

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

**ЄЛЬНІКОВА ЛІДІЯ ОЛЕГІВНА**



УДК 656.212.5(23.01)

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,  
**Вернигора Роман Віталійович**,  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
декан факультету «Управління процесами перевезень»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Лаврухін Олександр Валерійович**,  
Український державний університет залізничного  
транспорту, завідувач кафедри «Управління вантажною  
та комерційною роботою»

кандидат технічних наук  
**Зіненко Ольга Леонідівна**,  
заступник начальника Управління статистики  
Публічного акціонерного товариства  
«Українська залізниця»

Захист відбудеться «27» травня 2016 р. об 11<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий «21» квітня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
д.т.н., професор



Жуковицький І. В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

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

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

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

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є зменшення витрат, пов'язаних з непродуктивним простоєм вантажних локомотивів, локомотивних бригад, складів поїздів на технічних станціях за рахунок удосконалення системи планування роботи локомотивного парку на залізничних напрямках. Поставлена

мета досягається в результаті вирішення наступних завдань:

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

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

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

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

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

- вперше задачу розроблення оперативного плану роботи локомотивного парку на залізничному напрямку формалізовано та вирішено як багатокритеріальну задачу про призначення, що дозволяє врахувати множину критеріїв ефективності та можливих обмежень при закріпленні локомотивних бригад за локомотивами та складами вантажних поїздів;
- удосконалена методика прогнозування тривалості руху вантажних поїздів на залізничних напрямках на основі використання апарату штучних нейронних мереж, що дає можливість з достатньо високою точністю визначати моменти прибуття поїздів на технічні станції з урахуванням параметрів поїздів, а також дати та

часу їх відправлення з сусідніх технічних станцій;

– удосконалено імітаційну модель функціонування технічної станції за рахунок розроблення моделі локомотивного депо, що дає можливість отримувати прогнози моменти готовності локомотивів та локомотивних бригад до відправлення з поїздами;

– удосконалено процедуру планування роботи локомотивних бригад за рахунок підвищення точності прогнозного плану відправлення поїздів, що дозволяє мінімізувати тривалість очікування бригадами відправлення з технічних станцій.

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

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

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Стаття [4] опублікована без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: в статті [1] автором проаналізовано тривалість очікування поїзного локомотива складами вантажних поїздів; у статті [2] виконані дослідження щодо виявлення зв'язку між інтенсивністю відправлення поїздів з технічних станцій та тривалістю їх руху на дільницях; у статті [3] проаналізована можливість використання апарату штучних нейронних мереж при прогнозуванні роботи залізничного транспорту; у статті [5] автором виконані дослідження щодо вибору типу та структури нейронної мережі для прогнозування тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями; у статті [6] розроблена структура прогнозованої моделі поїзної роботи залізничного напрямку; у статті [7] розроблена методика складання оперативних планів роботи локомотивного парку з використанням багатокритеріальної задачі про призначення; у статті [8] проаналізовано існуючі методи оперативного планування роботи локомотивного парку, визначено недоліки та запропоновано шляхи удосконалення роботи локомотивів та бригад; у статті [9] виконано дослідження тривалості затримок поїздів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 6-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми безпеки на транспорті» (Гомель, БелГУТ, 2012); на 2-й, 3-й та 4-й міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективи взаємодії залізничного транспорту та промислових підприємств» (Кострина, Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2013, 2014, 2015 рр.); на 73-й, 74-й та 75-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2013, 2014, 2015 рр.); на міжнародній науково-

практичній конференції «Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ 2014 р.); на 7-й міжнародній науково-практичній конференції «Електрифікація транспорту «ТРАНСЕЛЕКТРО –2014»: (Одеса - Дніпропетровськ, 2014 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ 2014 р.); на 77-й міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 2015). У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (грудень, 2015 р.).

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

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

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та задачі досліджень, основні положення, що захищаються автором, наведено дані про практичне використання результатів дисертації.

**У першому розділі** виконано всебічний аналіз сучасного стану проблеми удосконалення роботи локомотивного парку та сформульовані задачі дослідження.

В даний час залізниці України знаходяться на етапі реформування. При цьому, серед стратегічних цілей цього процесу є перехід від технолого-адміністративної до технолого-економічної моделі управління залізничним транспортом та збільшення питомої ваги залізничних перевезень. Досягнення поставлених цілей передбачає підвищення конкурентоздатності залізниць на ринку транспортних послуг, в т.ч. за рахунок покращення якості транспортного сервісу та гнучкої тарифної політики. Якість транспортних послуг значною мірою визначається таким показником як термін доставки вантажів, скорочення якого є наразі актуальним завданням, що стоїть перед українськими залізницями. В свою чергу, термін доставки вантажів тісно пов'язаний з обігом вагону, що є одним з основних експлуатаційних показників роботи залізниць. Величина обігу вантажного вагону значною мірою визначає ефективність організації перевізного процесу в цілому, і відповідно впливає на собівартість вантажних перевезень. Разом з тим величина обігу вагона суттєво залежить від ефективності використання тягових ресурсів.

Значний внесок в розробку питань щодо удосконалення організації роботи локомотивів та локомотивних бригад внесли вчені Апатцев В.І., Бархатний В. Д.,

Бутько Т.В., Жуковицький І.В., Земблінюв М.В., Зіненко О.Л., Кисельов К.С., Ковальов Н.В., Крюков В.Д., Крючкова С.В., Лаврухін О.В., Муха Ю.О., Некрашевич В.І., Нестеренко С.І., Сальченко В.Л., Скалозуб В.В. та інші. Цими науковцями були розроблені методи планування експлуатаційного парку локомотивів та штату локомотивних бригад на місяць та рік на основі звітів за попередні роки, а також з урахуванням рівномірного завантаження локомотивних депо полігона залізниць. Авторами також запропоновано різні методи оперативного планування роботи локомотивних бригад: на основі відомостей за попередні періоди, на основі запланованих обсягів перевезення, на основі критеріїв найменшого простою в оборотних депо тощо.

Однак, наразі нормативна база наукових робіт, виконаних у період планової економіки, втратила свою актуальність, оскільки в останні роки суттєво змінилися умови роботи залізничного транспорту, а саме – змінилась модель управління залізницею, з'явився парк приватних вагонів, збільшилась конкуренція зі сторони інших видів транспорту, впроваджуються сучасні пристрої системи глобального позиціонування GPS тощо.

