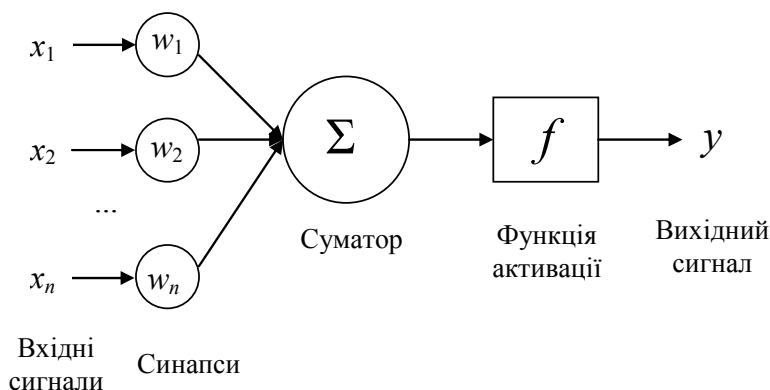


Рис. 3.4. Модель формального нейрона

З позиції архітектури нейронна мережа (НМ) може розглядатися як орієнтований граф зі зваженими зв'язками, у якому штучні нейрони є вузлами. За архітектурою зв'язків НМ можуть бути поділені на два класи (рис. 3.5): мережі прямого поширення (рис. 3.5, а), у 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, оскільки з огляду на зворотні зв'язки в них модифікуються входи нейронів, що призводить до зміни стану мережі.

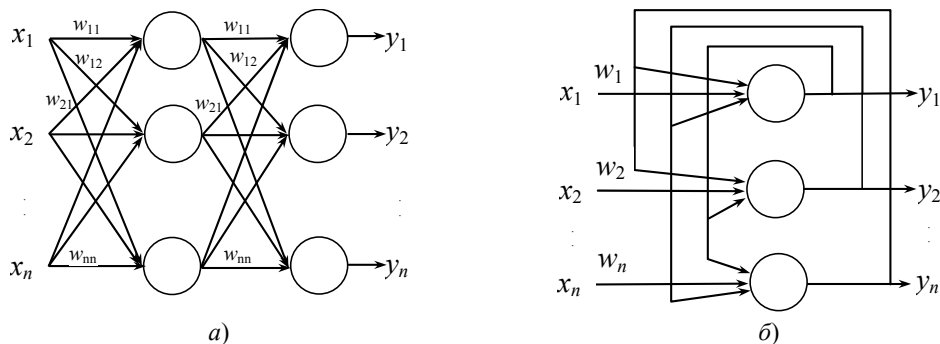


Рис. 3.5. Типи нейронних мереж

Під навчанням НМ мається на увазі налаштування архітектури мережі й ваг зв'язків  $w_i$  для ефективного виконання завдання. Методи навчання можна розділити на дві групи: з учителем та без учителя. У разі використання алгоритму навчання з учителем налаштування значень ваг зв'язків виконується розробником таким чином, щоб вихід мережі був якомога ближчим до правильного. Алгоритм навчання без учителя базується на принципі самоорганізації, тобто «вчителем» є зовнішнє середовище, у якому виконується навчання.

Зазвичай нейронна мережа повинна налаштувати ваги зв'язків за наявною навчальною вибіркою. Функціонування мережі поліпшується в міру послідовного налаштування вагових коефіцієнтів. Властивість мереж навчатися на

прикладах робить їх більш привабливими порівняно із системами, які наслідують певну систему правил функціонування, сформульовану експертами.

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

- визначити параметри, які будуть використовуватись як вхідний вектор 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 перебування вантажного поїзда в дорозі між технічними станціями впливають і деякі змінні параметри. Серед таких параметрів, вплив яких найбільш суттєвий, час та дата (день тижня, місяць) відправлення поїзда із сусідньої технічної станції, а також маса поїзда та тип локомотива. Оскільки вказані параметри мають різні одиниці виміру та спостерігається значне розходження між мінімальним та максимальним значенням одного й того самого параметра (наприклад, маса поїзда), необхідно нормалізувати (кодувати) вхідні дані. Одним з ефективних методів кодування різнотипної інформації є бінарний підхід [150].

При побудові вхідного вектора значення кожного фактора були згруповані за інтервалами 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 виконувалося 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 [150].

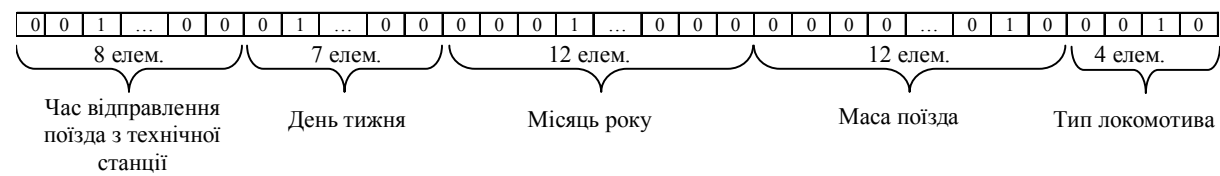


Рис. 3.6. Приклад кодування вхідного вектора фактичних даних про поїзд

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’язання конкретної задачі, яка стоїть перед розробником. Таким чином, необхідно обрати тип нейромережі, найбільш прийнятний для розв’язання поставленої задачі прогнозування тривалості руху поїздів. Під час виконання дослідження були виконані експерименти з багатьма нейромережами різних типів, зокрема 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 [147; 148; 151; 152] у програмному середовищі Matlab. При цьому як навчальна вибірка використовувався масив даних з АСК ВП УЗ-Є про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-

I – Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки за 15 діб січня, квітня, червня та вересня 2014 року. Аналіз результатів виконаних 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 дільниці сягала 1,5 год при середній тривалості руху вантажних поїздів 3,5 год, тобто похибка становила понад 40 %, що не може вважатися задовільним результатом. Тому було зроблено висновок про непридатність вказаних типів нейромереж для розв’язання поставленої задачі прогнозу тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку [150].

Водночас 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].

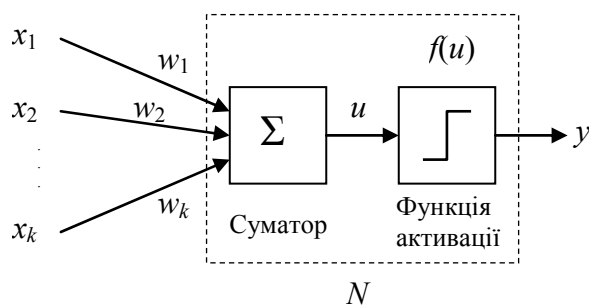


Рис. 3.7. Структура персептрона

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

$$u = \sum_{i=1}^k w_i x_i. \quad (3.5)$$

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  $x$  [152]. Як функція активації персептрона використовується порогова функція, аргументом якої є змінна  $u$  [153]. Активаційна функція має такий вигляд:



$$f = \begin{cases} 1, & \text{при } u \leq 0, \\ 0, & \text{при } u > 0. \end{cases} \tag{3.6}$$

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 вектора параметрів з фактичними даними про відправлення поїзда.

На рис. 3.8 наведено алгоритм роботи персептрона для визначення прогнозової тривалості руху вантажного поїзда [150].

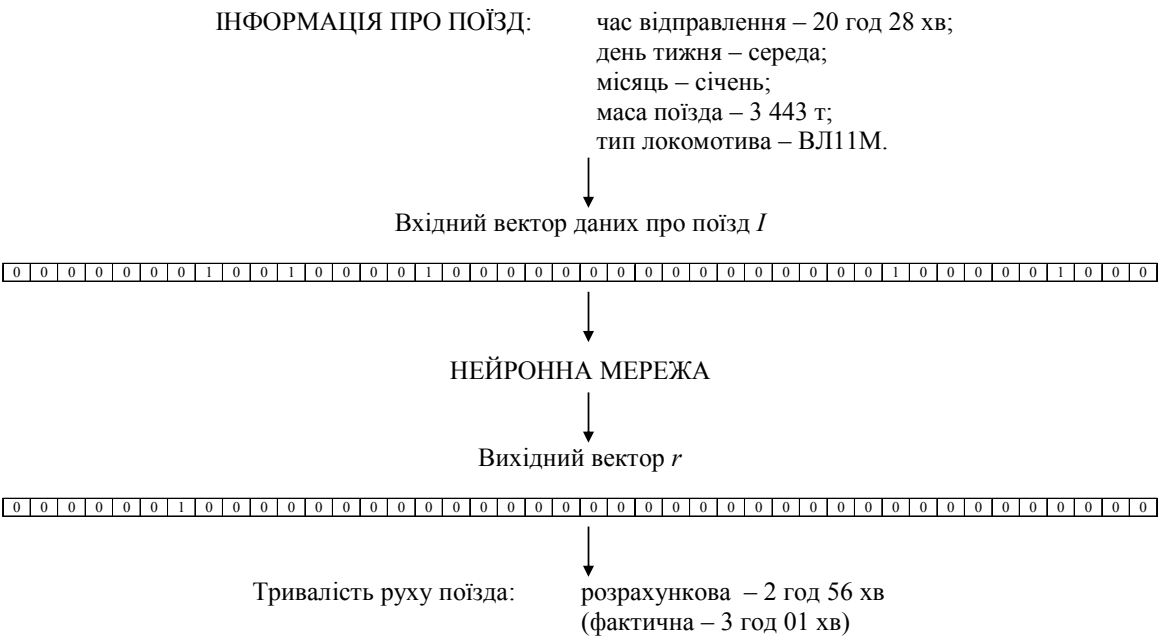


Рис. 3.8. Алгоритм роботи персептрона

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

### 3.2.5. Дослідження впливу параметрів вхідного вектора на точність прогнозу тривалості руху вантажних поїздів

Очевидно, що якість роботи персептрона (а відповідно, і точність прогнозу) певним чином залежить від його параметрів, що визначаються, зокрема, прийнятими параметрами кодування вхідної інформації. Тож після вибору типу нейронної мережі для розв'язання 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, а це 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 (кількості нейронів). Тому була поставлена задача: перше – з'ясувати, чи наявний 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 прийняттого обсягу розрахунків [150].

Під час попередніх досліджень кодування маси поїзда при формуванні вхідного вектора виконувалося 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  $\Delta q$  (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, наведено в табл. 3.1, у якій вказані: величина зміни інтервалів маси поїзда та часу відправлення із сусідньої технічної станції, розмірність вхідного вектора, максимальна кількість нейронів мережі при відповідному розмірі вхідного вектора, середнє відхилення та частка відхилень розрахункових значень тривалості руху вантажних поїздів порівняно з фактичними даними з АСК ВП УЗ-Є.

Аналіз отриманих результатів показує, що точність прогнозу значною мірою залежить від параметрів персептрона (величини інтервалів при кодуванні маси та часу відправлення поїзда) при формуванні нейромережі. 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 збільшилася розмірність вхідного вектора – з 43 до 194 елементів, а максимальна кількість нейронів у навчальній вибірці зменшилася у два рази – з 300 до 150. Окрім того, результати виконаних експериментів вказують на те, що при формуванні персептрона на якість прогнозу більший вплив має величина інтервалу варіювання маси поїзда порівняно з величиною інтервалу варіювання часу відправлення [150].

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	Кількість нейронів $N$	Середнє відхилення, $\text{хв}$	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

Остаточно 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, кількість 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 прогнозової тривалості руху поїзда між технічними станціями напрямку використовується нейронна мережа, а саме персептрон. Для цього застосовуються 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.

У роботі були виконані дослідження щодо впливу параметрів відправлення на точність прогнозу тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку. Для цього при кодуванні вхідного вектора та під час навчання нейромережі по чергово не враховувалися 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 вектора – 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 за відсутності цих двох параметрів одночасно відносна похибка збільшується у 2,2 разу (до 8 %). Суттєвий вплив на якість прогнозування тривалості руху поїздів мають день тижня відправлення та маса вантажного поїзда – 8,3 % та 14 % відповідно. Згідно з виконаними дослідженнями найбільший вплив на якість прогнозування має період доби відправлення поїзда із сусідньої технічної станції, відносна похибка сягає майже 20 %.

Таблиця 3.2

**Дослідження впливу параметрів  
відправлення поїздів на точність прогнозу**

№ пор.	Відсутній параметр	Відносна похибка, %	Розмірність вхідного вектора
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 вектора.

Оскільки виконані дослідження не виявили такого параметра, який би одночасно мав несуттєвий вплив на якість прогнозування та значно зменшував розмірність вхідного вектора, то в подальших розрахунках при прогнозуванні тривалості руху вантажного поїзда між технічними станціями залізничного напрямку були враховані всі вказані фактори [150; 154].

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 ділянки Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки та в результаті симуляції нейронної мережі. Для цього було виконано дослідження фактичних значень тривалості руху вантажних поїздів  $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ ,  $n_x=100$  та розрахункових значень, отриманих у результаті використання нейромережі  $\mathbf{y}=(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$ ,  $n_y=100$ . У 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 сама гіпотеза була висунута про розподіл випадкової величини  $Y$ . Для аналізу використовувалася вибірка значень  $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$ , отриманих у результаті симуляції нейронної мережі; об'єм вибірки  $n_y=100$ . Результати розрахунку статистичних параметрів розподілу, а також критерію  $\chi^2_y$  складають:  $\bar{x}=3,25$  год,  $\sigma_y=0,53$  год,  $\chi^2_y=1,95$ .

При рівні значущості  $\alpha = 0,05$  і кількості степенів вільності  $v=(6-1)-2=3$  квантиль  $\chi^2_{4,0,95}=7,81$ ; оскільки розраховане за даними моделювання значення  $\chi^2_y=1,95 < 7,81$ , результати моделювання  $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$  не суперечать основній гіпотезі  $H$ . Отже, можна стверджувати, що випадкова величина тривалості руху ватажних поїздів між технічними станціями напрямку  $Y$ , яка отримана за результатами моделювання, також розподілена за логарифмічно-нормальним законом (рис. 3.9).

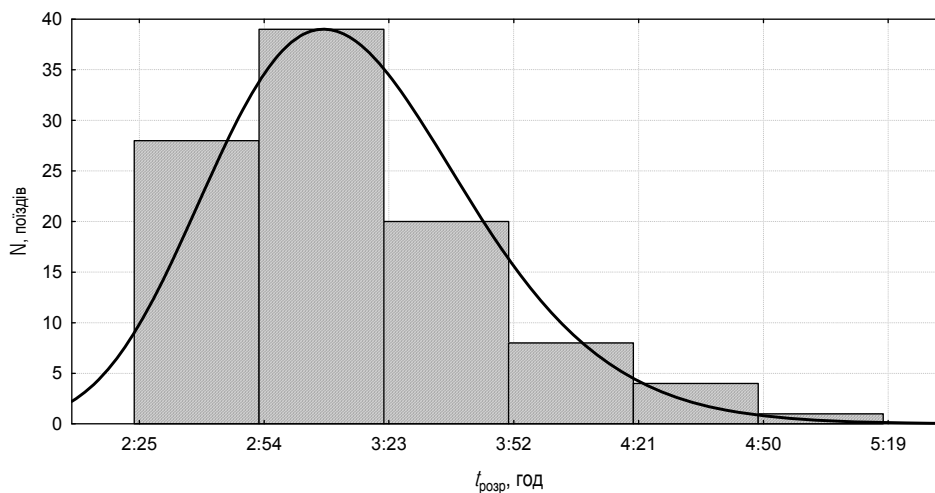


Рис. 3.9. Гістограма розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів (дані симуляції нейромережі)

Таким чином, у 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 сподівання відповідно рівні  $\bar{x}=3,69$  год і  $\bar{y}=3,25$  год;

оцінки середнього квадратичного відхилення –  $\sigma_x = 0,64$  год,  $\sigma_y = 0,53$  год. Отримані статистичні параметри свідчать про близькість результатів симулювання результатам спостереження.

Для підвищення достовірності твердження про адекватність моделі за даними наведених вибірок була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї й тієї самої генеральної сукупності. Для перевірки гіпотези про однорідність двох вибірок  $(x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$  та  $(y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$  обсягами відповідно  $n_x = 100$  і  $n_y = 100$  був використаний  $U$ -критерій Вілкоксона [133]. Цей 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 Вілкоксона визначається за допомогою виразів

$$u_x = R_x - \frac{n_x(n_x + 1)}{2}, \quad u_y = R_y - \frac{n_y(n_y + 1)}{2}, \quad (3.7)$$

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 у порядку зростання ( $r \in [1, n_x + n_y]$ ). У 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  $\min(u_x, u_y) < U_{n_x, n_y, \alpha}$ . Приближену величину критичного значення  $U_{n_x, n_y, \alpha}$  при великих значеннях  $n = n_x + n_y$  можна розрахувати як [133]

$$U_{n_x, n_y, \alpha} \approx \frac{1}{2} n_x n_y - \lambda_q \sqrt{\frac{1}{12} n_x n_y (n_x + n_y + 1)}, \quad (3.8)$$

де  $\lambda_q$  – квантиль порядку  $q$  логарифмічно-нормального розподілу  $N(0,1)$ .

Квантиль  $q$  визначається згідно з прийнятим рівнем значущості:

$$q = 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad (3.9)$$

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

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 відповідно до (3.8)  $U_{n_X, n_Y, \alpha} = 4197,84$ . 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 персептрон є адекватний фактичним даним та може бути використаний при 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 та 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.

У даному дослідженні з цією метою використана імітаційна модель сортувальної станції, яка була розроблена в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [93, 131]. При цьому вказана модель була удосконалена за рахунок введення моделі локомотивного депо, що, у 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 являє собою окремий універсальний імітаційний модуль. Таким чином, у загальній структурі моделі сортувальної станції були виділені такі модулі (рис. 3.10):

- модуль парку прибуття;
- модуль сортувального парку;
- модуль парку відправлення;
- модуль керування роботою станції.

Як вхідний потік заявок на обслуговування в системі використовуються результати функціонування модуля прогнозу прибуття поїздів (див. 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 такі 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). У процесі управління роботою станції МК керується даними про поточний стан колій і виконавців, їх параметри та параметри составів.