У період 2000-2014 р.р. парк вантажних локомотивів постійно скорочувався: парк електровозів зменшився на 4,3%, парк тепловозів – на 21,5%. Суттєвою проблемою є наразі також значний рівень зношеності локомотивного парку України: зношеність парку електровозів при нормативному терміні служби 30 років складає 90,3%, зношеність парку магістральних тепловозів при нормативному терміні служби 20 років – 99%. Враховуючи вкрай низькі темпи оновлення тягового рухомого складу, в останній час все гостріше постає питання ефективного використання наявного парку локомотивів.

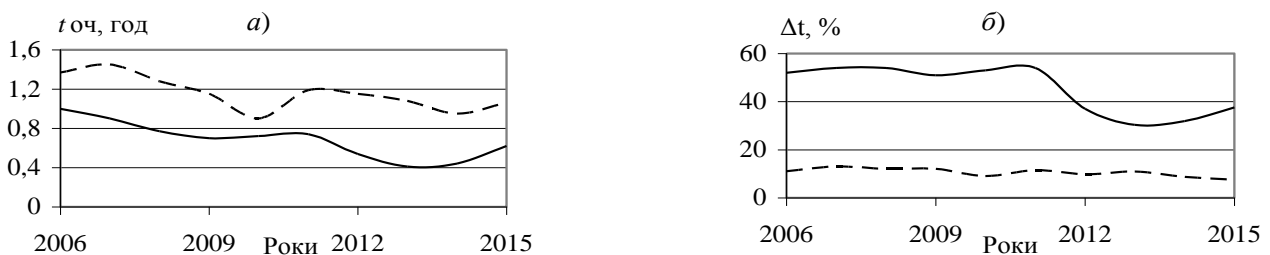
У зв'язку в цим задача удосконалення системи планування роботи локомотивів та локомотивних бригад залишається актуальною і потребує адаптації до сучасних ринкових умов та моделі управління залізничним транспортом. Відповідно до мети дослідження – зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з непродуктивним простоєм локомотивів, локомотивних бригад, составів поїздів на технічних станціях за рахунок удосконалення роботи локомотивного парку на залізничних напрямках - були сформульовані основні задачі дисертаційної роботи та обрано методи їх вирішення. При цьому, дослідження, пов'язані з вирішенням поставленої задачі, а також апробація отриманих результатів, виконані для залізничного напрямку П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол – Синельникове-І.

**У другому розділі** проаналізовано сучасні умови функціонування парку вантажних локомотивів та виконано дослідження процесу руху вантажних поїздів між технічними станціями.

В даний час технологія управління локомотивним парком в Україні регламентується рядом нормативних документів, згідно яких оперативне планування поїзної і вантажної роботи передбачає розроблення добових і змінних планів роботи Укрзалізниці, залізниць, дирекцій залізничних перевезень і станцій. Розрахунок необхідного числа локомотивних бригад та планування їх роботи виконується відповідальним працівником вручну на основі даних про кількість поїздів, що будуть передані та прийняті по стиках дирекцій та залізниць з урахуванням обсягів

місцевої роботи. При цьому оперативне планування роботи вантажних локомотивів за такою технологією часто призводить до випадків непродуктивного простою на технічних станціях як локомотивів, так і готових до відправлення составів.

Аналіз роботи основних сортувальних станцій України показав, що середній простій составів в очікуванні подачі поїзних локомотивів у більшості випадків перевищує 1,5 години, а в окремих випадках досягає трьох і більше годин, що свідчить про недосить ефективну систему забезпечення составів локомотивами. При цьому, 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 (рис. 1).



— транзитний вагон без переробки — — — транзитний вагон з переробкою

Рисунок 1 - Динаміка зміни середньої тривалості очікування поїзного локомотива составами на станції Нижньодніпровськ-Вузол протягом 2006-2015 рр.:

а) в абсолютних значеннях; б) у відносних значеннях

Слід зазначити, що нерідко трапляються випадки очікування составами локомотивних бригад або понаднормативний простій бригад в очікуванні составів та локомотивів. Частка випадків очікування локомотивом з бригадою готовності состава складає 6,6% від загальної кількості відправлених поїздів зі станції, водночас, частка очікування составами локомотивів з бригадами – близько 60%.

Таким чином, наразі основними недоліками в роботі локомотивного парку є:

– поступове зменшення парку справних локомотивів протягом останніх років, а також значний ступінь зношеності тягового рухомого складу.

– недосконала система оперативного планування роботи локомотивного парку, що призводить до виникнення непродуктивних простоїв в очікуванні подачі поїзних локомотивів, нераціонального використання робочого часу локомотивних бригад, а також збільшення кількості відмін та додаткових викликів бригад.

Оскільки оновлення парку локомотивів потребує значних капітальних вкладень, то найбільш дієвим методом підвищення ефективності його роботи є удосконалення системи оперативного планування роботи наявного локомотивного парку за рахунок впровадження сучасної автоматизованої системи керування (АСК). Основою такої АСК повинні бути ефективні математичні моделі та методи.

Для ефективного планування роботи локомотивного парку, необхідно, насамперед, мати достовірний прогноз про моменти прибуття вантажних поїздів, а також прогнозну кількість поїздів, що будуть відправлені з технічної станції. Відомо, що кількість відправлених поїздів коливається протягом тижня, місяця тощо. У зв'язку з цим на основі результатів статистичної обробки даних АСК ВП УЗ-Є про рух поїздів на залізничному напрямку П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол



– Синельникове-І було встановлена наявність взаємозв'язку між кількістю відправлених поїздів і днем тижня та періодом доби відправлення з технічних станцій напрямку, а також визначено параметри випадкової величини тривалості руху вантажних поїздів на ділянках між технічними станціями.

Встановлено, що в залежності від періоду доби відправляється різна кількість вантажних поїздів (див. рис. 2, а); коливання кількості відправлених поїздів з технічних станцій спостерігається також і протягом тижня (див. рис. 2, б).

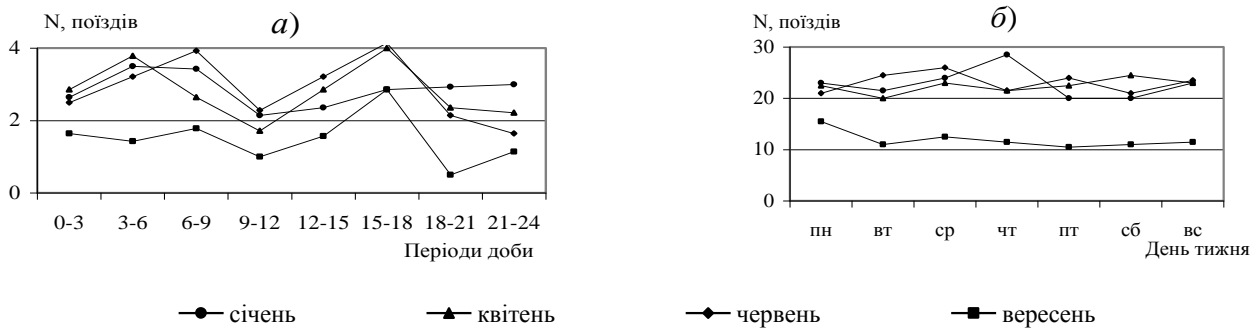


Рисунок 2 – Кількість відправлених поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від: а) періоду доби їх відправлення; б) дня тижня

Отримані результати можуть бути використані при плануванні штату локомотивних бригад протягом тижня та їх розподілу протягом доби.

Випадкові величини тривалості руху вантажних поїздів на дільницях вказаного залізничного напрямку мають логарифмічно-нормальний розподіл; при цьому, середній коефіцієнт кореляції між інтенсивністю відправлення поїздів та тривалістю їх руху на дільницях склав 0,73, що свідчить про наявність тісного зв'язку між ними.

Дослідження показали, що існує також певний зв'язок між тривалістю руху поїздів між технічними станціями та такими параметрами як дата відправлення (день тижня, місяць), період доби, маса поїзда та тип локомотива. Для прикладу, на рис. 3 наведено графіки тривалості руху поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол протягом різних місяців в залежності від періоду доби, дня тижня відправлення, а також маси вантажних поїздів та типу локомотива.

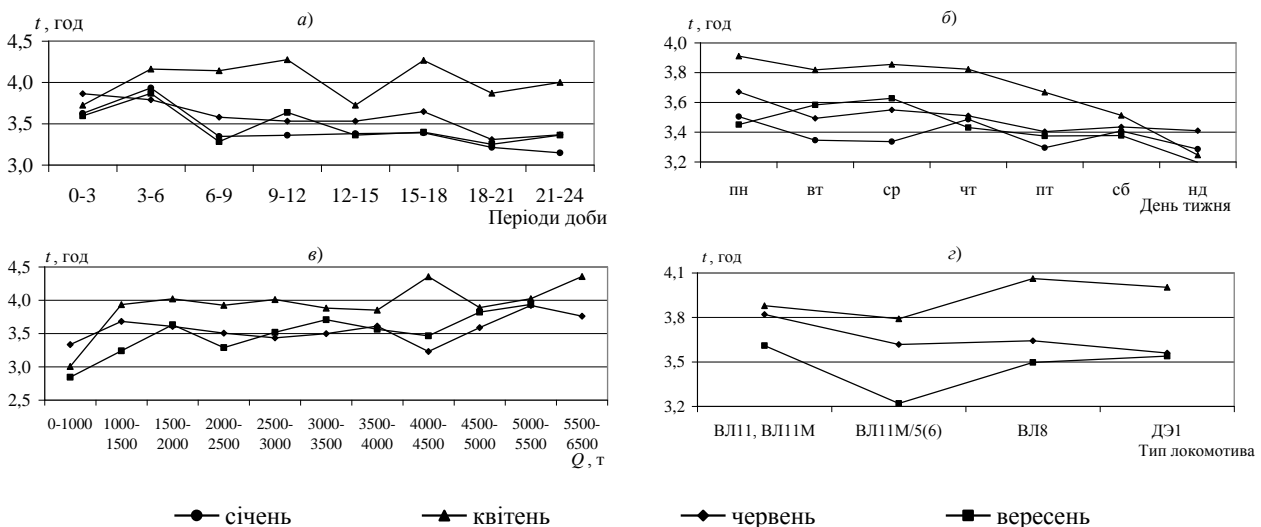


Рисунок 3 – Графіки зміни тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від : а) періоду доби їх відправлення; б) дня тижня; в) маси поїзда; з) типу локомотива

В подальшому результати цих досліджень використані для прогнозування тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку, а також при оперативному плануванні роботи локомотивного парку.

У **третьому розділі** розроблено структуру адаптивної математичної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку, удосконалено методику прогнозування прибуття поїздів на технічні станції, а також удосконалено імітаційну модель роботи технічної станції.

Основним завданням адаптивної математичної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку є розробка оперативних планів роботи локомотивів та бригад на основі прогнозних моментів їх готовності до поїзної роботи з урахуванням прогнозних моментів готовності составів вантажних поїздів до відправлення з технічних станцій. В свою чергу, розрахунок моментів готовності локомотивів, бригад та составів до відправлення неможливий без достовірного прогнозу прибуття вантажних поїздів. З цією метою в дисертації була удосконалена методику прогнозування прибуття поїздів на технічні станції.

Розроблена в дисертації адаптивна математична модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку включає блок формування вхідної інформації, прогнозну модель поїзної роботи залізничного напрямку та розрахунковий модуль (див. рис. 4). Прогнозна модель поїзної роботи залізничного напрямку складається з модуля прогнозу прибуття поїздів та імітаційної моделі технічної станції, що включає в себе модель локомотивного депо.



Рисунок 4 – Структура адаптивної моделі оперативного керування роботою локомотивного парку

Блок формування вхідної інформації містить фактичні дані про момент відправлення поїзда з суміжної технічної станції, відомості про категорію та склад пої-

зда, 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 визначення моментів прибуття поїздів на технічні станції напрямку на основі прогнозування величини тривалості руху поїздів між станціями.

Функціональна модель роботи технічної станції призначена для визначення моментів готовності составів різних категорій до відправлення (моментів готовності состава до причеплення локомотива та/або заміни бригади) на основі імітаційного моделювання відповідних операцій технологічного процесу.