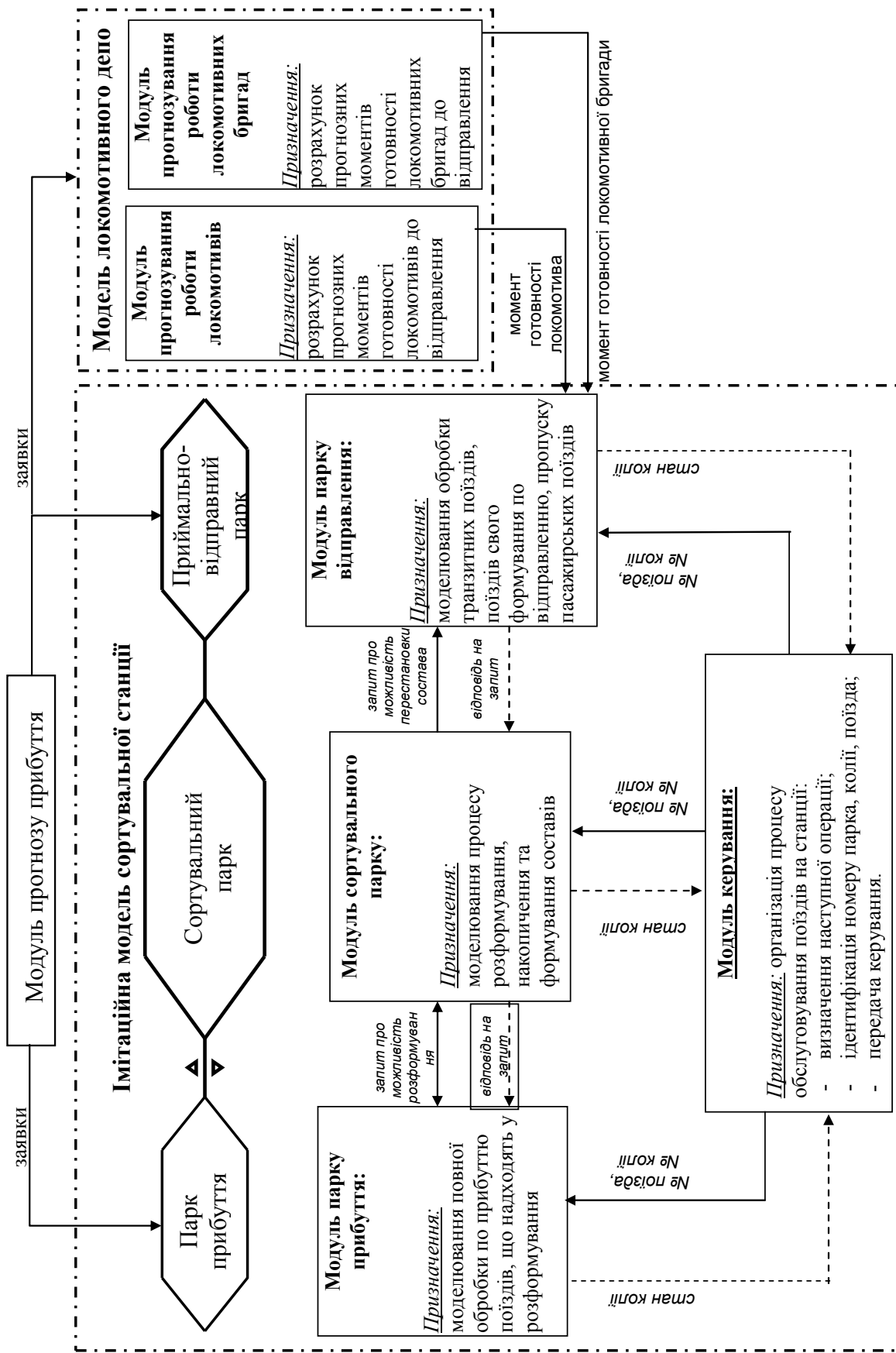


Рис. 3.10. Структура імітаційної моделі роботи сортувальної станції

Вхідний потік поїздів для функціональної моделі технічної станції формується модулем прогнозу прибуття поїздів, а поточна ситуація на станції (перебування 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 в системі, що надходять з модуля прогнозу прибуття поїздів, представлені такою структурою:

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

де  $I_i$  – індекс  $i$ -го поїзда;

$K_i^B, K_i^P$  – 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 й визначається структурою

$$p_a = \{m, n, N_p, S_{\text{кол}}, T_{\text{опер}}^{\text{поч}}, L_{\text{тах}}, L_{\text{ум}}\}, \quad (3.11)$$

де  $m$  – номер колії в парку;

$n$  – номер парку;

$N_p$  – номер поїзда на колії;

$S_{\text{кол}}$  – поточний стан колії (1 – колія зайнята, 0 – колія вільна);

$T_{\text{опер}}^{\text{поч}}$  – момент початку поточної операції на колії;

$L_{\text{тах}}$  – корисна довжина колії (в умовних вагонах);

$L_{\text{ум}}$  – сумарна умовна довжина вагонів, що перебуває на колії.

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 такими параметрами:

$$E_i = \{w, \mathbf{D}, S_{\text{вик}}, T_{\text{опер}}^{\text{поч}}\}, \quad (3.12)$$

де  $w$  – спеціалізація виконавця;

$\mathbf{D}$  – вектор параметрів виконавця (тип локомотива, кількість груп у бригаді ПТО тощо);

$S_{\text{вик}}$  – поточний стан виконавця (1 – виконавець зайнятий, 0 – виконавець вільний);

$T_{\text{опер}}^{\text{поч}}$  – 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 в результаті моделювання на основі параметричного критерію Вілкоксона, дозволило зробити висновок про адекватність розробленої моделі реальній станції та можливість її використання для розв’язання 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 дод. Г.

### **3.4. Математична модель роботи локомотивного депо**

Одним з основних елементів прогнозної моделі поїзної роботи залізничного напрямку є математична модель роботи локомотивного депо. Ця модель призначена для розв’язання двох основних задач:

1. Розрахунок прогнозних моментів готовності локомотивів до проведення ТО-1 для подальшого відправлення з поїздом з урахуванням періодично-

сті та тривалості виконання всіх видів поточного технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу.

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

У 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 розв'язання 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 залежно від необхідності та тривалості проведення ремонтних робіт.

Слід зазначити, що прогнозний час прибуття локомотива на технічну станцію отримуємо з модуля прогнозу прибуття поїздів, решту даних – з банку даних АСК ВП УЗ-Є. Інформація про періодичність та тривалість виконання всіх видів ремонту вантажних електровозів міститься в дод. Д.

Локомотивний парк депо може бути описаний таким чином:

$$\mathbf{L} = \{\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_j\}, j=1, \dots, P, \quad (3.13)$$

де  $\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_j$  – вектори даних про локомотиви, що приписані до депо;  
 $P$  – парк локомотивів депо.

Вектор даних про  $j$ -й локомотив можна представити структурою

$$\mathbf{L}_j = \{Z_j, N_{Lj}, T_{\text{приб } j}, T_{\text{ТО/рем } j}^{\text{поч}}, T_{\text{ТО/рем } j}^{\text{зак}}\}, j=1, \dots, P, \quad (3.14)$$

де  $Z_j$  – тип  $j$ -го локомотива;  
 $N_{Lj}$  – номер  $j$ -го локомотива;

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

$T_{\text{ТО/рем } j}^{\text{поч}}$  – момент початку проведення технічного обслуговування або ремонту  $j$ -го локомотива. Якщо локомотив перебуває в русі або в депо після обслуговування (ремонту) в очікуванні відправлення з поїздом, то  $T_{\text{ТО/рем } j}^{\text{поч}}=0$ ;

$T_{\text{ТО/рем } j}^{\text{зак}}$  – 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 (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  $M_{\text{гот}}^{\text{лок}}$  визначається залежно від його поточного стану та необхідності проведення технічного обслуговування або ремонту, а також з урахуванням тривалості проведення робіт з локомотивом. Локомотив може перебувати в таких станах:

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

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

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

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

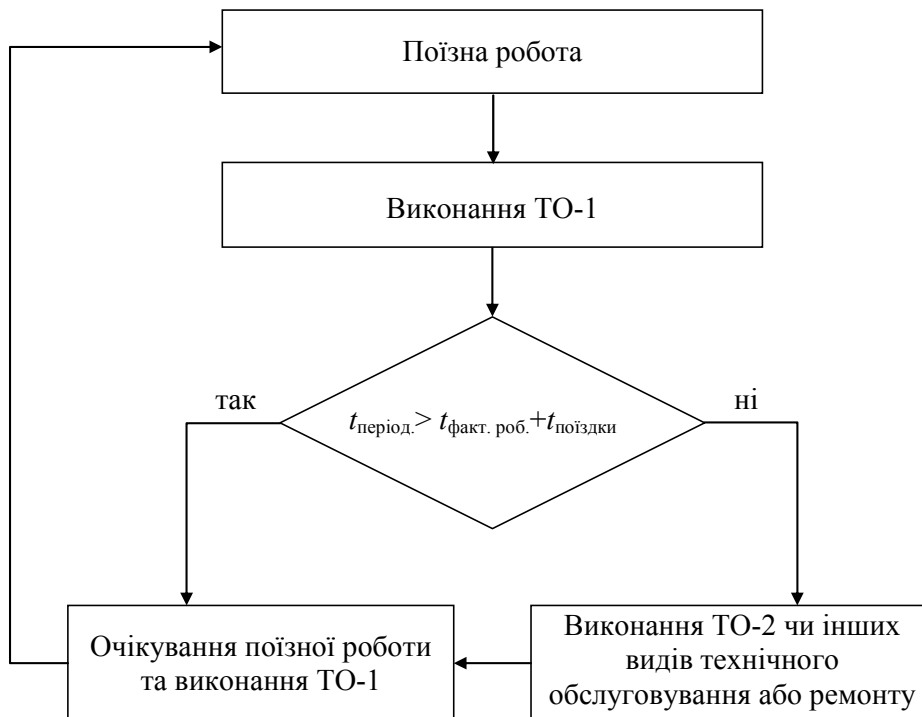


Рис. 3.11. Алгоритм переходу локомотива від виконання поїзної роботи до проведення ремонтних робіт або очікування поїздки з поїздом

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

$$M_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{приб}}^{\text{оп}} + t_{\text{ТО-1}} + t_{\text{ТО/рем}} + t_{\text{руху}}^{\text{КП}}, \quad (3.17)$$

де  $t_{\text{приб}}^{\text{оп}}$  – тривалість операцій по прибуттю поїзда, включаючи тривалість руху до контрольного пункту локомотивного депо (див. дод. Е);

$t_{\text{руху}}^{\text{КП}}$  – тривалість руху від контрольного пункту локомотивного депо до колій парків станції (див. дод. Е);

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

3. Локомотив перебуває в депо під технічним обслуговуванням (ремонтном):

$$M_{\text{гот}}^{\text{лок}} = T_{\text{ТО/рем}}^{\text{поч}} + t_{\text{ТО/рем}} + t_{\text{руху}}^{\text{КП}}. \quad (3.18)$$

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

$$M_{\text{гот}}^{\text{лок}} = t_{\text{руху}}^{\text{КП}}. \quad (3.19)$$

Для станції Нижньодніпровськ–Вузол у дод. Е наведено тривалості пересувань локомотивів коліями станції згідно з нормами, прийнятими 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 розв’язання 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];
- залежно від необхідності та тривалості надання відпочинку визначити прогнозний час готовності локомотивної бригади до виконання поїзної роботи.

Вектор даних про локомотивну бригаду, відомості для якого отримують 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 й вона одразу може бути відправлена в зворотну сторону з поїздом (рис. 3.12).

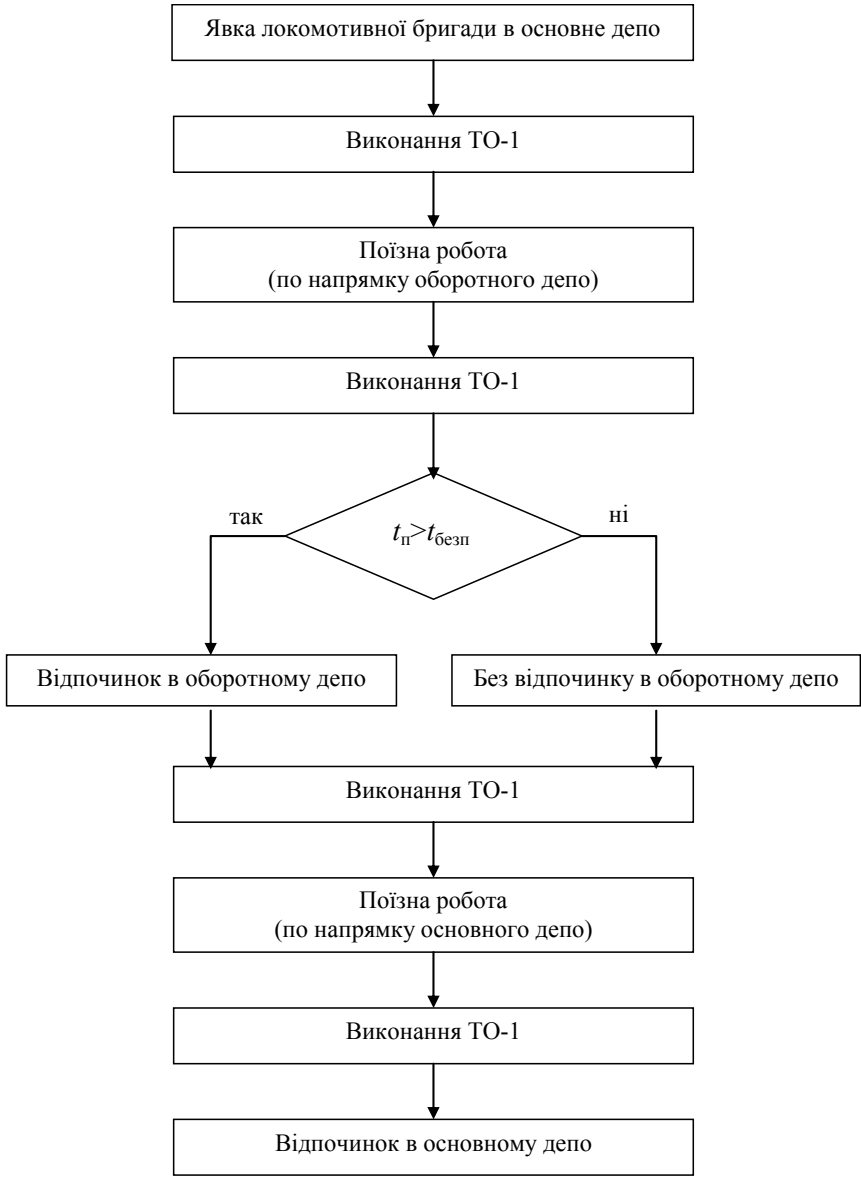


Рис. 3.12. Алгоритм роботи локомотивної бригади від моменту явки до надання відпочинку в основному депо

Модуль прогнозування роботи локомотивних бригад визначає для кожної бригади момент готовності  $M_{\text{гот}}^{\text{бриг}}$  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 повернулась в основне депо, то прогнозний момент готовності до наступної поїздки може бути визначений таким чином:

$$M_{\text{гот}}^{\text{бриг}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{зд}} + T_{\text{відп}}, \tag{3.22}$$

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 прямує 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 таким чином:

$$M_{\text{гот}}^{\text{бриг}} = T_{\text{приб}} + t_{\text{збр}} + 0,5 t_{\text{р}} + t_{\text{пбр}}, \quad (3.23)$$

де  $t_{\text{збр}}$  – час роботи бригади від моменту прибуття до здачі локомотива;

$t_{\text{р}}$  – 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:

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

де  $t_{\text{техбр}}$  – підготовчо-завершальний час роботи бригад по пункту обороту.

Тривалість виконання перелічених вище операцій визначається згідно з технологічними процесами роботи конкретних локомотивних депо. Для локомотивного депо станції Нижньодніпровськ–Вузол тривалість технологічних операцій наведена в дод. Ж.

Таким чином, маючи дані про прогнозний час прибуття бригад (поїздів) на технічні станції залізничного напрямку, про тривалість виконання технологічних операцій, а також необхідність 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.

## 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 графіка. Зазначимо, що цій проблемі присвячено досить багато робіт. Наприклад, у працях [155; 156] состав спочатку забезпечується локомотивом, а потім призначається бригада. У роботі [157] ця 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 в статті [159] використовуються багатокритеріальні нечіткі моделі задачі про оптимальне призначення, де як критерії використовуються економічна оцінка та оцінка ефективності призначення локомотива на поїзди; 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:

- прогностні моменти готовності локомотивів та бригад до виконання ТО-1, а також прогностні моменти готовності составів різних категорій до відправлення;
- відомості про наявність пріоритетних составів, простій яких в очікуванні відправлення повинен бути мінімальним;

- графік руху поїздів на напрямках;
- обмеження за часом роботи локомотивів (для вчасного проведення різних видів технічного обслуговування та ремонту);
- обмеження за часом роботи локомотивних бригад (для дотриманням норм тривалості праці та відпочинку);
- обмеження за тяговими плечами роботи локомотивів, а також за плечами обороту бригад.

Постановка задачі визначення оптимального призначення бригад на локомотиви та состави вантажних поїздів зводиться до такого: 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  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ , де  $k$  – кількість обмежень. Залежно від того як поєднуються окремі елементи цих множин  $\{B_i L_j S_u\}$ , 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  $x_{iju}$  ( $i=1, \dots, n, j=1, \dots, m, u=1, \dots, v$ ) набуває значення  $x_{iju}=1$ , інакше  $x_{iju}=0$ . Необхідно з урахуванням обмежень  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  знайти такі поєднання  $\{B_i L_j S_u\}$  (призначити бригади на локомотиви та до составів), при яких загальний ефект буде максимальним, тобто

$$F = \sum_{i=1}^{n_s} \sum_{j=1}^m \sum_{u=1}^v e_{iju} \cdot x_{iju} \rightarrow \max. \quad (4.1)$$

Враховуючи тривимірність поставленої задачі взаємного ув'язування локомотивів, бригад та составів у поїзди з подальшим плануванням їх відправлення на 4-8 год, пропонується застосовувати метод декомпозиції; при цьому задача ця розв'язується послідовно за два етапи [154; 161].

Для того щоб визначити оптимальну послідовність ув'язування локомотивів, бригад та составів у поїзди, було виконано серію експериментів, у ході яких моделювалися вихідні дані, наведені вище. Для кожного такого експери-

менту розв’язувалась оптимізаційна задача розробки плану роботи локомотивного парку в трьох варіантах (рис. 4.1).

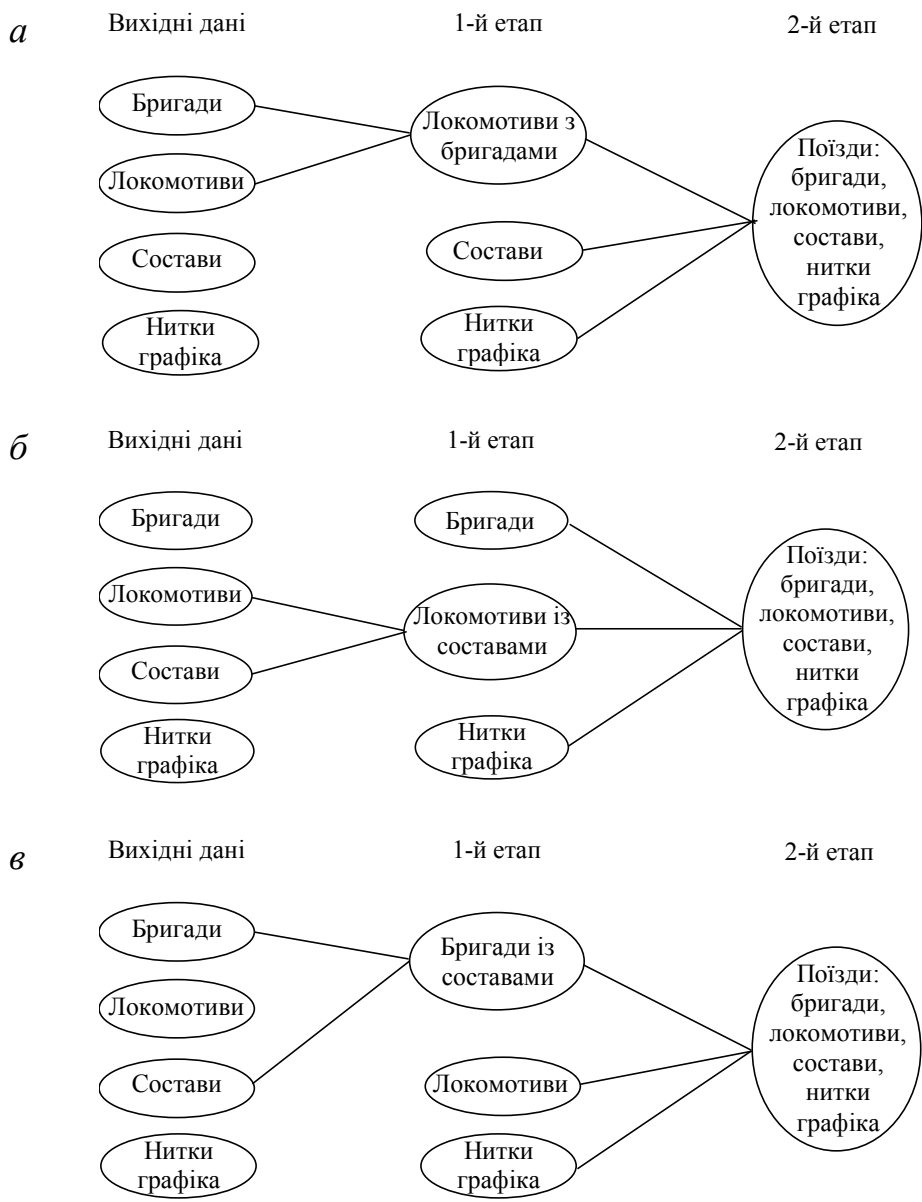


Рис. 4.1. Варіанти розв’язку оптимізаційної задачі розробки плану роботи локомотивного парку

У результаті аналізу отриманих розв’язків 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, *a*). Другий та третій варіанти (рис. 4.1, *б* та 4.1, *в* відповідно) показали меншу ефективність порівняно з першим.