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

Вихідні дані для модулю прогнозу прибуття поїздів отримуються з АСК ВП УЗ-Є (через блок формування вхідної інформації) в реальному режимі часу та можуть бути представлені наступною структурою:

$$N_u = \{I_u, K_u^b, K_u^n, T_u, Q_u, V_u, Z_u\}, u=1, \dots, N_d, \quad (1)$$

де  $I_u$  – індекс  $u$ -го поїзда;  $K_u^b, K_u^n$  – код станції відправлення та призначення поїзда, відповідно;  $T_u$  – вектор дати відправлення поїзда з сусідньої технічної станції, що включає відомості про час відправлення протягом доби, день тижня та місяць року;  $Q_u$  – маса поїзда брутто поїзда;  $V_u$  – вектор даних про вагони поїзда;  $Z_u$  – тип локомотива;  $N_d$  – кількість поїздів на дільниці.

Прогнозна модель є основою адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивного парку. Згідно виконаних раніше досліджень (див. рис. 3) визначені фактори та ступінь їх впливу на тривалість руху вантажних поїздів між технічними станціями напрямку (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Фактори та ступінь їх впливу на тривалість руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку

Фактори	Коефіцієнт кореляції	Ступінь зв'язку
Період доби відправлення	0,3	помірний
День тижня	0,38	помірний
Місяць відправлення	0,64	значний
Маса поїзда	0,25	слабкий
Тип локомотива	0,19	слабкий

Оскільки встановлені залежності між тривалістю руху поїздів та моментом їх відправлення, масою, а також типом локомотивів представити у вигляді регресійно-аналітичних виразів досить складно, то для врахування синергетичного впливу всіх факторів на тривалість руху поїздів при розробці модуля прогнозу прибуття поїздів на технічну станцію використано апарат штучних нейронних мереж.

Вказані параметри мають різні одиниці виміру та значне розходження між мінімальним та максимальним значенням (наприклад, маса поїзда), тому було прийнято рішення про кодування вхідного вектору фактичної інформації про поїзд у бінарному вигляді (див. рис. 5).



Рисунок 5 – Приклад кодування вхідного вектора фактичних даних про поїзд

Для визначення типу нейронної мережі, що є найбільш придатною для прогнозування тривалості руху поїздів, були виконані експерименти з рядом різних нейромереж прямого поширення та рекурентними мережами. При цьому, у якості навчальної вибірки використовувався масив даних з АСК ВП УЗ-Є про фактичну тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П’ятихатки за січень, квітень, червень та вересень 2014 року. У результаті експериментів з різними нейромережами було встановлено, що найменшу похибку отриманих результатів прогнозу забезпечує перцептрон. На основі серії експериментів з розмірністю вхідного вектора було визначено, що при величині вхідного вектора у 109 елементів, числі нейронів – 200 досягається достатній рівень точності розрахунків.

Отже, за рахунок використання апарату штучних нейронних мереж удосконалено метод прогнозування тривалості руху вантажних поїздів на залізничних напрямках. При цьому, алгоритм прогнозування зводиться до наступного: інформація про поїзд кодується та подається на вхід нейромережі у бінарному вигляді; результатом роботи нейромережі також є бінарний вихідний вектор, значення якого інтерпретується у значення тривалості руху поїзда, а потім на основі цього розраховується прогнозний час прибуття вантажного поїзда на технічну станцію.

Для оцінки адекватності розробленої моделі прогнозу був виконаний статистичний аналіз випадкових величин фактичної тривалості руху поїздів  $\mathbf{x}=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $n=100$  та таких, що отримані в результаті симуляції нейромережі  $\mathbf{y}=(y_1, y_2, \dots, y_m)$ ,  $m=100$ . На основі статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини  $X$  та  $Y$  підпорядковуються логарифмічно-нормальному закону розподілу з близькими значеннями параметрів. З використанням  $U$ -критерію Уїлкоксона була підтверджена гіпотеза про належність вказаних вибірок до однієї генеральної сукупності, на основі чого був зроблений висновок про адекватність розробленої методики прогнозу прибуття поїздів.

Для прогнозування тривалості виконання операцій з поїздами на технічних станціях по підготовці їх до відправлення було удосконалено імітаційну модель функціонування технічної станції, за рахунок доповнення її моделлю локомотивного депо (див. рис. б); ця модель включає модулі прогнозування роботи локомотивів та локомотивних бригад, основними задачами яких є відповідно розрахунок моментів готовності локомотивів та бригад до відправлення з поїздами.

При побудові імітаційної моделі сортувальна станція розглядалась як стохастична багатофазна багатоканальна система масового обслуговування (СМО), що складається з комплексу технологічних підсистем, кожна з яких також моделюється як СМО і представляє собою окремий універсальний імітаційний модуль: модулі парку прибуття, сортувального та відправлення.

Після розрахунку прогнозних моментів прибуття вантажних поїздів на технічну станцію на основі моделювання технологічного процесу обслуговування поїздів у парках технічної станції визначаються прогнозні моменти готовності поїздів до відправлення.

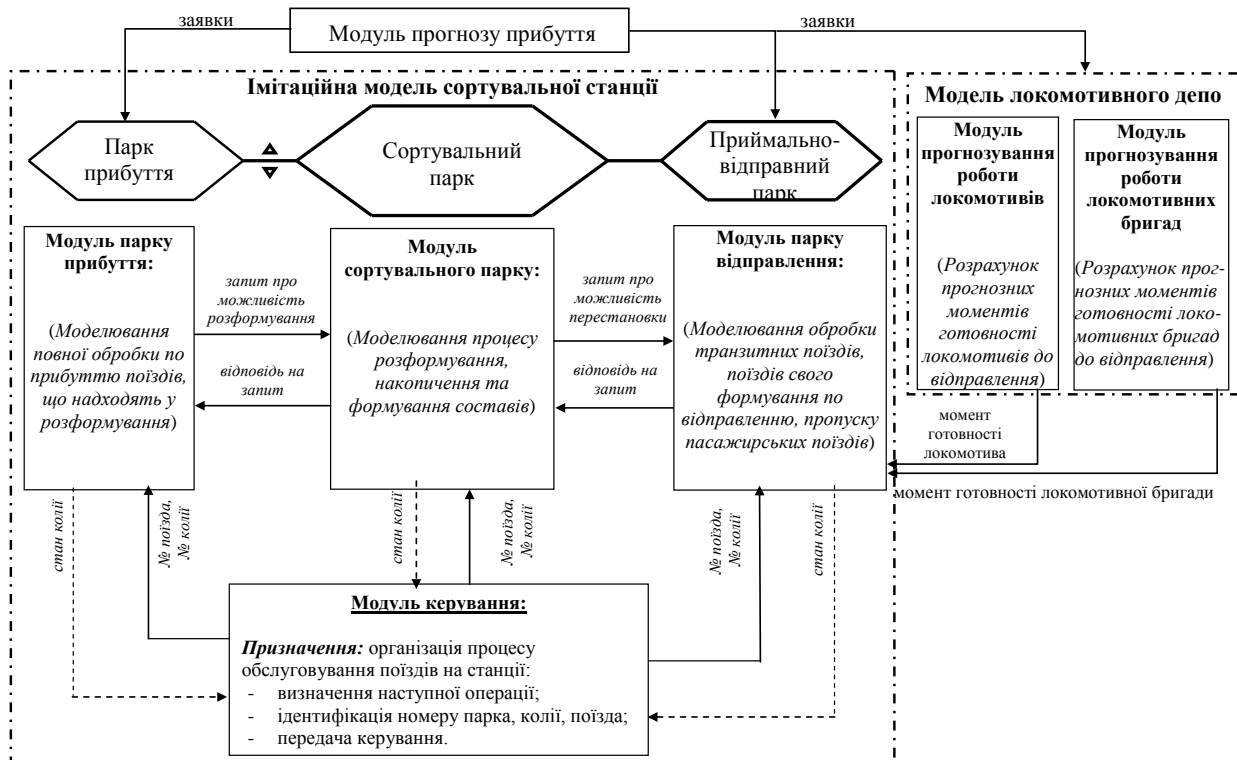


Рисунок 6 – Структура імітаційної моделі роботи сортувальної станції

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

$$L_j = \{Z_j, N_{Lj}, T_{\text{приб } j}, T_{\text{ТО } j}^{\text{поч}}, T_{\text{ТО } j}^{\text{зак}}\}, j=1, \dots, P, \quad (2)$$

де  $Z_j$  – тип локомотива;  $N_{Lj}$  – номер локомотива;  $T_{\text{приб } j}$  – прогнозний час прибуття локомотива на технічну станцію;  $T_{\text{ТО } j}^{\text{поч}}, T_{\text{ТО } j}^{\text{зак}}$  – моменти початку та закінчення технічного обслуговування або ремонту локомотива відповідно;  $P$  – кількість локомотивів, приписаних до депо.

Момент готовності локомотива до виконання поїзної роботи визначається в залежності від його поточного стану (в русі, в депо під ремонтом, в очікуванні виконання поїзної роботи) та необхідності проведення технічного обслуговування або ремонту, а також з урахуванням тривалості проведення робіт з локомотивом.

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

$$B_i = \{T_{Ni}, t_{\text{явки } i}, F_i\}, i=1, \dots, Y, \quad (3)$$

де  $T_{Ni}$  – табельний номер машиніста;  $t_{\text{явки } i}$  – час явки машиніста;  $F_i$  – прізвище машиніста;  $Y$  – загальна кількість бригад, що обслуговує залізничну дільницю.

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

Отже, прогнозна модель поїзної роботи залізничного напрямку на основі даних про відправлення поїздів з сусідніх технічних станцій, тривалості виконання технологічних операцій з поїздами в парках станцій, з урахуванням системи тягового обслуговування локомотивів, а також норм тривалості праці та відпочинку локомотивних бригад визначає прогнозні моменти готовності составів, локомоти-

вів та бригад до поїзної роботи на технічних станціях.

У четвертому розділі розроблено процедуру оперативного планування роботи вантажних локомотивів та локомотивних бригад, а також виконано оцінку її ефективності.

В дисертаційній роботі задачу розроблення оперативного плану роботи локомотивного парку на залізничному напрямку на 4-8 год. пропонується вирішувати, застосовуючи метод декомпозиції; при цьому, задача розв'язується послідовно в два етапи: на I-му етапі призначаються бригади на локомотиви з урахуванням проведення ТО-1, на II-му – локомотиви з бригадами призначаються для обслуговування составів, враховуючи час на виконання технологічних операцій, пов'язаних з відправленням вантажних поїздів з технічних станцій та очікування вільної нитки графіка руху.

На першому етапі розробки плану роботи локомотивного парку необхідно вирішити задачу оптимального призначення локомотивних бригад на поїзні локомотиви. Така задача може бути вирішена як «задача про призначення», яка формулюється наступним чином: існують множини бригад  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_i\}$ ,  $i=1, \dots, n$  та локомотивів  $L = \{L_1, L_2, \dots, L_j\}$ ,  $j=1, \dots, m$ .

Метою даної задачі є мінімізація витрат, пов'язаних з непродуктивним простоем бригад і локомотивів, тому цільова функція має наступний вигляд:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (4)$$

з обмеженнями

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, m, \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, \quad (7)$$

$$n \leq n^*, \quad (8)$$

$$m \leq m^*, \quad (9)$$

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  $j$ -ий локомотив, у зворотному випадку  $x_{ij}=0$ ;  $n, m$  – кількість бригад і локомотивів за період планування відповідно;  $n^*, m^*$  – наявний штат локомотивних бригад та експлуатований парк локомотивів на зміну.

Локомотив  $j$  може бути задіяний у поїзній роботі, якщо виконується умова

$$t_{\text{період}} \geq t_{\text{факт. роб. } j} + t_{\text{прост. } j} + t_{\text{поїздки } j}, \quad (10)$$

де  $t_{\text{період}}$  – періодичність виконання ТО-2 чи інших видів технічного обслуговування або ремонту;  $t_{\text{факт. роб. } j}$  – фактична тривалість роботи локомотива (від моменту виконання останнього технічного обслуговування або ремонту);  $t_{\text{прост. } j}$  – тривалість простою  $j$ -го локомотива в очікуванні бригади (состава);  $t_{\text{поїздки } j}$  – прогнозна тривалість поїздки, що планується.