Таким чином, виконані дослідження показали, що найбільш доцільно на I етапі призначати бригади на локомотиви з урахуванням проведення ТО-1 та

тривалості маневрових пересувань (якщо локомотив перебуває в депо), на II – 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 при розробці оперативних планів роботи локомотивного парку [123].

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

#### **4.2. Розв’язання задачі оптимального призначення бригад на локомотиви**

На першому етапі розробки плану роботи локомотивного парку розв’язується задача оптимального призначення локомотивних бригад на поїзні локомотиви. Вона може бути розв’язана як «задача про призначення» та формулюється таким 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 [162–164].

Метою задачі I етапу є мінімізація витрат, пов’язаних з непродуктивним простоем бригад і локомотивів, тому цільова функція має такий вигляд:

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

з обмеженнями

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

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

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, \quad (4.5)$$

$$n \leq n^*, \quad (4.6)$$

$$m \leq m^*, \quad (4.7)$$

де  $c_{ij}$  – витрати, пов’язані з непродуктивним простоем бригад і локомотивів;  
 $x_{ij}$  – змінна, що характеризує призначення бригади  $i$  на локомотив  $j$ :  $x_{ij}=1$ , якщо  $i$ -та бригада призначена на  $j$ -й локомотив, у протилежному 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 дотримуватися 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

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

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

$t_{\text{поїздки } j}$  –прогнозна тривалість поїздки, що планується. Якщо технічне обслуговування локомотива може бути виконане тільки в основному депо, то  $t_{\text{поїздки } j}$  розраховується в обидва кінці 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 перебування бригади на роботі з моменту явки, по закінченні якого забороняється відправлення її в поїздку  $t_{\max}^{\text{бриг}}$ :

$$t_i^b \leq t_{\max}^{\text{бриг}}, \tag{4.9}$$

де  $t_i^b$  – тривалість простою  $i$ -ї бригади від моменту явки до закінчення виконання ТО-1 з локомотивом.

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

Таблиця 4.1

Бригади	Локомотиви			
	$L_1$	$L_2$	...	$L_m$
$B_1$	$c_{11}$	$c_{12}$	.	$c_{1m}$
$B_2$	$c_{21}$	$c_{22}$	.	$c_{2m}$
...	.	.	$c_{ij}$	.
$B_n$	$c_{n1}$	$c_{n2}$	.	$c_{nm}$

Бригада  $i$  очікує локомотив  $j$ , якщо вона готова до проведення ТО-1 раніше, ніж локомотив, тобто  $M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}} \leq M_{\text{гот } j}^{\text{лок}}$ ; локомотив очікує бригаду, якщо  $M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}} \geq M_{\text{гот } j}^{\text{лок}}$ . Отже, для того щоб заповнити матрицю витрат, необхідно визначити величини  $c_{ij}$  таким чином:

$$c_{ij} = \begin{cases} (M_{\text{гот } j}^{\text{лок}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}) \cdot r_b + (t_{\text{ТО-1}} + p) \cdot (r_b + r_l), & \text{якщо } M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}} \leq M_{\text{гот } j}^{\text{лок}}; \\ (M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}} - M_{\text{гот } j}^{\text{лок}}) \cdot r_l + (t_{\text{ТО-1}} + p) \cdot (r_b + r_l) & \text{якщо } M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}} \geq M_{\text{гот } j}^{\text{лок}}, \end{cases} \tag{4.10}$$

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;  
 $p$  – тривалість маневрових пересувань від локомотивного депо до колії приймально-відправного парку.

На цьому етапі для кожної пари локомотива з бригадою необхідно перевірити виконання умов (4.8), (4.9); якщо умови не виконуються, тобто  $i$ -та бри-



гада не може бути призначена на  $j$ -й локомотив, то така пара вважається забороненою:  $c_{ij} = \infty$ .

Після заповнення матриці витрат задача може бути розв'язана одним з відомих методів (наприклад, Угорським), у результаті чого отримуємо пари локомотивів з бригадами  $L^* = \{L_1^*, \dots, L_h^*, \dots, L_z^*\}, h = 1, \dots, z$ . Також наприкінці першого етапу отримуємо моменти готовності локомотивів з бригадами  $M_{\text{гот } ji}^{\text{л-бр}}$ , 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'язання 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. У локомотивних депо існує визначена спеціалізація бригад по плечах обороту, і, 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  $L_h^* = \{B_i L_j\}$  та  $S_u$ .

У зв'язку з цим на другому етапі розв'язання задачі розробки плану роботи локомотивного парку пропонується застосовувати математичний апарат багатокритеріальної задачі про призначення (БЗП) [165; 166], математична постановка якої в цьому випадку зводиться до такого [160].

Маємо  $z$  локомотивів з бригадами  $L_1^*, L_2^*, \dots, L_z^*$  та  $v$  составів вантажних поїздів  $S_1, S_2, \dots, S_v$ . Ефективність призначення локомотива з бригадою  $L_h^*$  на состав  $S_u$  позначимо через  $G_{hu}, h = 1, \dots, z, u = 1, \dots, v$ . Необхідно так розподілити локомотиви з бригадами по складах, щоб сумарна ефективність призначень була максимальною:

$$G = \sum_{h=1}^z \sum_{u=1}^v G_{hu} x_{hu} \rightarrow \max, \quad (4.11)$$

з обмеженнями

$$\sum_{h=1}^z x_{hu} = 1, u = 1, \dots, v, \quad (4.12)$$

$$\sum_{u=1}^v x_{hu} = 1, h = 1, \dots, z, \quad (4.13)$$

$$x_{hu} \in \{0, 1\}, h = 1, \dots, z, u = 1, \dots, v, \quad (4.14)$$

де  $G_{hu}$  – параметр ефективності призначення локомотива з бригадою  $L_h^*$  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 протилежному 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 локомотивів та дотримання допустимих норм перебування бригад в очікуванні відправлення зі станції відповідно.

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

$$F_h \geq Q_u. \quad (4.15)$$

Локомотивні бригади кожного депо мають перелік плечей обслуговування  $\Phi = \{\phi_1, \dots, \phi_e, \dots, \phi_p\}, e = 1, \dots, p$ , і, як правило, кожна бригада має досвід роботи по одному чи декількох напрямках. Напрямок плечей обслуговування бригад збігається з напрямками відправлення составів вантажних поїздів. Тож, при призначенні  $h$ -го локомотива з бригадою на  $u$ -й состав необхідно, щоб плече обслуговування бригади збігалось з напрямком відправлення состава, тобто

$$\phi_{eh} = \phi_{eu}. \quad (4.16)$$

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

$$G_{hu} = w_1 \lambda_u + w_2 \tau_{hu} + w_3 y_{hu}, \quad (4.17)$$

де  $\lambda_u$  – параметр пріоритетності відправлення  $u$ -го состава;

$\tau_{hu}, y_{hu}$  – 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 за абсолютними значеннями, 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  $K = \overline{1, a}$  (де  $a$  – кількість категорій пріоритетності), що, у свою чергу, залежить від ситуації на період планування. Для составів з найвищим пріоритетом відправлення  $K=1$ , для составів з найнижчим пріоритетом (або за відсутності пріоритету)  $K=a$ . Таким чином, параметр пріоритетності відправлення состава  $u$  визначається за допомогою виразу

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

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

Параметри тривалості  $\tau_{hu}$  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  $\{L_h^*, S_u\}$ , де кожна клітинка містить чотири значення: простій бригади  $t_i^b$ , локомотива  $t_j^l$ , состава  $t_u^s$  та сумарний простій рухомого складу та бригади  $t_{hu}$  (див. табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Матриця тривалості простою локомотивів, бригад та составів

Пари локомотивів з бригадами	Состави вантажних поїздів		
	$S_1$	...	$S_v$
$L_1^* = \{B_1 L_2\}$	$t_1^b / t_2^l / t_1^s / t_{11}$	...	$t_{1v}$
$L_2^* = \{B_2 L_1\}$	$t_2^b / t_1^l / t_1^s / t_{21}$	...	$t_{2v}$
...	...	$t_{hu}$	...
$L_z^*$	$t_{z1}$	...	$t_{zv}$

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

$$t_i^b = M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бр}} + t_u^{s*}, \tag{4.19}$$

де  $M_{\text{гот } i}^{\text{бр}}$  – момент готовності  $i$ -ї бригади до виконання ТО-1.

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

$$t_i^{b*} = M_{\text{гот } ji}^{\text{л-бр}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бр}} + t_u^{s*}. \tag{4.20}$$

При визначенні тривалості простою  $i$ -ї бригади необхідно перевіряти виконання умови (4.9); якщо умова (4.9) не виконується, то призначення  $i$ -ї бригади в парі  $L_h^* = \{B_i L_j\}$  на  $u$ -й состав вважається забороненим ( $G_{hu} = -\infty$ ).

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

$$t_u^s = M_{\text{гот } ji}^{\text{л-бр}} - M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} + t_{\text{технол. відпр}} + t_{\text{оч.н}}, \quad (4.21)$$

де  $M_{\text{гот } u}^{\text{сост}}$  – момент готовності  $u$ -го состава до відправлення;

$M_{\text{гот } ji}^{\text{л-бр}}$  – момент готовності локомотива з бригадою  $L_h^* = \{B_i L_j\}$  до відправлення з поїздом з урахуванням ТО-1 та маневрових пересувань по станції;

$t_{\text{технол. відпр}}$  – 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

$$t_u^{s*} = t_{\text{технол. відпр}} + t_{\text{оч.н}}. \quad (4.22)$$

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

$$t_j^l = M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} - M_{\text{гот } j}^{\text{лок}} + t_u^{s*}, \quad (4.23)$$

де  $M_{\text{гот } j}^{\text{лок}}$  – 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

$$t_j^{l*} = M_{\text{гот } ji}^{\text{л-бр}} - M_{\text{гот } j}^{\text{лок}} + t_u^{s*}. \quad (4.24)$$

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  $L_h^* = \{B_i L_j\}$  на  $u$ -й состав вважається забороненим ( $G_{hu} = -\infty$ ).

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

$$\tau_{hu} = 1 - \frac{t_{hu}}{\max\{t\}}, \quad (4.25)$$

де  $\max\{t\}$  – 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  $\{L_h^*, S_u\}$ , де кожна клітинка містить сумарне  $c_{hu}$  значення вартості простою составів, локомотивів та бригад при відповідному призначенні:

$$c_{hu} = t_i^b \cdot r_b + t_j^l \cdot r_l + t_u^s \cdot r_s, \tag{4.26}$$

де  $r_s$  – питомі витрати на 1 поїздо-годину простою на станції у вантажному русі, грн.

Таблиця 4.3

**Матриця вартості тривалості простою локомотивів, бригад та составів**

Пари локомотивів з бригадами	Состави вантажних поїздів		
	$S_1$	...	$S_v$
$L_1^* = \{B_1 L_2\}$	$c_{11}$	...	$c_{1v}$
$L_2^* = \{B_2 L_1\}$	$c_{11}$	...	$c_{2v}$
...	...	$c_{hu}$	...
$L_z^*$	$c_{z1}$	...	$c_{zv}$

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

$$y_{hu} = 1 - \frac{c_{hu}}{\max\{c\}}, \tag{4.27}$$

де  $\max\{c\}$  – максимальне значення вартості простою матриці.

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

Таблиця 4.4

**Матриця ефективності призначень**

Пари локомотивів з бригадами	Состави вантажних поїздів		
	$S_1$	...	$S_v$
$L_1^*$	$G_{11}$	...	$G_{1v}$
...	...	$G_{hu}$	...
$L_z^*$	$G_{z1}$	...	$G_{zv}$

Подальше розв’язання задачі виконується одним з відомих методів (наприклад, Угорським) розв’язку задачі про призначення. При цьому цільова функція ефективності призначень  $\{L_h^*, S_u\}$  досягає свого максимального значення.

Таким чином, у результаті розв’язку задачі оптимального призначення локомотивних бригад на локомотиви та состави вантажних поїздів з подальшим їх відправленням з технічних станцій, отримуємо 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 з 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 подальшим коригуванням плану роботи локомотивів та локомотивних бригад з періодичністю  $\Delta t$  з урахуванням зміни поїзного положення на поточний момент (рис. 4.2). При цьому період повторного коригування плану  $\Delta t$  залежить від інтенсивності вхідного поїздопоту та встановлюється експериментальним шляхом. Рішення щодо роботи локомотивного парку згідно з планом, розробленим на початку періоду планування, або на основі відкоригованих планів, приймає ОДП.

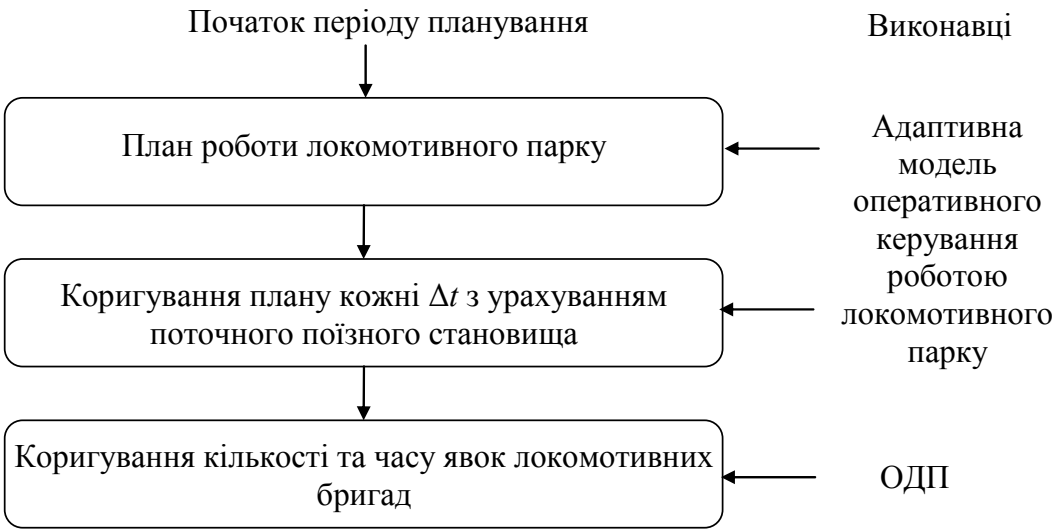


Рис. 4.2. Порядок планування роботи локомотивного парку

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  $\Delta M$ , тобто якщо  $|M_{\text{факт}} - M_{\text{прогн}}| > \Delta M$  (див. рис. 4.3).

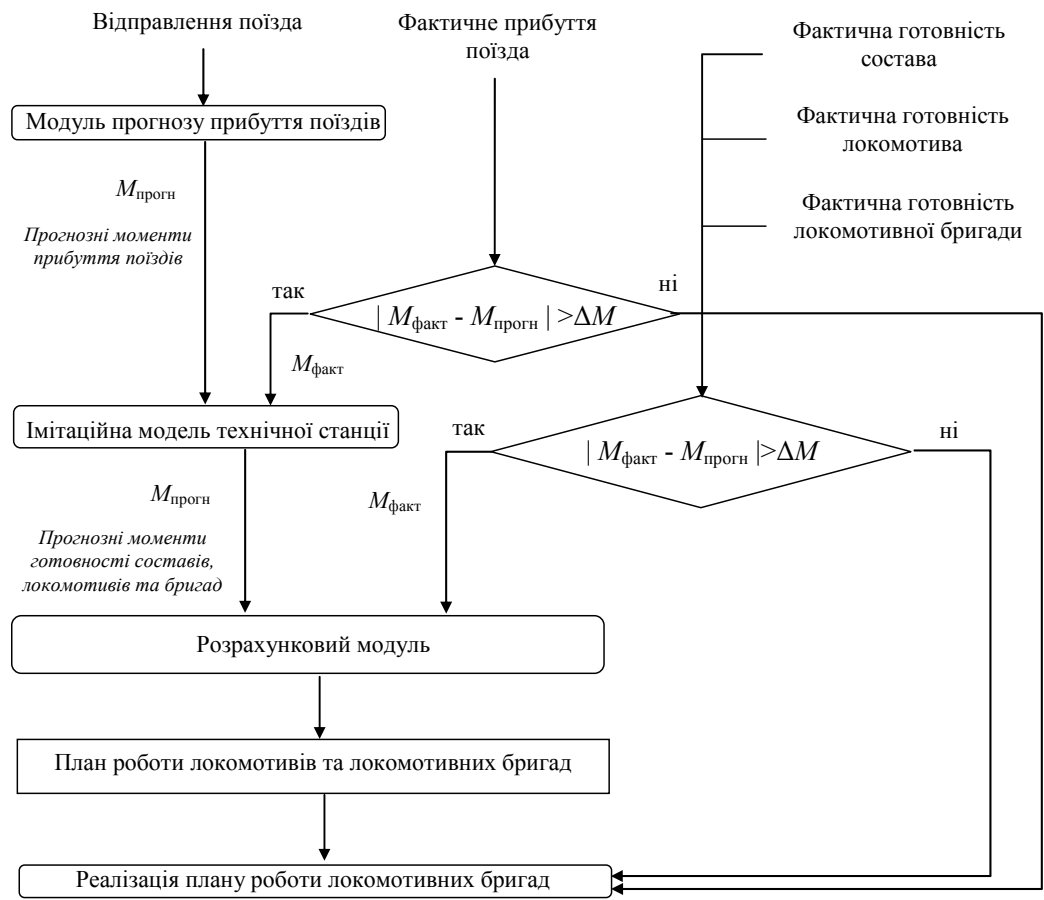


Рис. 4.3. Алгоритм розрахунку та коригування оперативного плану роботи локомотивного парку

Для оцінки ефективності запропонованої процедури було проведено порівняльний аналіз виконаного та розробленого планів роботи локомотивного парку. Так, на рис. 4.4, а наведено фрагмент графіка 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 графіка 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 14<sup>00</sup> залишався на станції; згідно з розробленим планом роботи, 7-ма бригада ыз 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 о 12<sup>50</sup>, що дало змогу зменшити простій цього состава мінімум на 70 хв.