По кожному пункту явки локомотивних бригад встановлюється межа допус-

тимого часу знаходження бригади на роботі з моменту явки  $t_{\max}^{\text{бриг}}$ , по закінченні якого забороняється відправлення її в поїздку:

$$t_i^b \leq t_{\max}^{\text{бриг}}, \quad (11)$$

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

Після розв'язання цієї задачі першого етапу визначаються пари локомотивів з бригадами  $L^* = \{L_1^*, \dots, L_h^*, \dots, L_z^*\}$ ,  $h = 1, \dots, z$ , а також встановлюються моменти готовності локомотивів з бригадами  $M_{\text{гот } ji}^{\text{л-бр}}$ , тобто час закінчення виконання ТО-1.

Призначення локомотивів з бригадами на состави являє собою більш складну задачу, ніж призначення бригад на локомотиви, оскільки тут існує більша кількість критеріїв та обмежень, які впливають на кінцевий результат – найбільш ефективний план роботи локомотивного парку. Таким чином, на етапі призначення локомотивів з бригадами до составів необхідно врахувати не тільки тривалість та вартість простою рухомого складу і бригад, а також такі критерії, як пріоритет состава та обмеження щодо відповідності напрямку відправлення составів та плечей обороту бригад тощо.

У зв'язку з цим, на другому етапі вирішення задачі розроблення оперативного плану роботи локомотивного парку пропонується застосовувати математичний апарат багатокритеріальної задачі про призначення, постановка якої зводиться до наступного.

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 составах, щоб сумарна ефективність призначень була максимальною:

$$G = \sum_{h=1}^z \sum_{u=1}^v G_{hu} x_{hu} \rightarrow \max, \quad (12)$$

з обмеженнями

$$\sum_{h=1}^z x_{hu} = 1, u = 1, \dots, v, \quad (13)$$

$$\sum_{u=1}^v x_{hu} = 1, h = 1, \dots, z, \quad (14)$$

$$x_{hu} \in \{0, 1\}, h = 1, \dots, z, u = 1, \dots, v, \quad (15)$$

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  $h$ -ий локомотив з бригадою призначений на  $u$ -ий состав, у зворотньому випадку  $x_{hu} = 0$ .

Окрім того, на цьому етапі розробки оперативного плану роботи локомотивного парку перевіряється виконання умов (10) та (11), що характеризують періодичність проведення технічних оглядів та ремонтів локомотивів та дотримання допустимих норм знаходження бригад в очікування відправлення зі станції, відповідно.

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

$$F_h \geq Q_u. \quad (16)$$

Кожна технічна станція відправляє поїзди на напрямки  $\Phi = \{\phi_1, \dots, \phi_e, \dots, \phi_p\}$ ,  $e = 1, \dots, p$ , які можна співставити з плечами обслуговування локомотивних бригад. Тож, при призначенні локомотива з бригадою  $h$  на состав  $u$  необхідно, щоб плече обслуговування бригади співпадало з напрямком відправлення состава:

$$\phi_{eh} = \phi_{eu}. \quad (17)$$

Якщо умови (16), (17) не виконуються, то таке призначення вважається забороненим:  $G_{hu} = -\infty$ .

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

$$G_{hu} = w_1 \lambda_u + w_2 \tau_{hu} + w_3 y_{hu}, \quad (18)$$

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;  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  – ваги відповідних критеріїв, що можуть бути встановлені експертно.

Параметр пріоритетності відправлення  $u$ -го состава залежить від категорії пріоритету  $K = \overline{1, a}$ , що, в свою чергу, залежить від ситуації на період планування. Для составів з найвищим пріоритетом відправлення  $K=1$ , для составів з найнижчим пріоритетом (або при відсутності пріоритету)  $K=a$ . Таким чином, параметр пріоритетності відправлення состава  $u$  визначається за допомогою виразу

$$\lambda_u = (a - K + 1) / a. \quad (19)$$

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

$$\tau_{hu} = 1 - \frac{t_{hu}}{\max\{t\}}, \quad (20)$$

де  $\max\{t\}$  – максимальне значення тривалості простою всіх можливих варіантів призначень;  $t_{hu}$  – сумарний простій рухомого складу та бригади.

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

$$y_{hu} = 1 - \frac{c_{hu}}{\max\{c\}}, \quad (21)$$

де  $\max\{c\}$  – максимальне значення вартості простою всіх можливих варіантів призначень;  $c_{hu}$  – сумарне значення вартості простою составів, локомотивів та бригад при відповідному призначенні.

Після визначення всіх параметрів з урахуванням всіх обмежень заповнюється матриця ефективності призначень та задача вирішується одним з відомих методів.

За рахунок підвищення точності прогнозного плану відправлення поїздів удосконалено метод планування роботи локомотивних бригад, що дозволяє мінімізувати тривалість очікування бригадами відправлення з технічних станцій.

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



$$\Delta t_i = t_i^b - t_{\text{технол}}, \quad (22)$$

де  $t_i^b$  – простій  $i$ -ої бригади з моменту явки;  $t_{\text{технол}}$  – сумарна тривалість технологічних операцій по прийманню локомотива, випробування гальм тощо.

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

$$\Delta t'_i = \begin{cases} (t_{\text{ТО-1}} + p) + |M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}|, & \text{якщо } M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} \leq M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}; \\ (t_{\text{ТО-1}} + p) - |M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} - M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}|, & \text{якщо } M_{\text{гот } u}^{\text{сост}} \geq M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}, \end{cases} \quad (23)$$

де  $M_{\text{гот } u}^{\text{сост}}$ ,  $M_{\text{гот } i}^{\text{бриг}}$  – моменти готовності до відправлення состава та бригади відповідно.

Для оцінки ефективності запропонованої процедури було проведено порівняльний аналіз виконаного та розробленого планів роботи локомотивного парку. Так, на рис. 7, а) наведено фрагмент графіку виконаного руху поїздів на станції Нижньодніпровськ-Вузол, на рис. 7, б) – план роботи локомотивного парку, розроблений за допомогою запропонованої процедури на основі моментів готовності локомотивів, бригад та составів, отриманих з графіку виконаного руху поїздів.

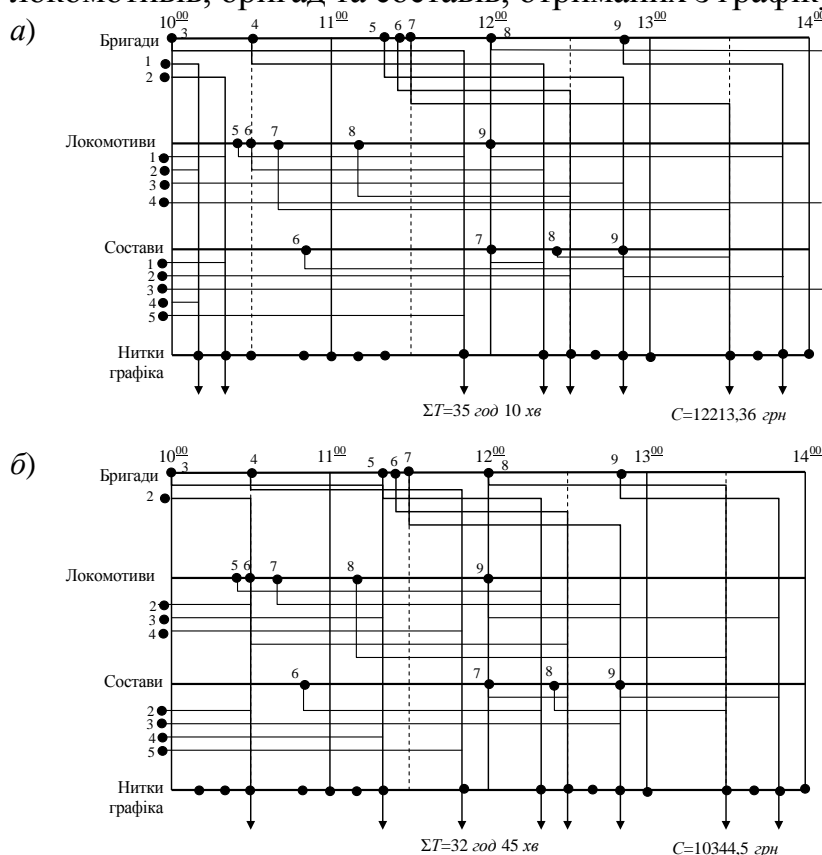


Рисунок 7 –Робота локомотивного парку на станції

Нижньодніпровськ-Вузол: а) фрагмент графіку виконаного руху поїздів; б) план роботи, розроблений з використанням запропонованої процедури

ку остаточне рішення по вибору плану роботи локомотивного парку приймає оперативно-диспетчерський персонал.

У додатках наведені характеристика об'єкта дослідження, результати дос-

Для наведеного прикладу, при використанні розробленої процедури, загальний простій рухомого складу зменшився на 2 год 35 хв (на 7%), при цьому, витрати, пов'язані з простоем рухомого складу та локомотивних бригад зменшились на 1858,86 грн (на 15% порівняно з графіком виконаного руху поїздів).

Оскільки адаптивна модель оперативного керування роботою локомотивного парку на залізничному напрямку є динамічною, готовності локомотивів, бригад та составів до відправлення. При цьому, може бути отримано кілька рівнозначних планів, в кожному з яких враховані всі обмеження та критерії. В такому випадку

ліджень, а також довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

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

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

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

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

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

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

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

7. Розрахунок оперативних планів роботи локомотивного парку запропоновано здійснювати з використанням математичного апарату багатокритеріальної задачі про призначення, що дає можливість врахувати множину можливих обмежень та критерії ефективності, серед яких відповідність напрямку відправлення

составів плечам обслуговування локомотивних бригад, наявність пріоритетів відправлення составів, відповідність тягових характеристик локомотивів параметрам составів, тривалості простоїв локомотивів, бригад та составів, сумарна вартість простою рухомого складу та локомотивних бригад.

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

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

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці:

1. Вернигора, Р.В. Анализ простоев поездов в ожидании поездных локомотивов на сортировочных станциях [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2012. - №5/3 (59). – С.16-19.

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

3. Вернигора, Р.В. Возможности использования штучных нейронных сетей при прогнозировании поїзної роботи залізничних напрямків [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 7. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 15-19.

4. Єльнікова, Л.О. Дослідження тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями залізничного напрямку [Текст] / Л.О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 35-39.

5. Вернигора, Р.В. Дослідження ефективності використання нейронних мереж при прогнозуванні прибуття поїздів на технічні станції [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2015. - №3/3 (75). – С.23-27.

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

7. Вернигора, Р.В. Розробка оперативного плану роботи локомотивного парку на основі багатокритеріальної задачі про призначення [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національно-

го університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 10. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – С. 23-28.

8. Вернигора, Р.В. Проблемы оперативного планирования работы локомотивного парка Украины в современных условиях и пути их решения [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт // Научно-практический журнал. – Республика Беларусь, Гомель: БелГут, 2015. - №2. – С.16-19.

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

#### **Додаткові праці:**

1. Вернигора, Р.В. Перспективи створення адаптивної системи оперативного керування роботою локомотивів та локомотивних бригад [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 4. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 25-29.

2. Вернигора, Р.В. Аналіз інтенсивності вантажних поїздопотоків на сортувальних станціях України [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень, Вип. 6. – Д.: ДНУЗТ, 2013. – С. 32-35.

3. Вернигора, Р.В. Проблемы эффективного использования поездных локомотивов на железных дорогах Украины [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова // «Проблемы безопасности на транспорте»: Тезисы 6-й междуна. научн.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2012 – С. 9-10.

4. Вернигора, Р.В. Проблеми підвищення ефективності системи оперативного керування роботою локомотивного парку України [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова, К.Л. Авагян // Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: Тезисы 2-й Международной научно-практической конференции (Кострина, 21-23 февраля 2013 г.) – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 44-45.

5. Вернигора, Р. В. Дослідження впливу нерівномірності відправлення вантажних поїздів з технічних станцій на тривалість їх руху по ділянках [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 73-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – С. 143-144.

6. Вернигора Р.В. Перспективы создания интеллектуальной системы поддержки принятия оперативных решений по управлению работой локомотивов на железнодорожном полигоне [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Ельникова // Тезисы международной научно-практической конференции «Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта» – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – С. 23-24.