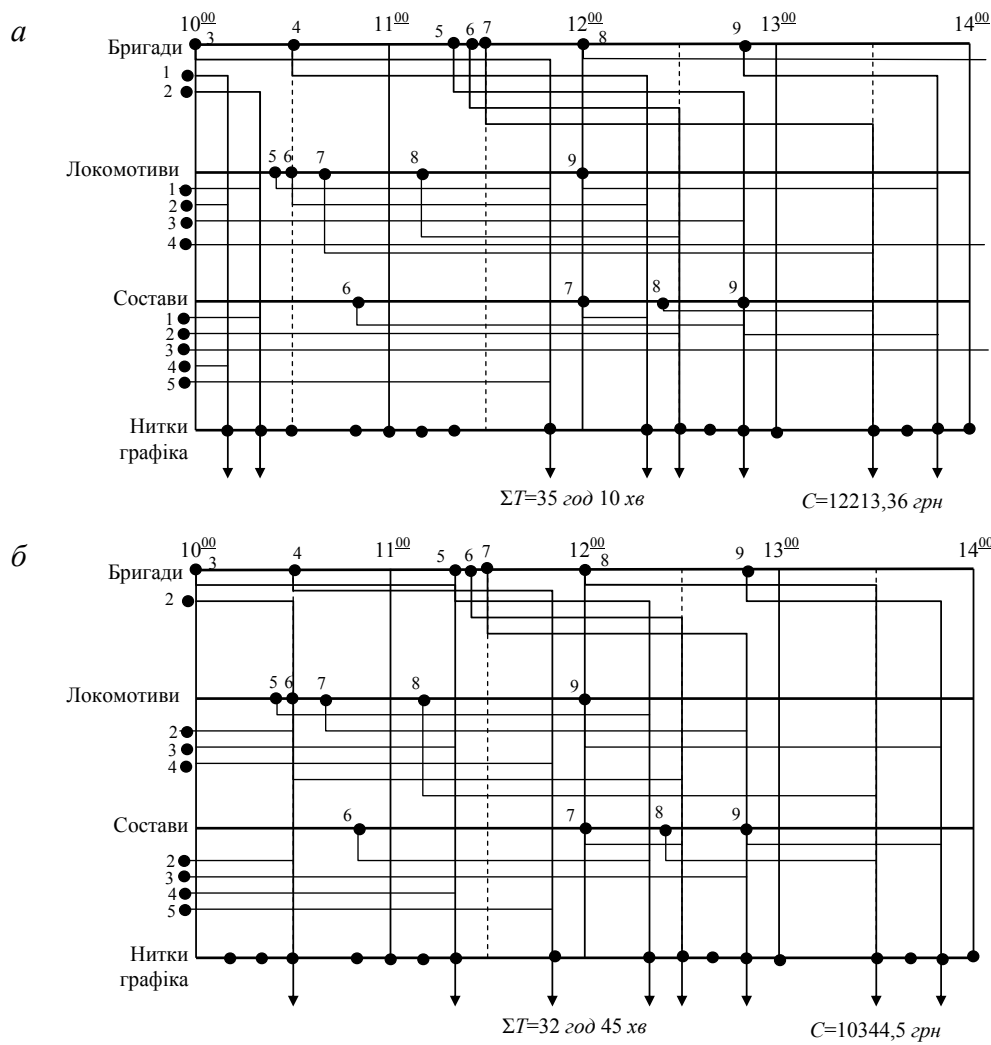


Рис. 4.4. Графік роботи локомотивного парку на станції Нижньодніпровськ-Вузол: *а* – фрагмент графіка виконаного руху поїздів; *б* – план роботи, розроблений з використанням запропонованої оптимізаційної процедури

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 1 858,86 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 з’ясувати причини непродуктивного простою як составів, так і локомотивів з бри-

гадами. 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  $\Delta t$  або  $\Delta t'$  відповідно (рис. 4.5). Зокрема, можна виявити нестачу або надлишок локомотивних бригад та змінити кількість бригад, що мають явки протягом періоду планування.

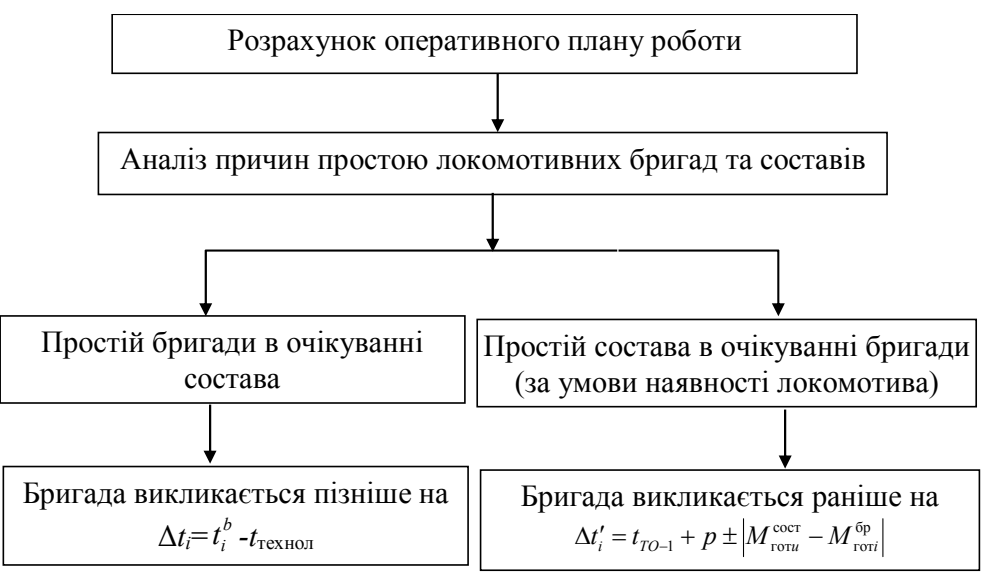


Рис. 4.5. Алгоритм коригування часу явки бригади

У випадку очікування локомотивною бригадою  $i$  готовності состава  $u$  бригаду можна викликати пізніше на

$$\Delta t_i = t_i^b - t_{\text{технол}}, \tag{4.28}$$

де  $t_i^b$  – простій  $i$ -ї бригади з моменту явки;

$t_{\text{технол}}$  – сумарна тривалість технологічних операцій з приймання 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

$$\Delta t'_i = \begin{cases} (t_{\text{ГО-1}} + p) + |M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}|, & \text{якщо } M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} \leq M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}; \\ (t_{\text{ГО-1}} + p) - |M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}|, & \text{якщо } M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} \geq M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}. \end{cases} \tag{4.29}$$

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

У цілому, як показали дослідження, використання запропонованого методу коригування часу явки локомотивних бригад дозволило зменшити тривалість непродуктивних простоїв бригад на 10–12 %.

## ВИСНОВКИ

У цілому отримані в монографії результати в сукупності вирішують науково-практичне завдання підвищення ефективності перевізного процесу на залізничних напрямках за рахунок удосконалення оперативного керування експлуатацією парку вантажних локомотивів. При цьому можна зробити такі висновки.

1. В умовах критичної зношеності тягового рухомого складу України (до 99 %) ефективне планування та керування експлуатаційною роботою локомотивного парку є вкрай актуальним завданням.

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 у очікуванні подачі поїзних локомотивів на технічних станціях становить 1,5 год, що складає 10...60 % від загальної тривалості перебування вагонів на станції, а частка очікування составами локомотивів з бригадами становить понад 60 %.

3. Аналіз тривалості руху поїздів показав, що на тривалість перебування поїзда на дільниці суттєво впливають час та дата його відправлення із 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. Авторами розроблено адаптивну математичну модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку, складовими якої є прогнозна модель поїзної роботи напрямку та розрахунковий модуль. Ця модель призначена для розроблення оперативного плану роботи локомотивного парку на основі прогнозних моментів готовності составів, локомотивів та бригад до відправлення з технічної станції.

5. Під час розроблення модуля прогнозування прибуття поїздів на технічні станції використано апарат штучних нейронних мереж, а саме мережу типу персептрон. Застосування нейромережі дає можливість врахувати момент відпра-

влення 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*-критерію Вілкоксона.

6. Авторами монографії також удосконалено розроблену фахівцями ДНУ-ЗТ імітаційну модель сортувальної станції за рахунок її доповнення моделлю локомотивного депо. Така модель 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 пропонується 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 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Державна служба статистики України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 14.10.2017).
2. Основні аспекти стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017-2021 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uz.gov.ua/files/file/Strategy\\_Presentation\\_fin1.pdf](http://www.uz.gov.ua/files/file/Strategy_Presentation_fin1.pdf) (дата звернення 14.10.2017).
3. Транспорт і зв'язок України. Статистичний збірник. – Київ : Державна служба статистики України, 2017. – 175 с.
4. Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012–2016 роки, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 21.08.2011 № 840 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF> (дата звернення 25.11.2017).
5. Пояснювальна записка до Консолідованого фінансового плану ПАТ «Укрзалізниця» на 2017 рік, затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13.09.2017 № 642-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/642-2017-%D1%80> (дата звернення 25.11.2017).
6. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року (Проект) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/news/28581.html> (дата звернення 25.11.2017).
7. Довідник основних показників роботи залізниць України (1992-2002). – Київ : Укрзалізниця, 2003. – 40 с.
8. Довідник основних показників роботи залізниць України (2006-2016). – Київ : Укрзалізниця, 2016. – 56 с.
9. Вернигора Р. В. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях / Р. В. Вернигора, Л. О. Ельникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/3 (59). – С. 16–19.

10. Бутько Т. В. Удосконалення управління процесом просування поїздотоків на основі стабілізації обігу вантажного вагону / Т. В. Бутько, О. В. Лаврухін, Ю. В. Доценко // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 22. – С. 18–26.
11. Марценюк Л. В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів / Л. В. Марценюк // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. Зб. наук. праць НАУ. – 2012. – Вип. 33. – С. 141–147.
12. Козаченко Д. Н. Проблемы использования частных локомотивов для выполнения перевозок на магистральном железнодорожном транспорте / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Зб. наук. праць ДНУЗТ. Серія : Транспортні системи і технології перевезень. – 2012. – Вип. 3. – С. 40–46.
13. Громов Г. Н. Укрупненный метод нормирования парка локомотивов / Г. Н. Громов // Железнодорожный трансп. – 1972. – № 10. – С. 16–17.
14. Некрашевич В. И. Методика расчета потребности в локомотивах при их оперативном секционировании и кратной тяге / В. И. Некрашевич, А. И. Игнатов // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 2. – С. 24–30.
15. Бурдонов С. К. Улучшение использования локомотивов на больших полигонах / С. К. Бурдонов, Г. Н. Кегелес // Железнодорожный трансп. – 1981. – № 2. – С. 49–54.
16. Гусев В. С. Оперативное регулирование локомотивным парком на удлиненных участках обращения / В. С. Гусев, Ф. К. Макаев // Железнодорожный трансп. – 1983. – № 10. – С. 20–22.
17. Баврин Г. Н. Суточное планирование потребности в локомотивах грузового движения / Г. Н. Баврин, В. Н. Коротков // Железнодорожный трансп. – 2008. – № 11. – С. 11–13.
18. Котляренко Ф. М. Маршрутная система эксплуатации локомотивов на больших полигонах / Ф. М. Котляренко, И. М. Косиков, Г. Н. Кегелес // Железнодорожный трансп. – 1982. – № 5. – С. 10–13.
19. Ременный А. С. Организация высокопроизводительного использования локомотивов / А. С. Ременный, Г. Н. Кегелес // Железнодорожный трансп. – 1972. – № 6. – С. 25–29.

20. Влияние системы ремонта локомотивов на обслуживание поездов / А. В. Горский, А. А. Воробьев, В. А. Козырев, В. М. Куанышев // Железнодорожный трансп. – 1994. – № 11. – С. 12–16.
21. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, О. В. Ветрова, О. Л. Зіненко // Вісник ДНУЗТ. – 2006. – Вип. 12. – С. 74–78.
22. Жуковицький І. В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів / І. В. Жуковицький, А. Б. Устенко, О. Л. Зіненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С. 51–56.
23. Козлов П. А. Модель оптимального графика оборота поездных локомотивов / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – № 2. – С. 15–20.
24. Некрашевич В. И. Оперативное регулирование локомотивным парком / В. И. Некрашевич // Железнодорожный трансп. – 1981. – № 5. – С. 53–56.
25. Некрашевич В. И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации / В. И. Некрашевич, А. И. Моргунов // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 3. – С. 20–25.
26. Некрашевич В. И. Управление эксплуатацией локомотива: учеб. пособие / В. И. Некрашевич, В. И. Апатцев. – Москва : РГОТУПС, 2004. – 257с.
27. Толкачева М. М. Организация труда локомотивных бригад / М. М. Толкачева // Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп. – Москва : Трансжелдориздат. – 1960. – Вып. 197. – 111 с.
28. Бархатный В. Д. Выбор участков и способов организации работы локомотивных бригад / В. Д. Бархатный, В. Д. Крюков. – Москва : Транспорт, 1974. – 36 с.
29. Некрашевич В. И. Удлиненные состыкованные участки работы локомотивных бригад и эффективность их применения / В. И. Некрашевич, Н. И. Капустин // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 3. – С. 6–10.

30. Давыдов А. В. Совершенствование организации труда локомотивных бригад / А. В. Давыдов, П. Н. Рубежанский // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 4. – С. 20–24.
31. Бутько Т. В. Обґрунтування доцільності впровадження подовжених пліч оберту локомотивів та локомотивних бригад при пропуску поїздів за «жорсткими» нитками графіка / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Т. О. Костиркіна // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 119. – С. 25–28.
32. Менжулина Л. Когда на плечо не давит / Л. Менжуліна // Магистраль. – 2012. – № 17–18.
33. Прийняті конструктивні рішення // Придніпровская магистраль. – 2013. – № 2. – С. 3.
34. Высоцкий Ю. Л. Улучшение организации труда локомотивных бригад / Ю. Л. Высоцкий // Железнодорожный трансп. – 1971. – № 6. – С. 30–32.
35. Дорошенко А. А. Нововведения на Придніпровской железной дороге: сокращение накладного времени работы локомотивных бригад / А. А. Дорошенко // Локомотив-информ. – 2012. – № 8. – С. 43.
36. Нестеренко С. И. Методика комплексного планирования работы локомотивных бригад депо на предстоящий планируемый год / С. И. Нестеренко // Планирование и организация работы локомотивных бригад : сб. науч. тр / ДИИТ. – Днепропетровск, 1980. – Вып. 213/13. – С. 10–28.
37. Крючкова С. В. Основные принципы алгоритмизации составления годовых планов работы локомотивных бригад на уровне депо в условиях сложившихся контингентов бригад / С. В. Крючкова, С. И. Нестеренко // Планирование и организация работы локомотивных бригад : сб. науч. тр / ДИИТ. – Днепропетровск, 1980. – Вып. 213/13. – С. 29–39.
38. Киселев К. С. Организация вычислительного процесса при составлении годовых планов работы локомотивных бригад с помощью ЭВМ / 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.



39. Ковалев В. Н. Нормирование локомотивных парков и работы локомотивных бригад / В. Н. Ковалев // Железнодорожный трансп. – 2008. – № 11. – С. 25–29
40. Киселев К. С. Общие принципы повышения эффективности работы локомотивных бригад на заданном полигоне / К. С. Киселев, С. И. Нестеренко // Вопросы эксплуатации железных дорог : Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1977. – Вып. 193/5. – С. 68–73.
41. Киселев К. С. Исследование вопросов оптимального распределения объемов работы локомотивных бригад между основными депо полигона / К. С. Киселев // Планирование и организация работы локомотивных бригад : сб. науч. тр. / ДИИТ. – Днепропетровск, 1980. – Вып. 213/13. – С. 40–56.
42. Крюков Н. Д. Автоматизация сменно-суточного планирования эксплуатационной работы дороги / Н. Д. Крюков // Труды ВНИИЖТ. – 1975. – Вып. 534. – 128 с.
43. Воблова Л. А. Оперативное управление работой локомотивов и локомотивных бригад с применением ЭВМ /Л. А. Воблова, Т. И. Гончарова // Труды ВНИИЖТа. – 1980. – Вып. 632. – С. 109–119.
44. Киселев К. С. Оптимизация времени нахождения локомотивных бригад в пунктах оборота методом минимальных разностей / К. С. Киселев, С. И. Нестеренко // Автоматическое управление и вычислительная техника на железнодорожном транспорте : Труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 162/6. – С. 71–74.
45. Киселев К. С. Применение ЭВМ для распределения поездов между смежными основными депо при организации работы локомотивных бригад способом накладных плеч / К. С. Киселев // Планирование и организация работы локомотивных бригад : сб. науч. тр / ДИИТ. – Днепропетровск, 1980. – Вып. 213/13. – С. 57–71.
46. Дашкевич А. Б. Работа локомотивных бригад по именованным графикам / А. Б. Дашкевич, М. М. Ремизов // Железнодорожный трансп. – 1976. – № 2. – С. 60–61.

47. Помазунов С. И. Планирование и организация работы локомотивных бригад / С. И. Помазунов, Ю. А. Муха, С. И. Нестеренко // Железнодорожный трансп. – 1977. – № 6. – С. 41–44.
48. Щенников Л. Н. Рациональная организация труда локомотивных бригад / Л. Н. Щенников // Железнодорожный трансп. – 1981. – № 2. – С. 20–23.
49. Бархатный В. Д. Принцип разработки именных графиков и безвызывной системы при частичной стабилизации графика движения грузовых поездов / В. Д. Бархатный, Л. А. Воблова, В. Л. Сальченко // Труды ВНИИЖТа. – 1984. – Вып. 676 – С. 65–68.
50. Некрашевич В. И. Организация работы локомотивных бригад по именным графикам / В. И. Некрашевич, В. Л. Сальченко, В. Н. Ковалев // Железнодорожный трансп. – 2004. – № 10. – С. 32–36.
51. Пазойский Ю. О. Автоматизация составления графика работы локомотивных бригад в пригородном сообщении / Ю. О. Пазойский // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – № 4. – С. 33–39.
52. Ковалев Н. В. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад / Н. В. Ковалев, В. Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 1. – С. 38–42.
53. Дадочкин Г. В. Совершенствование организации труда локомотивных бригад на грузонапряженных направлениях / 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.
54. Кельперис П. И. Работе локомотивных бригад – современные методы планирования и управления / П. И. Кельперис, Ю. А. Муха, С. И. Нестеренко // Железнодорожный трансп. – 1982. – № 1. – С. 22–25.
55. Кузьми А. В. Планирование работы локомотивных бригад в крупном узле / А. В. Кузьмин, А. Н. Ильин, Д. П. Бережонок // Железнодорожный трансп. – 2004. – № 10. – С. 32–36.
56. Некрашевич В.И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивных бригад грузового движения в условиях автоматизации / В.И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 1. – С. 28–35.

57. Кирпичев Д. А. Сменно–суточное и текущее планирование / Д. А. Кирпичев // Железнодорожный трансп. – 2008. – № 11. – С. 30–32.
58. Векуа Ш. М. Регулирование локомотивов в условиях стабилизации грузового движения / Ш. М. Векуа, В. И. Некрашевич, Д. В. Максимов // Железнодорожный трансп. – 1983. – № 10. – С. 29–31.
59. Бачинська Є. Б. Аналіз технології взаємодії у підсистемах сортувальної станції та локомотивного депо / Є. Б. Бачинська, О. А. Малахова // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 118. – С. 192–197.
60. Атякин Д. И. Обеспечение беспрепятственного пропуска и своевременного вывоза поездов со станции / Д. И. Атякин // Железнодорожный трансп. – 2008. – № 2. – С. 26–27.
61. Волков В. С. Технология, обеспечивающая организацию движения грузовых поездов по твердому графику / В. С. Волков // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 3. – С. 17–23.
62. Шапкин И. Н. Твердый подекадный график движения грузовых поездов как одно из решений проблемы адаптации графика к колебаниям вагонопотоков / И. Н. Шапкин, Е. М. Кожанов // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 3. – С. 30–33.
63. Кужель А. Л. Новый подход к управлению вагонопотоками / А. Л. Кужель, И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Железнодорожный трансп. – 2010. – № 10. – С. 19–24.
64. Некрашевич В. И. Каким быть графику грузового движения / В. И. Некрашевич, А. Ф. Бородин // Железнодорожный трансп. – 1992. – № 12. – С. 2–8.
65. Бородин А. Ф. Улучшать использование грузовых локомотивов / А. Ф. Бородин, В. Н. Костин // Железнодорожный трансп. – 1994. – № 12. – С. 16–19.
66. Дронов В. А. Рациональная эксплуатация локомотивов / В. А. Дронов, А. Ф. Бородин, В. Н. Ковалев // Железнодорожный трансп. – 1996. – № 9. – С. 15–19.

67. Бородин А. Ф. Экспериментальная проверка технологии поездной работы про постоянных размерах грузового движения и нефиксированных массе и длине составов / А. Ф. Бородин, М. Ф. Васин, М. В. Суслов, Е. В. Трисцев // Вестник ВНИИЖТ. – 1993. – № 5. – С. 3–7.
68. Некрашевич В. И. Автоматизация управления локомотивными парками / В. И. Некрашевич, В. Л. Сальченко, В. Н. Ковалев // Железнодорожный трансп. – 2000. – № 5. – С. 30–35.
69. Поплавский А. А. Сквозное оперативное управление поездной работой на направлениях / А. А. Поплавский, А. И. Лизунов // Железнодорожный трансп. – 2007. – № 1. – С. 16–24.
70. Шаров В. А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию / В. А. Шаров, А. Ф. Бородин // Железнодорожный трансп. – 2011. – № 8. – С. 11–22.
71. Конкуренция на железнодорожном транспорте Германии: 20 лет спустя // Железные дороги мира. – 2013. – № 7. – С. 11–21.
72. Швейцарская модель управления // Железные дороги мира. – 2013. – № 6. – С. 9–13.
73. Рынок лизинга локомотивов // Железные дороги мира. – 2007. – № 3. – С. 23–28.
74. Kozachenko D. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule / D. Kozachenko, R.Vernigora, V.Balanov, N.Berezovy, L.Yelnikova, Yu.Germanyuk // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, Issue 1. – P. 41–48.
75. Миркин А. Г. Расчет прогнозных показателей работы сортировочной станции в изменяющихся условиях эксплуатации с использованием имитационного моделирования / А. Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 3. – С. 7–10.
76. Ивницкий В. А. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования / В. А. Ивницкий, А. Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 7. – С. 7–10.
77. Ходаківський О. М. Дослідження роботи південної та північної сортувальних систем станції Основа на основі сучасних програмних засобів / О. М. Хо-

даківський, Д. В. Шумик, С. Д. Бронза, К. С. Кирпиченко // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2010. – № 5/6. – С. 18–23.

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

79. Нагорний Є. В. Економіко-математична модель функціонування логістичного ланцюга транспортного комплексу «Сортувальна станція – прилеглі ділянки» / Є. В. Нагорний, Є. С. Альошинський // Зб. наук. праць ХарДАЗТ. – 2000. – Вип. 42. – С. 51–57.

80. Лаврухін О. В. Удосконалення системи оперативного керування експлуатаційної роботи сортувальної станції / О. В. Лаврухін, Ю. С. Старостіна // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2008. – № 13. – С. 12–21.

81. Лаврухін О. В. Удосконалення технології змінно-добового планування рівня станції на основі нейронних мереж / О. В. Лаврухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 1. – С. 10–14.

82. Пахомова В. М. Розробка підсистеми оперативного прогнозування простоїв прибуваючих поїздів на основі ANFIS-системи / В. М. Пахомова, С. Ю. Дмитрієв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 4. – С. 46–55.

83. 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.

84. Лаврухін О. В. Формування оптимізаційної моделі розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції / О. В. Лаврухін, Ю. В. Доценко, П. В. Долгополов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 137. – С. 30–34.

85. Лаврухін О. В. Удосконалення автоматизованої технології оперативного планування роботи залізничної станції / О. В. Лаврухін, О. В. Митрофанова // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 144. – С. 35–40.

86. Рахмангулов А. Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе Anylogic / А. Н. Рахмангулов, П. Н. Мишкурин // Сборник научных трудов SWorld. Матер. междунаучно-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании – 2012». – Одесса : Купrienko, 2012. – Вып. 4, том 2. – С. 7–13.

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

88. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «КАСКАД» : навчальний посібник / М. І. Данько, В. І. Мойсеєнко, В. З. Рахматов, В. І. Троценко, М. М. Чепцов. – Харків, 2005. – 176 с.

89. Шапкин И. Н. Инструменты бизнес-анализа в технологии оперативного планирования и управления поездной работой / И. Н. Шапкин, А. Н. Вдовин // Железнодорожный трансп. – 2013. – № 8. – С. 29–33.

90. Інтелектуальні транспортні системи в Україні / А. Р. Гайков, О. П. Євсєєва, О. В. Баранов, В. Ю. Баранов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2014. – № 9 (1052). – С. 106–112.

91. Уманский В. И. Общие принципы интеллектуализации станционных систем управления / В. И. Уманский, С. И. Долганюк // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 6. – С. 8–12.

92. Лаврухин А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы / А. В. Лаврухин // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 43–53.

93. Функциональное моделирование работы железнодорожных станций : 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. – 244 с.

94. Яновський П. О. Встановлення впливу різних факторів на час знаходження поїздів на залізницях і визначення його тривалості в умовах функціону-

вання автоматизованої системи моделювання та аналізу / П. О. Яновський // Інформаційно-керуючі системи на транспорті. – 2008. – № 1. – С. 3–9.

95. Бутко Т. В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту / Т. В. Бутко, О. В. Лаврухін // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2006. – № 8. – С. 21–29.

96. 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](http://www.ssau.ru/files/science/conferences/pit2014/pit_14_1_5_106.pdf) (дата звернення 3.11.2017).

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

98. 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> (дата звернення 1.11.2017)

99. Huaqing Mao. Train schedule adjustment strategies for train dispatch / Mao Huaqing, Li Zhu // Telkomnika. – 2013. – Vol. 11, No.5, May. – P. 2526–2534.

100. Логвинова Н. А. Совершенствование методов оценки технологических параметров прогнозирования времени движения поездов на направлении железнодорожных перевозок Знаменка – Одесса / Н. А. Логвинова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2015. – Вип. 9. – С. 42–48.

101. Шапкин И. Н. Нормирование и прогнозирование на железных дорогах: Методы, алгоритмы, технологии расчета / И. Н. Шапкин, Р. А. Юсипов, Е. М. Кожанов. – Москва, 2006. – С. 265.

102. Бардась А. А. Методы интеллектуальных систем в задачах оперативного управления на сортировочных станциях / А. А. Бардась // Интеллектуальные транспортные системы. – 2013. – Вып. 2. – С. 5–10.
103. Дементієнко Р. В. Автоматизована система керування і контролю за тяговим рухом складом залізничного транспорту із застосуванням навігаційних систем / Р. В. Дементієнко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 118. – С. 157–162.
104. Мартиросян С. Р. Формування моделі визначення раціональних варіантів пропуску поїздів по ділянці / С. Р. Мартиросян, О. В. Лаврухін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/3(52). – С. 35–37.
105. Вохмінцев С. В. Концепция информационного обеспечения железнодорожного транспорта / С. В. Вохмінцев, Р. В. Семчук, А. Ю. Гуль // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С. 27–31.
106. Білоус Ю. А. Результати роботи локомотивного господарства в 2012 році / Ю. А. Білоус // Локомотив-информ. – 2013. – № 4. – С. 27–31.
107. Неплюев В. А. Автоматизированная система диспетчерского управления локомотивами и локомотивными бригадами на замкнутых полигонах («СИГНАЛ–Л»)/ В. А. Неплюев // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 5. – С. 40–43.
108. Капустин Н. И. Система СИГНАЛ–Л: актуальные проблемы и задачи / Н. И. Капустин // Железнодорожный трансп. – 2008. – № 11. – С. 22–24.
109. Акулов А. П. Возможности АСУ локомотивным парком / А. П. Акулов // Железнодорожный трансп. – 2008. – № 11. – С. 14–15.
110. Ильин А. Н. Планирование эксплуатационной работы в центре управления перевозками / А. Н. Ильин // Железнодорожный трансп. – 2002. – № 5. – С. 34–37.
111. Зіненко Л. О. Впровадження автоматизованих систем управління для поліпшення якості експлуатації локомотивного парку / Л. О. Зіненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – № 2. – С. 49–57.
112. Стужук А. А. Експлуатація автоматизованої системи управління локомотивним парком і локомотивними бригадами / А. А. Стужук, В. С. Коновалов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 114. – С. 27–29.



113. Жуковицький І. В. Проблеми та перспективи інформатизації в локомотивному господарстві УЗ / І. В. Жуковицький, О. Л. Зіненко, А. Б. Устенко // Локомотив-інформ. – 2008. – № 10. – С. 4–6.
114. Жуковицький І. В. Проблеми та перспективи автоматизації управління локомотивним господарством УЗ / І. В. Жуковицький, А. Б. Устенко, О. Л. Зіненко // Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 2. – С. 38–42.
115. Новохацький О. Ф. Стан справ та перспективи розвитку інформаційних технологій у локомотивному господарстві / О. Ф. Новохацький, С. Ю. Цейтлін // Локомотив-інформ. – 2011. – № 12. – С. 22–23.
116. Портнов О. Третий не лишний: кроме машиниста и помощника, в локомотивах появляются навигаторы / О. Портнов // Магистраль.– 2012.– № 97. – С. 4.
117. PTC making slow progress // Railway gazettee international. – April 2013. – P. 38–42.
118. Уманский В. И. Имитационное моделирование поездных и маневровых передвижений в интеллектуальных станционных системах оперативного управления / В. И. Уманский, С. И. Долганюк, С. В. Калинин // Вестник ВНИИ-ЖТ. – 2013. – № 2. – С. 7–13.
119. 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/> (дата звернення 13.10.2017).
120. Косовець С.О. Особливості структури управління локомотивним господарством на етапі реформування Укрзалізниці / С. О. Косовець // Локомотив-інформ. – 2013. – № 11(89). – С. 51–52.
121. Укрзалізниця. Поступ часу 1991–1996 : матеріали до історії залізничного транспорту України / авт.- упоряд. П. Москаленко, Т. Мукмінова. – Київ : Транспорт України, 1996. – 336 с.

122. Вернигора Р. В. Перспективи створення адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивів та локомотивних бригад / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень.– 2012. – Вип. 4. – С. 25–29.

123. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України № ЦД–0052, затв. наказом Укрзалізниці від 15.12.2004 № 969–ЦЗ – Київ : Міністерство транспорту і зв'язку України, 2004. – 38 с.

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. Затв. наказом Укрзалізниці від 10.03.1994 № 40–Ц [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zalp.org.ua/content/view/977/12/lang,ukrainian/> (дата звернення 25.11 2017).

125. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України. Затверджено наказом Укрзалізниці від 5.04.2002 № 170–Ц. – Київ : Укрзалізниця, 2001. – 159 с.

126. Інструкція з технічного обслуговування електровозів та тепловозів в експлуатації № ЦТ–0056. Затв. наказом Укрзалізниці від 27.12 2002 р. №670–Ц. – Київ: Поліграфсервіс, 2003. – 160 с.

127. Маслакова С. С. Экономика, организация и планирование локомотивного хозяйства / С. С. Маслакова, И. Г. Бойко, А. Н. Бычков. – Москва : Транспорт, 1991. – 273 с.

128. Ломотько Д. В. Аналіз стану у сфері управління транспортними ресурсами залізниць / Д. В. Ломотько, О. В. Ковальова, Є. А. Козелецький // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 25. – С. 71–75.

129. Переста Г. І. Аналіз впливу складових елементів на величину обороту вантажного вагона / Г. І. Переста, Т. В. Болвановська // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 1. – С. 75–77.

130. Марценюк Л. В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів / Л. В. Марценюк // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури : зб. наук. праць НАУ. – 2012. – Вип. 33. – С. 141–147.

131. Вернигора Р. В. Дослідження процесів составоутворення на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання / Р. В. Вернигора, О. В. Пугач // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/4. – С. 52–55.

132. Бодюл В. И. Повышение ритмичности и эффективности транспортного производства на основе снижения внутрисуточной неравномерности грузовых перевозок на железных дорогах : дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Бодюл. – Москва, 2006. – 318 с.

133. Леман Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. – Москва : Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1979. – 408 с.

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

135. Сотников Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков / 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 / 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 / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/3 (63). – С. 63–66.

138. Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Ферстер, Б. Ренц. – Москва : Финансы и статистика, 1983. – 295 с.

139. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.

140. Грузо-пассажирский электровоз ДЭ1 [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.devs.com.ua> (дата звернення 30.10.2017).

141. Бардась О. О. Підвищення ефективності поїздоутворення шляхом вибору черговості розпуску составів : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 . – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2012. – 24 с.

142. Єльнікова Л. О. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку /Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 8. – С. 35–39.

143. Вернигора Р. В. Структура та принципи функціонування прогнозної моделі роботи залізничного напрямку / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2015. – Вип. 9. – С. 16–22.

144. Вернигора Р. В. Можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних напрямків / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вип. 7. – С. 15–19.

145. Sun Y. A PSO–GRNN model for railway freight volume prediction [Електронний ресурс] / Y. Sun, M. Lang, D. Wang, L. Liu // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2014 – 7(2). – Р. 413–433. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1007> (дата звернення 17.11.2017).

146. Лаврухин А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы / А. В. Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – № 1 (55). – С. 43–53.

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

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

149. Филиппенко О. И. Биологические, искусственные и нейроавтоматные сети – сравнительный анализ. Часть 2. Искусственные нейронные сети / О. И. Фи-

липпенко, И. Г. Филиппенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3/2(15) – С. 87–93.

150. Вернигора Р. В. Дослідження ефективності використання нейронних мереж при прогнозуванні прибуття поїздів на технічні станції / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3/3 (75). – С. 23–27.

151. Дьяконов В. П. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов – Санкт-Петербург : «Питер», 2001. – 480 с.

152. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения : монографія / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков : Телетех, 2004. – 369 с.

153. Новотарський М. А. Штучні нейронні мережі: обчислення / М. А. Новотарський, Б. Б. Нестеренко // Праці Ін-ту математики НАН України. Т. 50. – Київ : Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с.

154. Вернигора Р. В. Проблемы оперативного планирования работы локомотивного парка Украины в современных условиях и пути их решения / Р. В. Вернигора, Л. О. Ельнікова // Вестник Белорусского гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт : научно-практ. журн. – Гомель : БелГут, 2015. – № 2. – С. 16–19.

155. Некрашевич В. И. Технология комплексного оперативного планирования работы локомотивов грузового движения в условиях автоматизации / 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 / В. И. Некрашевич // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 1. – С. 28–35.

157. Некрашевич В.И. Проблема адаптации графика движения грузовых поездов к колебаниям вагонопотоков / 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 / 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 / І. В. Жуковицький, В. В. Скалозуб, О. В. Ветрова, О. Л. Зіненко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – С. 74–78.
160. Жуковицький І. В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів / І. В. Жуковицький, А. Б. Устенко, О. Л. Зіненко // 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 / Р. В. Вернигора, Л. О. Єльнікова // Зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2015. – Вип. 10. – С. 16–22.
162. Пападимитриу Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц. – Москва : Мир, 1984. – 512 с.
163. Банди Б. Основы линейного программирования / Б. Банди. – Москва : Радио и связь, 1989. – 176 с.
164. Таха Хэмди, А. Введение в исследование операций / Хэмди А. Таха. – 6-е изд. – Москва : Изд. дом «Вильямс», 2001. – 912 с.
165. Математические методы решения многокритериальной задачи о назначениях / 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 / А. Н. Кожухаров, О. И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 1977. – № 7. – С. 71–88.

ДОДАТОК А

Техніко-експлуатаційна характеристика ділянки  
П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

Таблиця А.1

Технічна характеристика перегонів ділянки  
П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол

Перегони	Кількість головних колій	Довжина перегону, км	Тривалість руху в напрямку, год	
			парному	непарному
П'ятихатки – Железнякове	2	18	11	11
Железнякове – Вільногірськ		9	6	6
Вільногірськ – Верхівцеве		17	18	18
Верхівцеве – 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 – Діївка		9	5	7
Діївка – 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-І

Назва станції	Кількість головних колій	Відстань між станціями, км	Тривалість руху в напрямку, год	
			парному	непарному
Нижньодніпровськ–Вузол – Ігрень	2	6	3	4
Ігрень – Іларіонове		12	15	15
Іларіонове – Синельникове-ІІ		20	21	21
Синельникове -ІІ – Синельникове-І		14	9	9

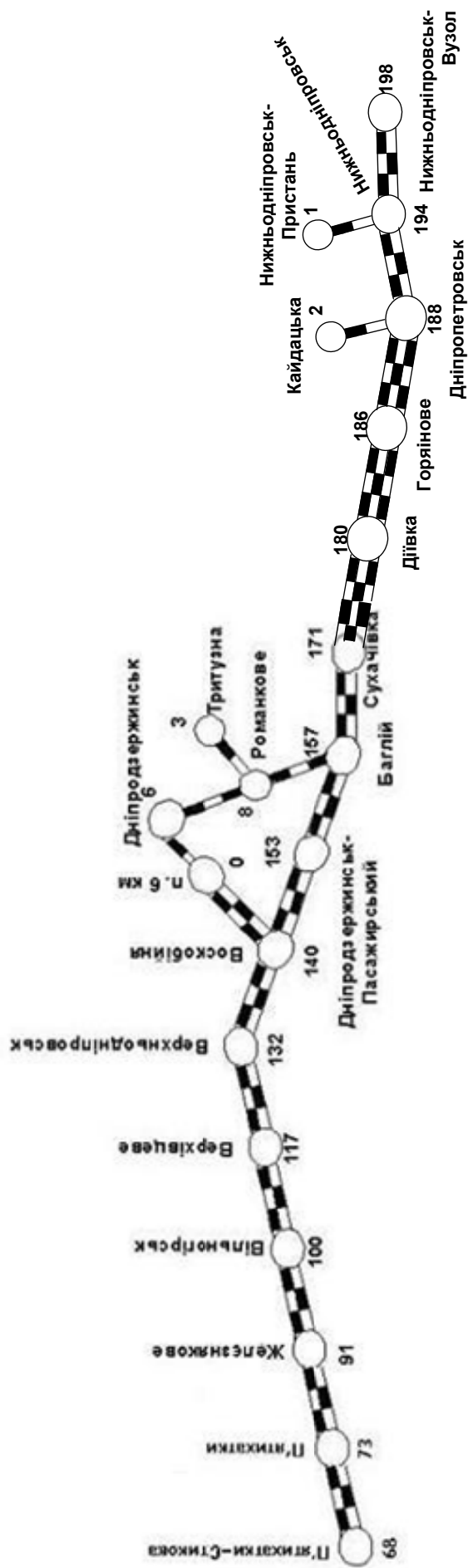


Рис. А.1. Схема ділянки П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол

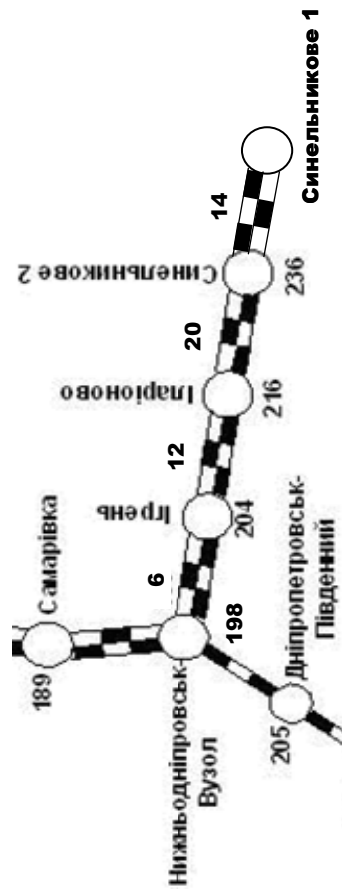


Рис. А.2. Схема ділянки Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І



## ДОДАТОК Б

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

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

Вихідні дані:

- кількість пар поїздів на ділянці  $n=22$  пар поїздів;
- довжина ділянки  $l=130$  км;
- ділянчна 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 ділянці складає

$$\theta_{л} = \frac{2 \cdot 130}{38,5} + 3,5 + 2,6 = 12,85 \text{ год}.$$

Коефіцієнт потреби локомотивів на пару поїздів дорівнює

$$K_{л} = \frac{12,85}{24} = 0,54.$$

Експлуатований локомотивний парк вантажного руху на ділянці Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки визначається як

$$M_{ек} = 0,54 \cdot 22 = 11,9 \text{ лок}.$$

Таким чином, для перевезення 22 пар поїздів на ділянці 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).

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

Вихідні дані (для дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І):

- час прибуття поїзда  $t_{\text{п}} = 13 \text{ год } 47 \text{ хв} = 13,78 \text{ год}$ ;
- підготовчо-завершальний час роботи бригад по пункту обороту

$$t_{\text{техбр}} = 1,8 \text{ год.}$$

Вихідні дані (для дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки):

- час прибуття поїзда  $t_{\text{п}} = 3 \text{ год } 30 \text{ хв} = 3,5 \text{ год}$ ;
- час роботи бригади від моменту прибуття до здачі локомотива

$$t_{\text{збр}} = 0,5 \text{ год};$$

– фактичний час роботи локомотивної бригади на дільниці від явки на роботу по пункту їх приписки до моменту здачі локомотива в пункті обороту  $t_{\text{р}} = 9,5 \text{ год}$ ;

– час роботи бригади по пункту обороту від моменту явки бригади до відправлення з поїздом  $t_{\text{пбр}} = 1,9 \text{ год}$ .

Готовність локомотивної бригади 1-ї категорії (без відпочинку в пункті обороту) розглянуто на прикладі дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І і складає:

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

Таким чином, локомотивна бригада, основне депо якої розташоване на станції Нижньодніпровськ–Вузол 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-ї категорії (з відпочинком у пункті обороту) розглянуто на прикладі дільниці Нижньодніпровськ–Вузол – 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 розташоване на станції Нижньодніпровськ–Вузол та яка прибула на станцію П’ятихатки о 3 год 30 хв, після відпочинку буде готова до відправлення з поїздом о 10 год 33 хв.

# ДОДАТОК В

## Аналіз роботи технічних станцій України та нерівномірності руху вантажних поїздів

### В.1. Аналіз роботи технічних станцій

У п. В.1 наведено результати досліджень щодо виявлення залежності інтенсивності потоку поїздів на сортувальних станціях від дня тижня та періоду доби. Перевірка цієї 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. Зокрема, для випадкової величини тривалості простою поїздів різних категорій у парках сортувальних станцій визначено параметри її розподілу.

Таблиця В.1

### Значення коефіцієнтів нерівномірності $K_{нер}$ поїздопотоків станцій

Станція	Категорія поїзда	Коефіцієнт нерівномірності $K_{нер}$ 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
Нижньодніпровськ–Вузол	транз.	2,12	1,25
	форм.	2,54	1,21
	розф.	2,47	1,68
Ясинувата	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.

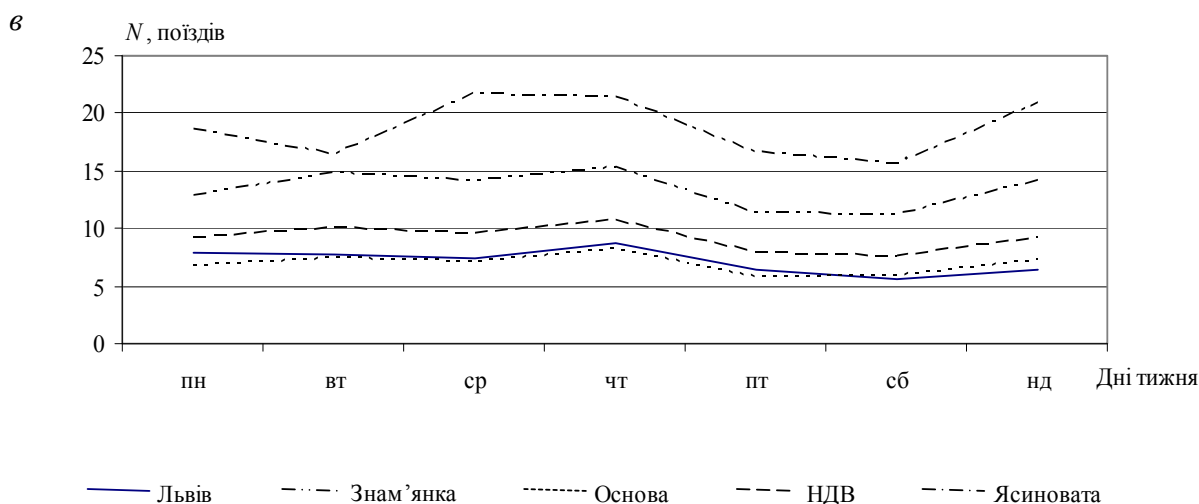
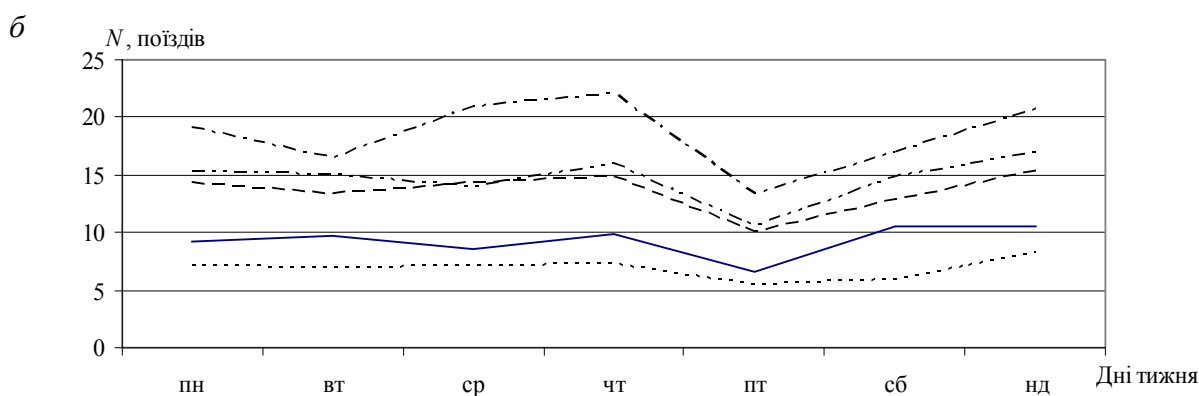
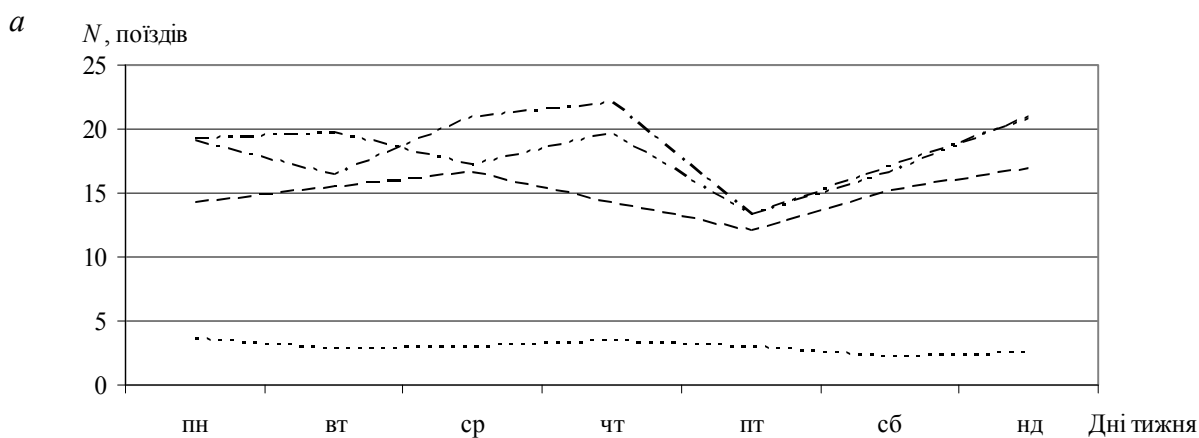


Рис. В.1. Графіки інтенсивності відправлення поїздів різних категорій залежно від дня тижня: *a* – транзитних поїздів; *б* – поїздів свого формування; *в* – поїздів у розформування

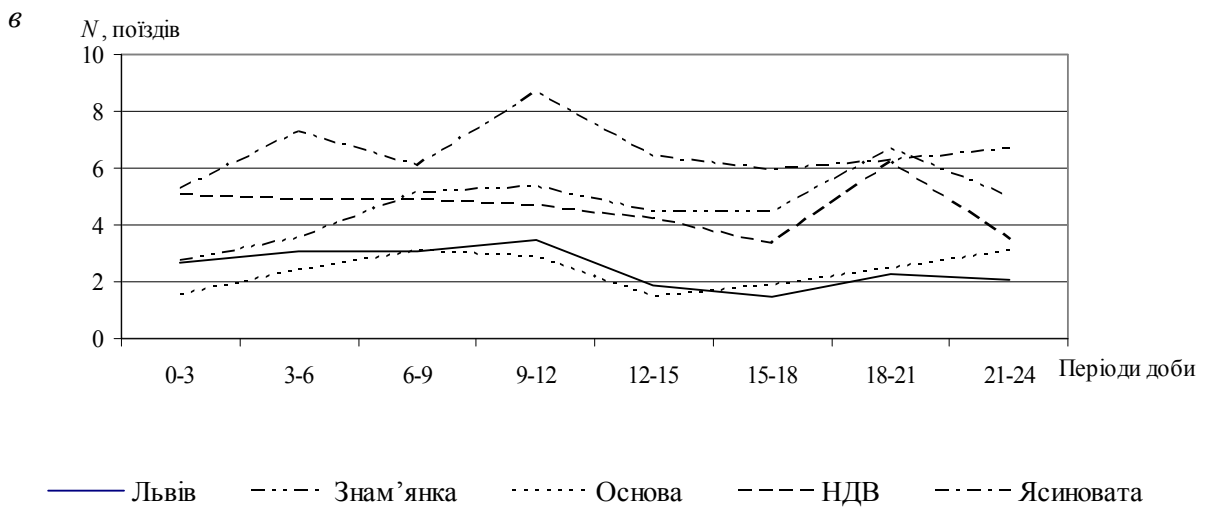
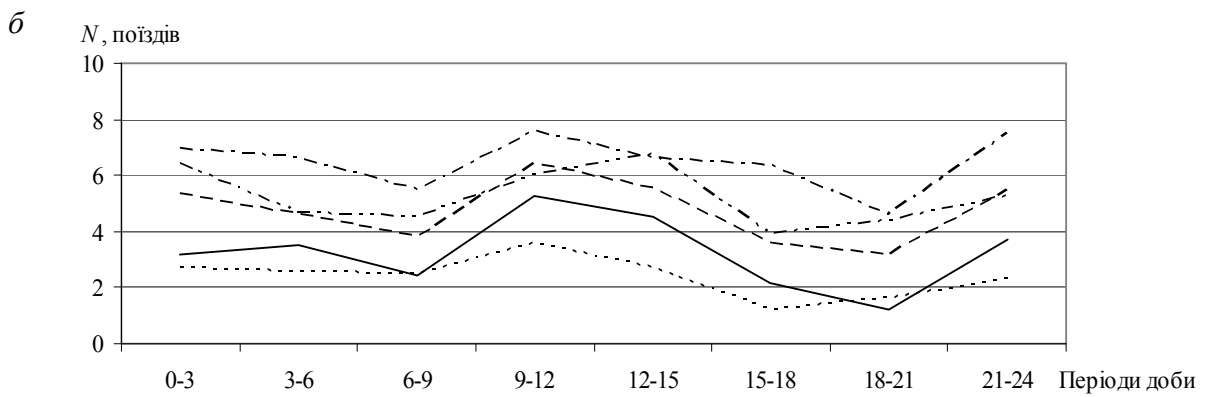
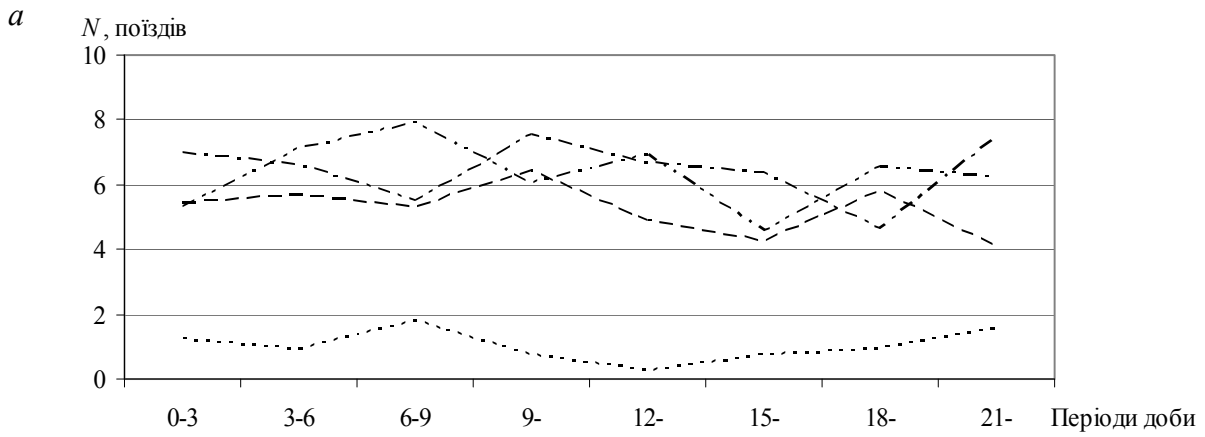


Рис. В.2. Графіки інтенсивності відправлення поїздів різних категорій залежно від періоду доби: *a* – транзитних поїздів; *б* – поїздів свого формування; *в* – поїздів у розформування

**Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини  
тривалості простою поїздів різних категорій у парках сортувальних станцій**

Станція	Категорія поїзда	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , 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
Нижньодніпрівськ–Вузол	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
Ясинувата	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.

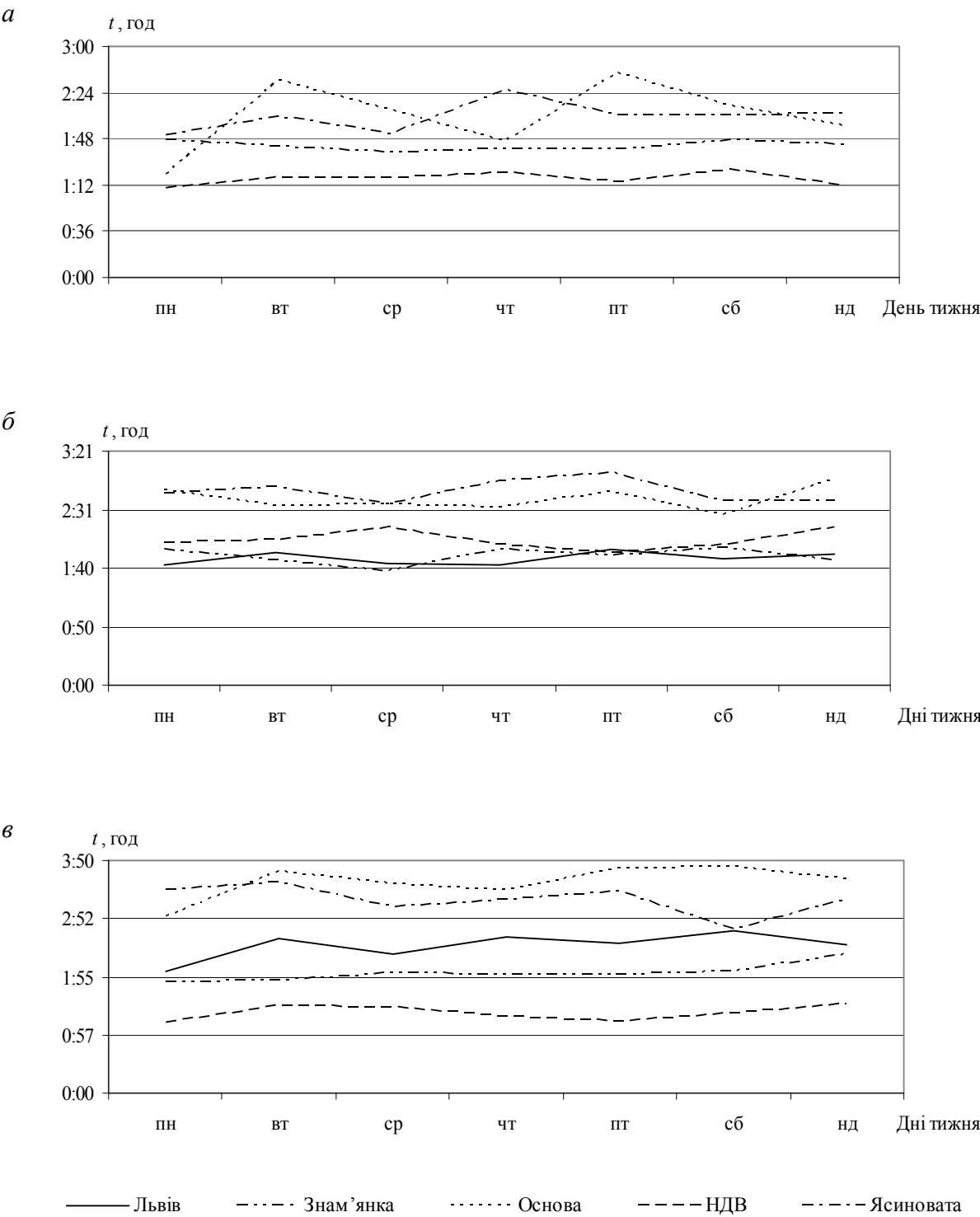


Рис. В.3. Графіки тривалості простою поїздів різних категорій залежно від дня тижня: *a* – транзитних поїздів; *б* – поїздів свого формування; *в* – поїздів у розформування

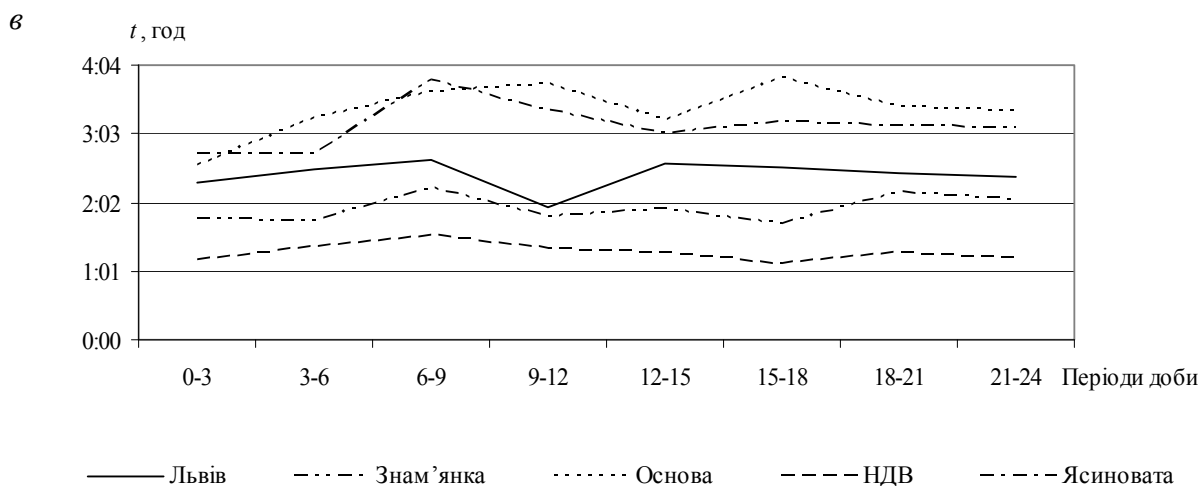
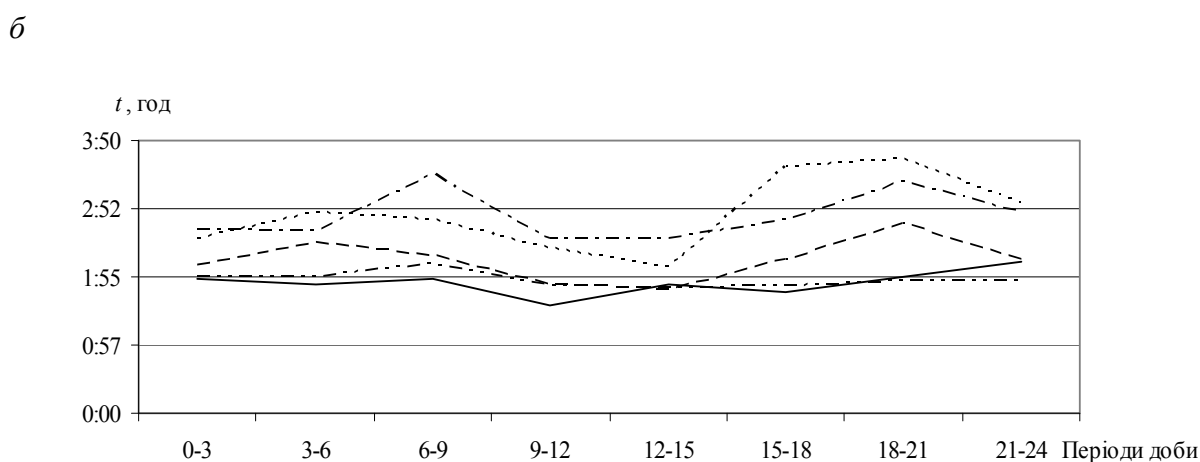
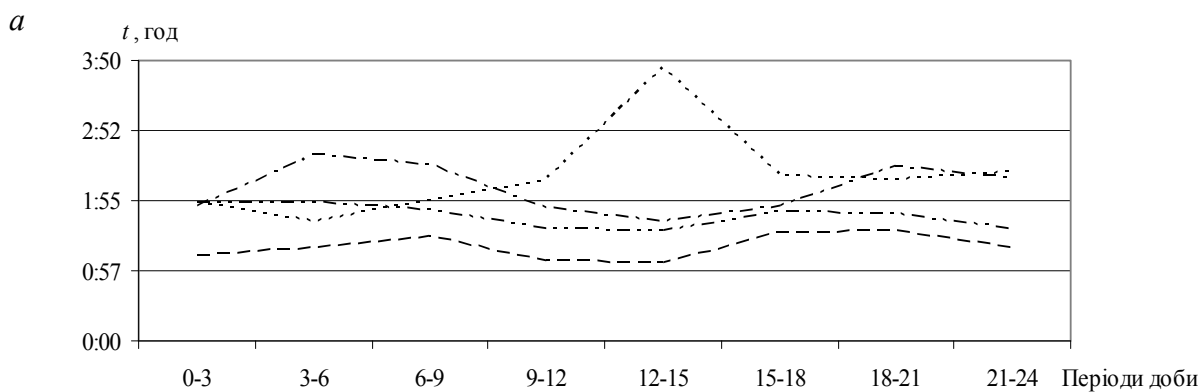


Рис. В.4. Графіки тривалості простою поїздів різних категорій залежно від періоду доби: *a* – транзитних поїздів; *б* – поїздів свого формування; *в* – поїздів у розформування



## В.2. Аналіз тривалості руху поїздів на дільницях напрямку

Для виконання 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. Зокрема, наведені залежності кількості відправлених поїздів залежно від періоду доби та дня тижня відправлення з технічної станції (рис. В.5, В.6).

У п. В.2 наведено параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях, зокрема мінімальні та максимальні значення даної величини (див. табл. В.3). На рис. В.7–В.10 наведено графіки тривалості руху вантажних поїздів залежно від періоду доби їх відправлення, дня тижня, маси поїзда, а також типу локомотива.

Таблиця В.3

### Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях

Дільниця	Місяць	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , 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
	вересень	1,25	0,33	0,80	2,50

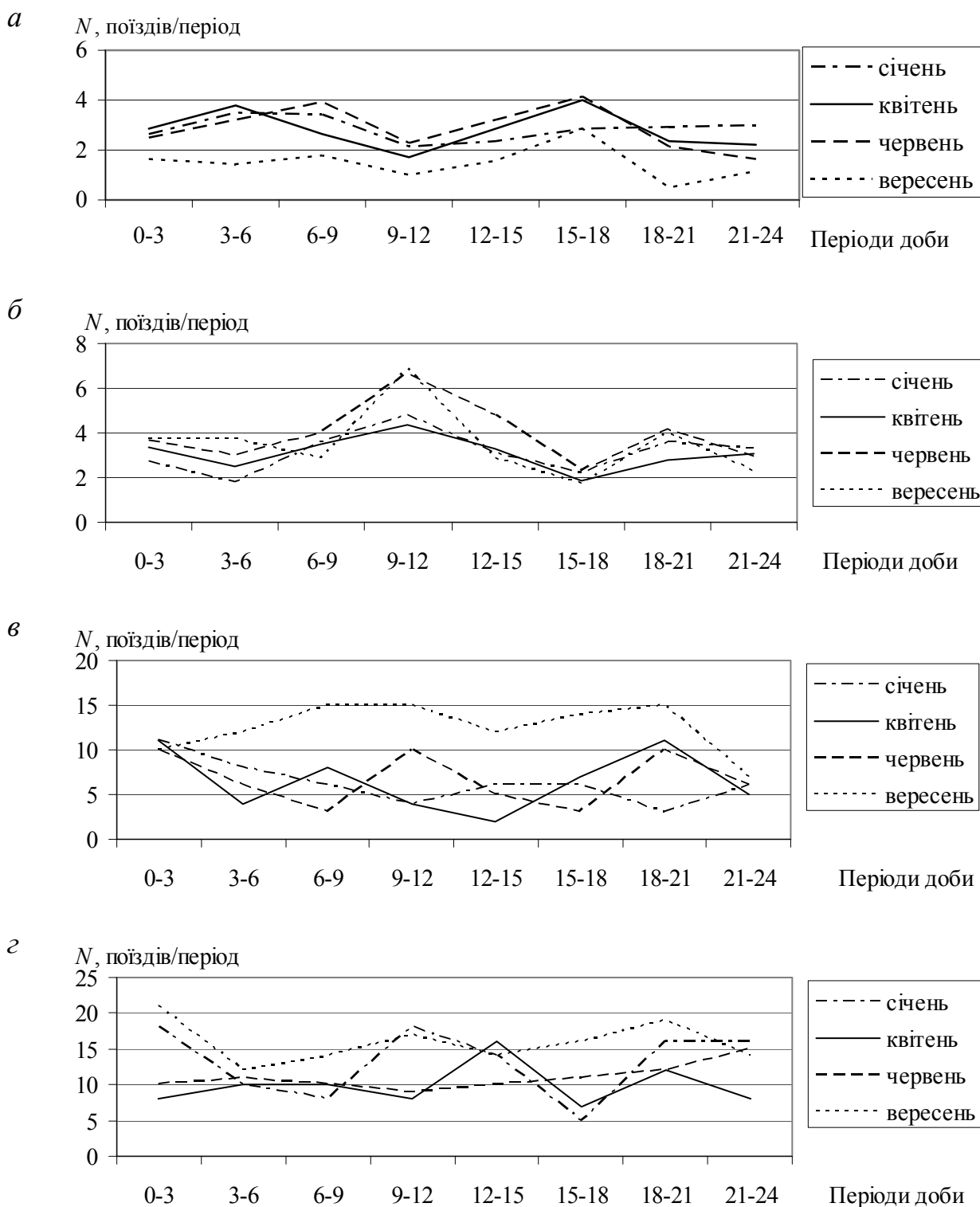


Рис. В.5. Графіки інтенсивності відправлення вантажних поїздів залежно від періоду доби їх відправлення на ділянках: *a* – П’ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол; *б* – Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки; *в* – Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол; *г* – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

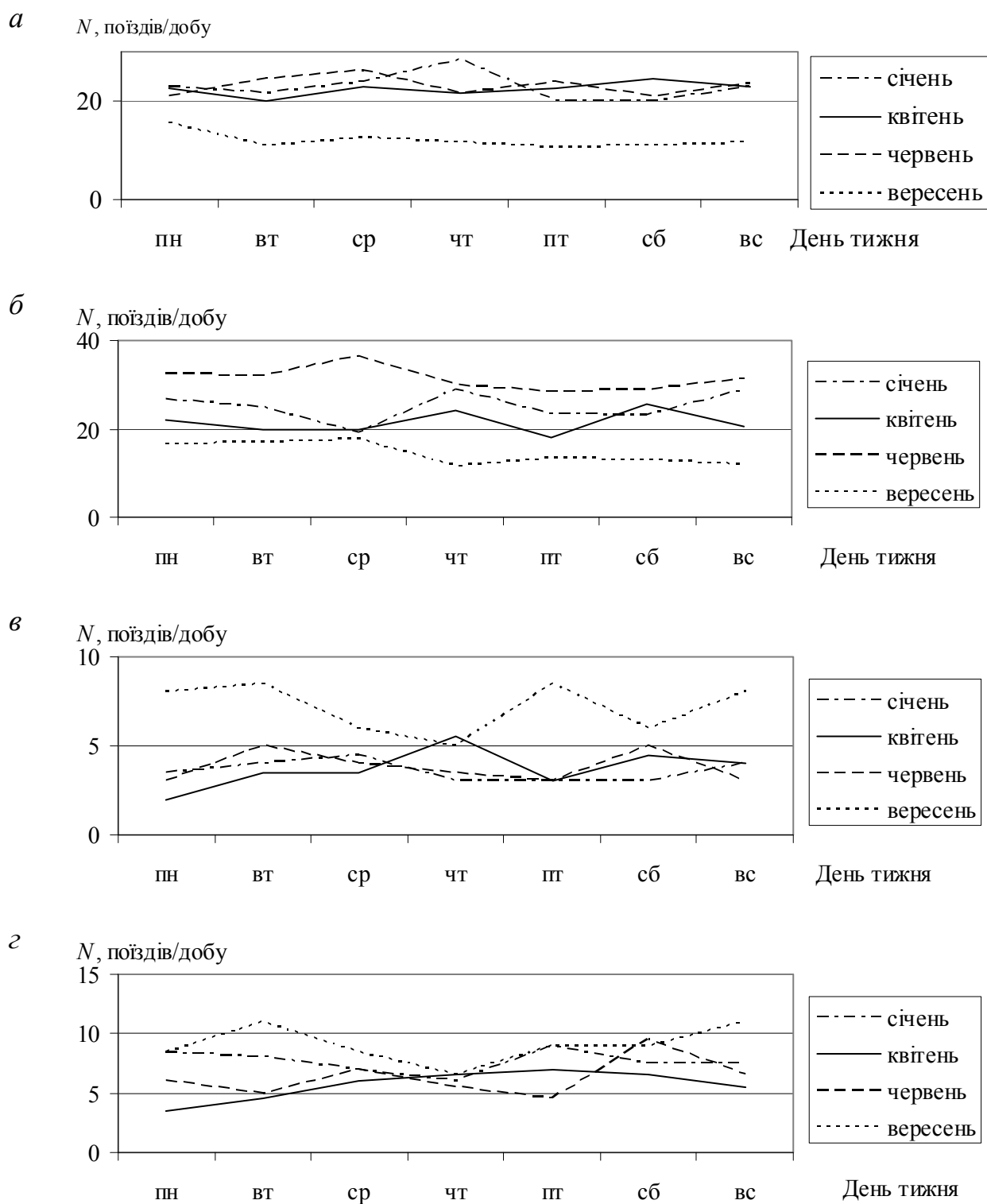


Рис. В.6. Графіки інтенсивності відправлення вантажних поїздів залежно від дня тижня їх відправлення на дільницях: *a* – П’ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол; *б* – Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки; *в* – Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол; *г* – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

**Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на дільницях залежно від періоду доби їх відправлення**

Дільниця	Місяць	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
Нижньодніпровськ– Вузол – П’ятихатки	0-3	3,32	0,56	2,27	5,50
	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

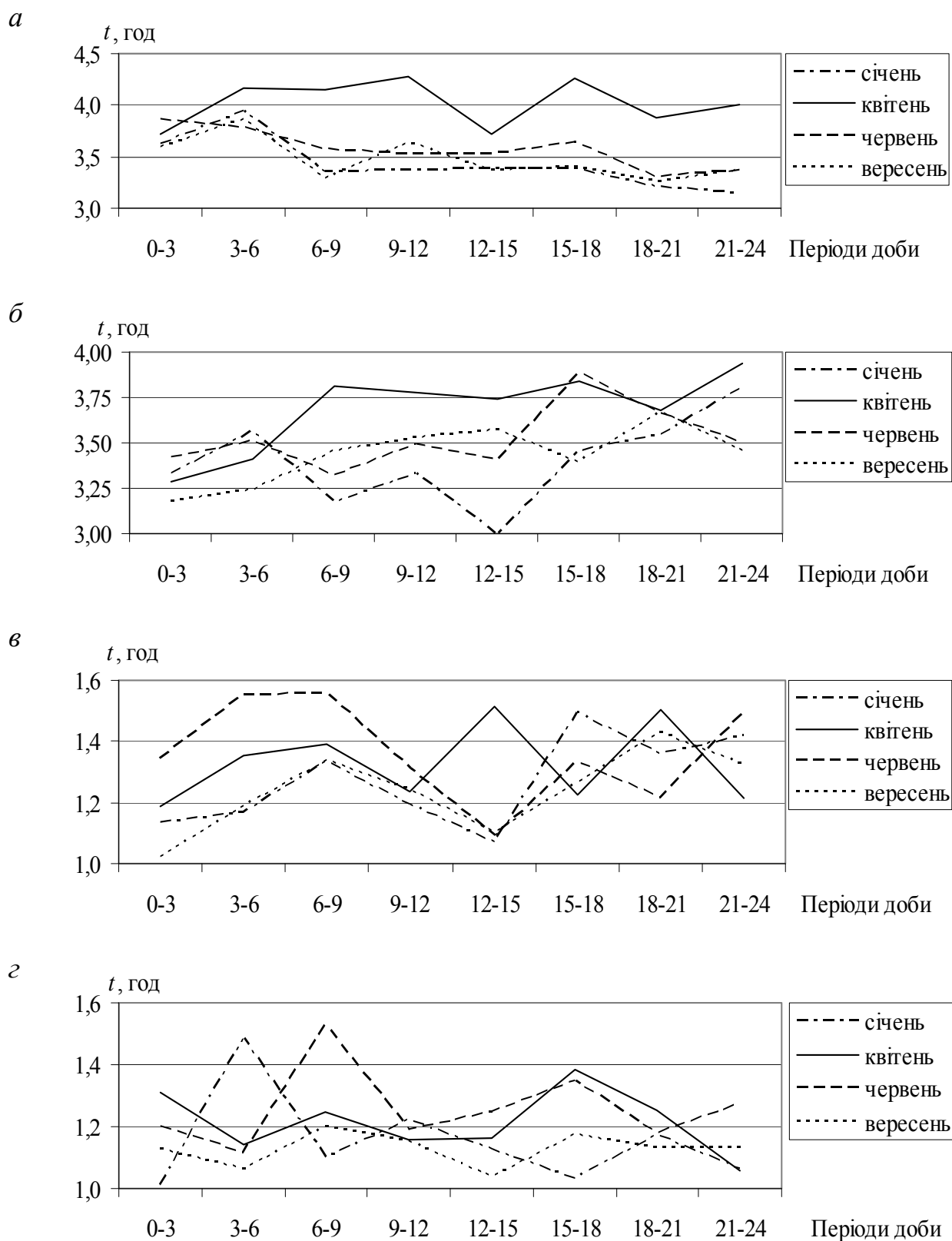


Рис. В.7. Графіки тривалості руху вантажних поїздів залежно від періоду доби їх відправлення на дільницях: *а* – П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол; *б* Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки; *в* – Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол; *г* – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

**Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на ділянках**

Дільниця	Місяць	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення ви- падкової ве- личини, 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

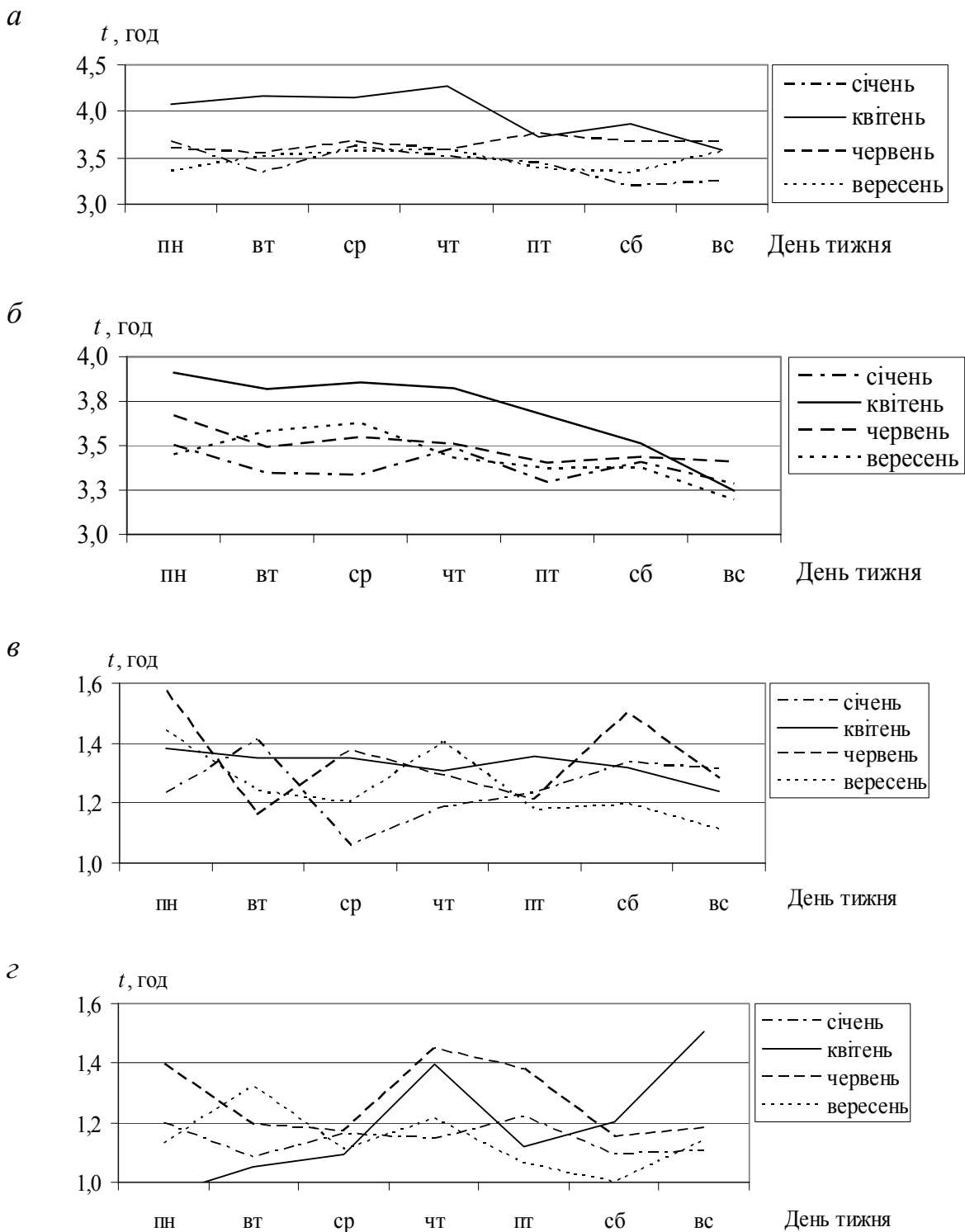


Рис. В.8. Графіки тривалості руху вантажних поїздів залежно від дня тижня їх відправлення на ділянках: *a* – П’ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол; *б* – Нижньодніпровськ–Вузол – П’ятихатки; *в* – Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол; *г* – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів на ділянках залежно від маси поїзда

Ділянка	Місяць	Інтервали маси	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год	Місяць	Інтервали маси	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		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	-	-	-	-	вересень	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
		0-1500	3,57	0,71	2,25	5,50		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
П'ятихатки— Нижньодніпровськ— Бузол	квітень	3000-3500	-	-	-	-	червень	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
		0-1500	3,37	0,54	2,58	4,42	червень	0-1500	3,68	0,83	2,08	5,83
	січень	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 табл. В.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ІІ'ятихатки — Нижньодніпровськ—Вузол	січень	3500-4000	3,35	0,56	2,60	4,38	червень	3500-4000	3,61	0,80	2,42	5,27
		4000-4500	3,89	0,97	3,08	5,25		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
	квітень	0-1500	3,94	0,73	2,50	5,42	вересень	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
Нижньодніпровськ—Вузол — Синельниківове-І	січень	0-1500	1,09	0,23	0,83	2,10	червень	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
		2500-3000	1,23	0,31	0,92	1,93		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
	квітень	3500-4000	1,09	0,24	0,78	1,70	вересень	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	-	-	-	-
		0-1500	3,94	0,73	2,50	5,42		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
		5500-6500	4,36	1,21	2,67	6,58		5500-6500	1,17	-	1,17	1,17

Продовження табл. В.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол	січень	0-1500	1,46	0,50	0,92	2,18	червень	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
	квітень	5000-5500	-	-	-	-	вересень	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
		3500-4000	1,49	0,34	1,25	2,10		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

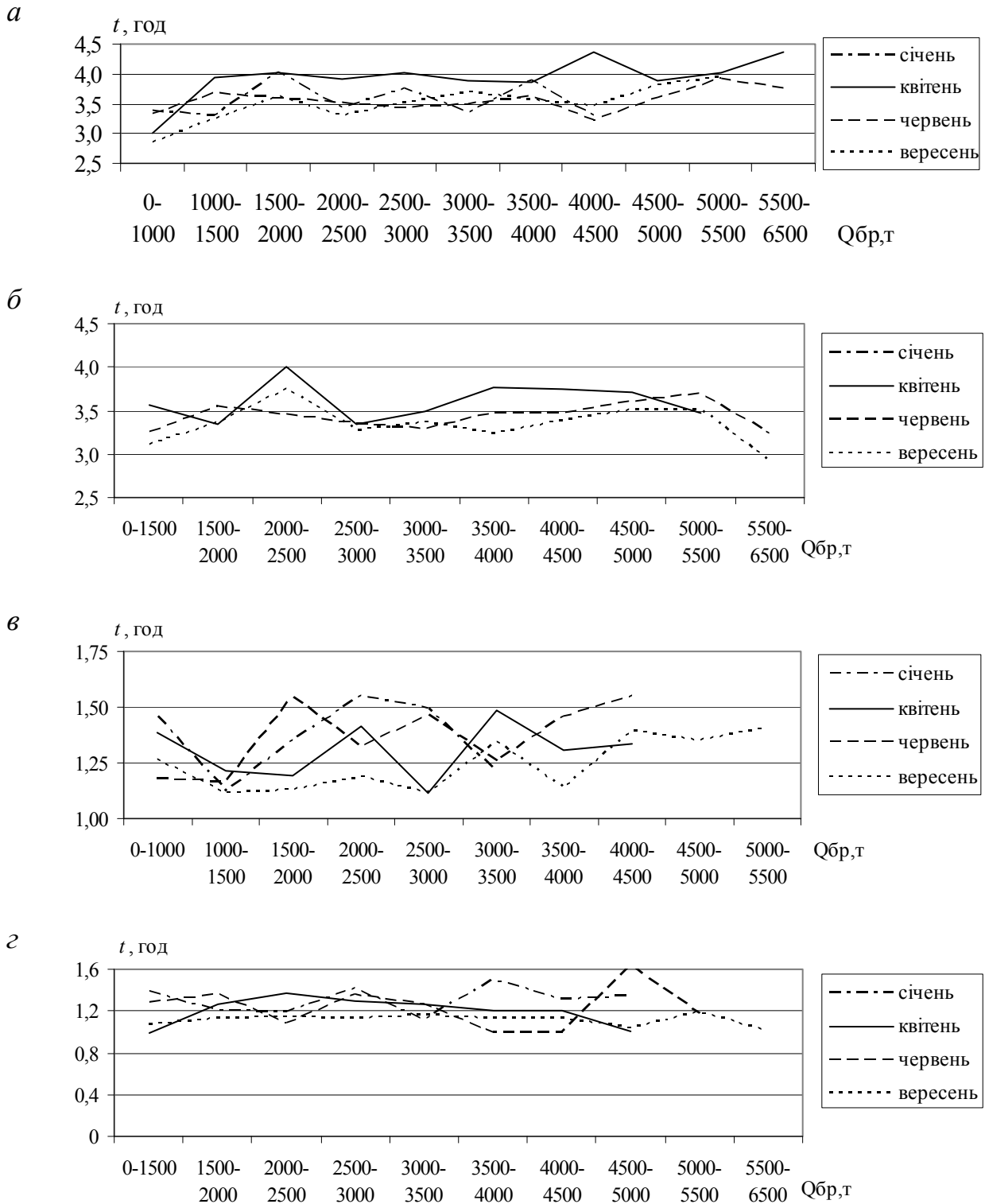


Рис. В.9. Графіки тривалості руху вантажних поїздів залежно від маси поїзда на ділянках: *a* – П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол; *б* – Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки; *в* – Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол; *г* – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

Таблиця В.7

**Параметри логарифмічно-нормального розподілу випадкової величини  
тривалості руху поїздів на дільницях залежно від типу локомотива**

Дільниця	Місяць	Тип локомотива	Математичне сподівання $M[t]$ , год	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , год	Мінімальне значення випадкової величини, год	Максимальне значення випадкової величини, 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
Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І	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
	червень	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
		ДЭ1	1,08	0,14	1,00	1,25

Продовження табл. В.7

1	2	3	4	5	6	7
	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
Синельникове-I – 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

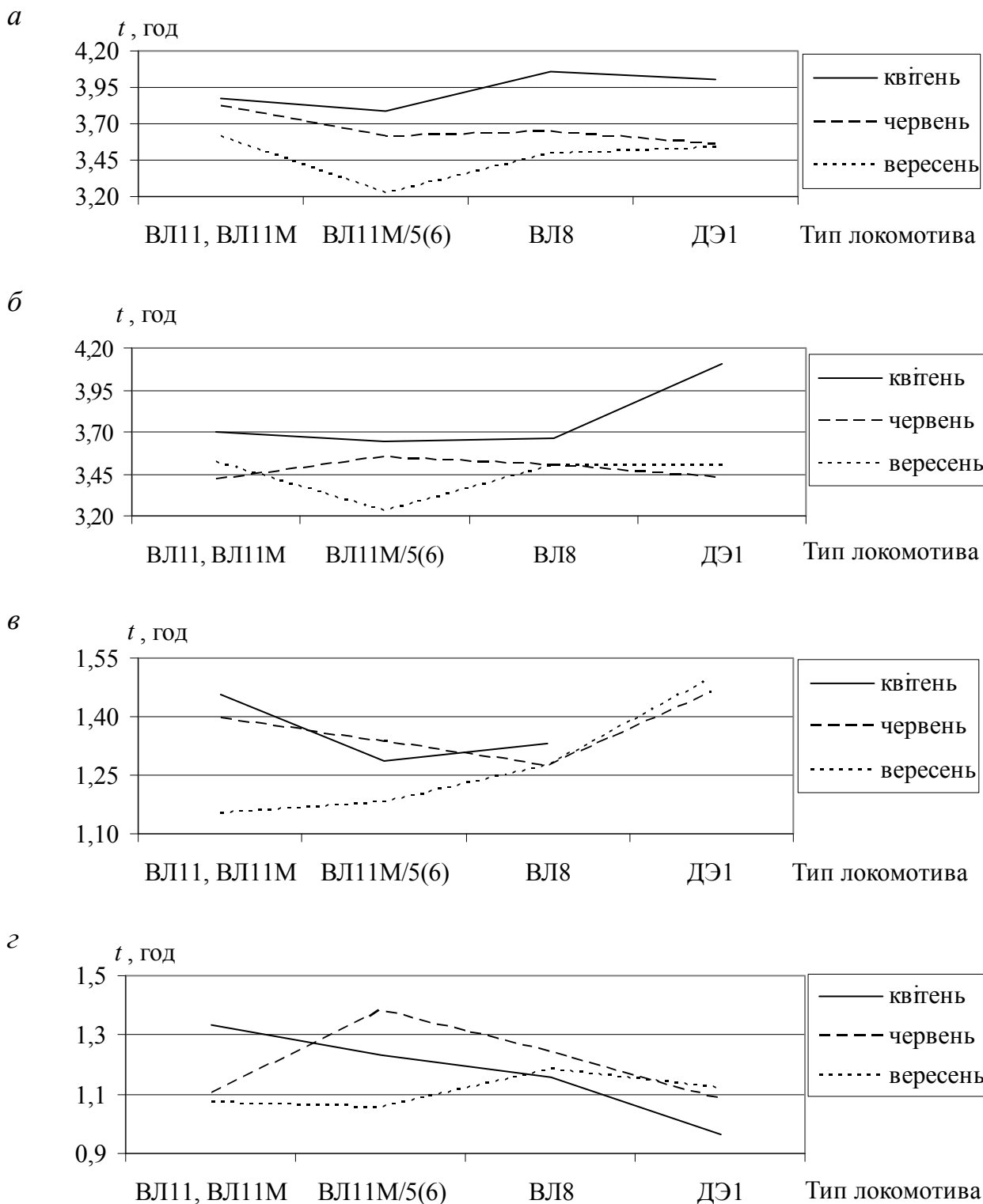
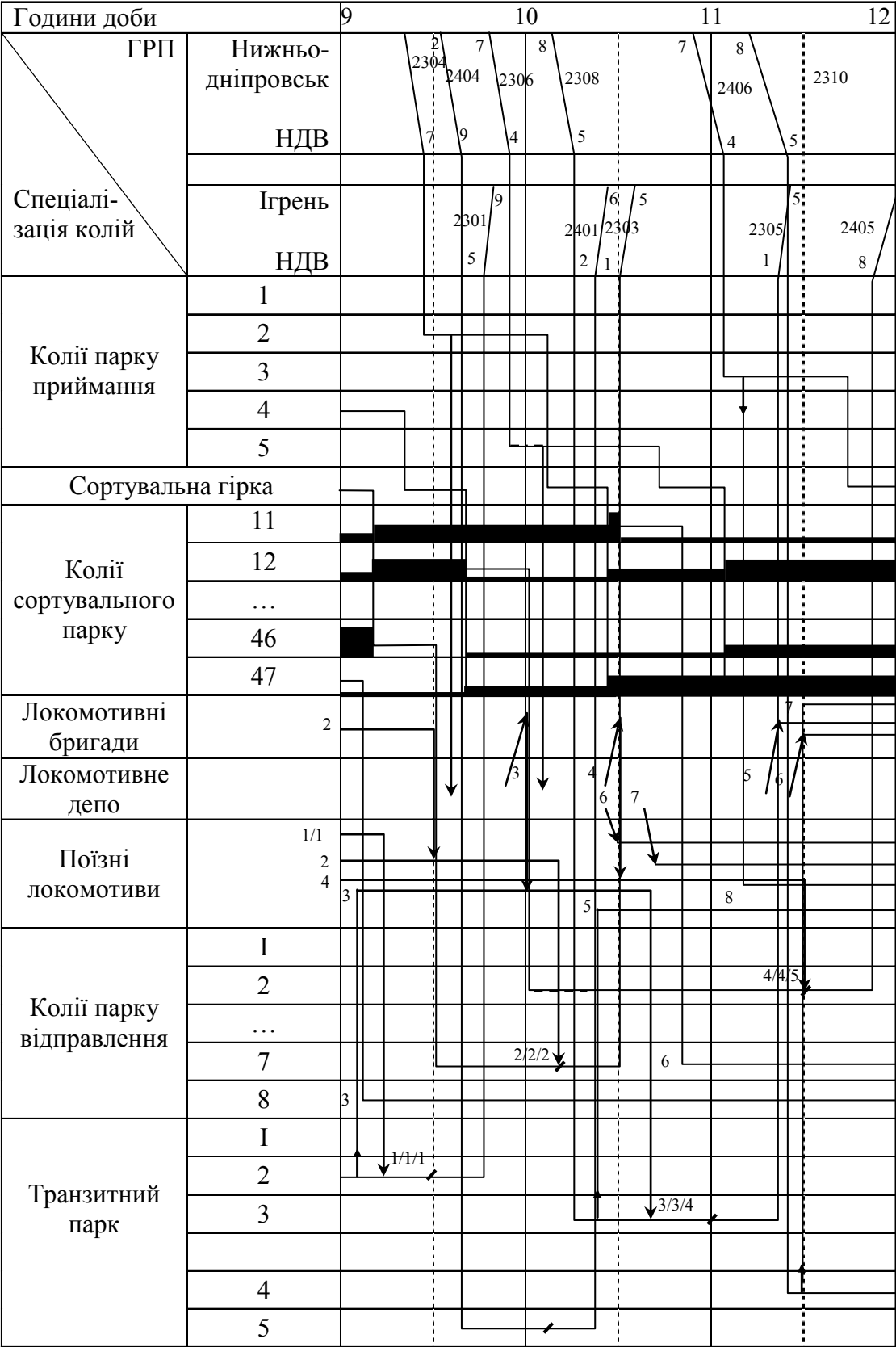


Рис. В.10. Графіки тривалості руху вантажних поїздів залежно від типу локомотива на дільницях: *а* – П'ятихатки – Нижньодніпровськ–Вузол; *б* – Нижньодніпровськ–Вузол – П'ятихатки; *в* – Синельникове-І – Нижньодніпровськ–Вузол; *г* – Нижньодніпровськ–Вузол – Синельникове-І

# ДОДАТОК Г

## Графік роботи станції



## ДОДАТОК Д

### Періодичність та тривалість планових ремонтів та технічного обслуговування вантажних електровозів

Систему планово-запобіжного ремонту й технічного обслуговування тягового рухомого складу становить:

1. Технічне обслуговування ТО-1, ТО-2, ТО-3, поточний ремонт ПР-1 – для запобігання появі несправностей ТРС в експлуатації, підтримання його в працездатному й 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, у поточний ремонт до інших депо своєї чи інших заліниць, 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 відпрацювало свій ресурс, на нове.

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 всіх агрегатів, вузлів і деталей, включаючи базові, повної заміни кабельнопровідникової продукції та обладнання з виробленим моторесурсом відповідно до технічних умов.

У табл. Д.1 та Д.2 для вантажних електровозів наведено середні норми міжремонтних періодів та середні норми простоїв на технічному обслуговуванні та поточному ремонті відповідно.

Таблиця Д.1

Середні норми міжремонтних періодів для вантажних електровозів

Вид та серія електровоза	Технічне обслуговування			Поточні ремонти			Капітальні ремонти	
	ТО-2 (год)		ТО-3 <sup>1</sup> (тис.км)	ПР-1 <sup>1</sup> (тис.км)	ПР-2 <sup>2</sup> (тис.км)	ПР-3 <sup>2</sup> (тис.км)	КР-1 <sup>3</sup> (тис.км)	КР-2 <sup>3</sup> (тис.км)
	депо Нижньодніпровськ– Вузол	депо Синельникове-І та Пятихатки						
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 Д.2

**Середні норми простоїв на технічному обслуговуванні та поточному ремонті  
(з урахуванням очікування та поетапного продовження терміну служби)**

Вид та серія елек- тровоза	Технічне обслуговування				Поточні ремонти		
	ТО-2 (год)			ТО-3 (год)	ПР-1 (год)	ПР-2 (діб)	ПР-3 (діб)
	Нижнь- одніп- ровськ- Вузол	Синельни- кове-І	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 слід збільшувати на час, необхідний для технічного обслуговування ТО-4, з розрахунку обточування однієї колісної пари, згідно з табл. Д.3.

Таблиця Д.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 Е

### Норми перебування локомотивів на станційних коліях залежно від необхідності заходу в локомотивне депо станції Нижньодніпровськ–Вузол

Таблиця Е.1

#### Тривалість операцій з прибуття поїзда, включаючи тривалість руху до контрольного пункту локомотивного депо

У який парк прибув локомотив, з якої станції	$t_{\text{приб}}^{\text{оп}}$ , хв	
	У випадку прибуття з поїздом	У випадку прибуття резервом
У парк “Г” зі ст. Ігренє та ст. Самарівка	18	14
У парк “Г” зі ст. Ігренє	27	24
У парк “Л” зі ст. Самарівка	28	25
У парк “З” із ст. Нижньодніпровськ, зі ст. Дніпропетровськ–Південний	20	15
У парк “Є” із ст. Нижньодніпровськ та зі ст. Дніпропетровськ–Південний	31	28

Тривалість руху від контрольного пункту локомотивного депо до колій парків станції  $t_{\text{руху}}^{\text{КП}}$  :

- із парку “Г” 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 – 17 хв;
- із парку “Є” на ст. Ігренє, на ст. Самарівка – 18 хв.

Таблиця Е.2

#### Тривалість перебування локомотивів на станційних коліях з моменту прибуття з поїздом до відправлення без заходу в депо

Парк прибуття	Парк відправлення			
	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 “Г”, “Є”, “Л” відбувається зміна локомотивних бригад.

ДОДАТОК Ж

Норми витрат робочого часу локомотивних бригад в основному та оборотних депо

Дільниці	В основному депо					Перебування локомотивних бригад на станційних коліях оборотного депо
	Від явки до початку приймання локомотива	Від початку приймання локомотива до проходження контрольного посту	Від проходження контрольного посту до відправлення поїзда	Від моменту прибуття до проходження контрольного посту	Від проходження контрольного посту до завершення здачі локомотива	
Нижньодніпровськ-Вузол – П’ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол	0,4	0,3	0,8	0,8	0,3	0,9
Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол						0,8

## ДЛЯ НОТАТОК

**ДЛЯ НОТАТОК**

Наукове видання

**Козаченко Дмитро Миколайович**  
**Вернигора Роман Віталійович**  
**Єльнікова Лідія Олегівна**  
**Березовий Микола Іванович**

**Підвищення ефективності  
оперативного керування  
локомотивним парком  
залізниць України**

МОНОГРАФІЯ

Редактор *О.О. Котова*  
Комп'ютерна верстка авторів

Формат 60x84 1/16 . Ум. друк. арк. 10,2. Тираж 300 пр. Зам. № 27/017

Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.  
Адреса : вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна.

Віддруковано  
Видавництво «Герда», 49000, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 60  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК №397 від 03.04.2001 р.

ISBN 978-617-7097-82-1