7. Вернигора, Р.В. Проблеми ефективної експлуатації залізничної інфраструктури в умовах розділення парку вантажних вагонів [Текст] / Р.В. Вернигора, А.С. Савенко, Л.О. Єльнікова // Перспективы взаимодействия железных дорог и

промышленных предприятий: Тезисы 3-й Международной научно-практической конференции. – Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 28-29.

8. Вернигора, Р.В. Прогнозна модель напрямку в автоматизованій системі оперативного керування роботою локомотивного парку [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 74-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – С. 173-174.

9. Вернигора, Р.В. Проблемы эффективного использования локомотивов на магистральных железных дорогах Украины [Текст] / Р.В. Вернигора, Н.И. Березовый, Л.О. Ельнікова // Электрификация транспорта «ТРАНСЭЛЕКТРО –2014»: Материалы VII Международной научно-практической конференции (Одесса - Днепропетровск, 23 – 26 октября 2014 г.) – Д.: ДНУЖТ, 2014. –С. 70-71.

10. Вернигора, Р.В. Аналіз використання робочого часу локомотивних бригад [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів: Тези науково-практичної конференції (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 16-17.

11. Вернигора, Р.В. Застосування апарату нейронних мереж для прогнозування перевізного процесу на залізничному транспорті [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів: Тези науково-практичної конференції (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 17-18.

12. Dmitriy Kozachenko. Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule [Text] / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Balanov, N. Berezovy, L. Yelnikova, Y. Germanyuk // «Transport problems 2015»: IV symposium of young researchers. – Katowice: Silesian University of Technology, 2015. - P. 722-728.

13. Вернигора, Р.В. Визначення раціональних параметрів нейромережі для прогнозування поїзної роботи на залізничному напрямку [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова // «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»: Тези 77-ї міжн. наук.-практ. конф. – Харків: УкрДУЗТ, 2015.- С. 35-36.

14. Вернигора, Р.В. Принципи побудови прогнозної моделі поїзної роботи залізничного напрямку [Текст] / Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова, Н.В. Шабанова // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 75-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. – С. 175-176.

## АНОТАЦІЯ

Єльнікова Л.О. Підвищення ефективності перевізного процесу на залізничних напрямках за рахунок удосконалення оперативного керування експлуатацією локомотивного парку. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукового завдання підвищення ефективності перевізного процесу на залізничних напрямках за рахунок удосконалення оперативного керування експлуатацією локомотивного парку.

Для розрахунку оперативного плану роботи локомотивів та локомотивних бригад розроблена адаптивна математична модель оперативного керування роботою

локомотивного парку, складовими якої є прогнозна модель поїзної роботи напрямку та розрахунковий модуль. Для розрахунку тривалості руху вантажних поїздів між технічними станціями напрямку використана нейронна мережа типу перцептрон. Для розрахунку прогнозних моментів готовності составів, локомотивів та бригад до відправлення імітаційна модель сортувальної станції була удосконалена за рахунок доповнення моделлю локомотивного депо.

Розроблення оперативних планів роботи локомотивного парку зведено до багатокритеріальної задачі про призначення, що дає можливість врахувати характеристики составів, локомотивів та бригад. Запропонована процедура дає можливість відкоригувати час явки бригад з метою зменшення їх непродуктивного простою в очікуванні відправлення зі станції.

Результати роботи впроваджені в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці спеціалістів і магістрів за спеціальністю «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті».

**Ключові слова:** локомотив, локомотивна бригада, технічна станція, прогноз, тривалість руху, оперативне планування.

### АННОТАЦІЯ

Ельникова Л.О. Повышение эффективности перевозочного процесса на железнодорожных направлениях за счет совершенствования оперативного управления эксплуатацией локомотивного парка.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2016.

В диссертации выполнен анализ научных работ, посвященных проблеме оперативного управления эксплуатацией локомотивного парка, который показал, что существующие методы не в полной мере учитывают современные условия функционирования железнодорожного транспорта: изменившуюся модель управления железными дорогами, внедрение современных устройств глобального позиционирования GPS и т.д. Анализ современных условий работы локомотивного парка выявил уменьшение парка локомотивов на протяжении последних лет и значительный износ тягового подвижного состава.

Для расчета оперативного плана работы локомотивов и бригад предложена адаптивная математическая модель оперативного управления работой локомотивного парка на железнодорожном направлении, составляющими которой являются прогнозная модель поездной работы направления и расчетный модуль. При разработке модуля прогнозирования прибытия поездов на технические станции, как составляющей прогнозной модели поездной работы направления, использована нейронная сеть типа перцептрон, что дает возможность учесть момент отправления поезда, его массу и тип локомотива для определения прогнозной продолжительности движения поезда между техническими станциями. В диссертационной работе усовершенствована имитационная модель сортировочной станции за счет дополнения моделью локомотивного депо, что позволяет определить прогнозные моменты готовности составов, локомотивов и бригад к отправлению со станции.

Расчет оперативных планов работы локомотивного парка может быть сведен к многокритериальной задаче о назначениях, что дает возможность учесть соответствие направления отправления составов плечам обслуживания локомотивных бригад; наличие приоритетов отправления составов; соответствие тяговых характеристик локомотивов массе составов; продолжительности простоев локомотивов, бригад и составов; суммарную стоимость простоя подвижного состава и локомотивных бригад. Использование предложенной процедуры расчета оперативного плана работы локомотивного парка позволяет сократить продолжительность непроизводительных простоев подвижного состава и локомотивных бригад и эксплуатационные расходы, связанные с данным простоем, а также откорректировать время явки бригад с целью уменьшения их простоя в ожидании отправления со станции.

Результаты работы внедрены в научной работе и учебном процессе Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна при подготовке специалистов и магистров по специальности «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте».

**Ключевые слова:** локомотив, локомотивная бригада, техническая станция, прогноз, продолжительность движения, оперативное планирование.

### THE SUMMARY

Yelnikova L. The efficiency increase of the transportation process of the railway directions by improving the operational management of the locomotive park operation. – Manuscript.

The dissertation work is devoted to solving the scientific problem of the efficiency increase of the transportation process of the railway directions by improving the operational management of the locomotive park operation.

To calculate the operational plan of the locomotives and locomotive crews work was designed the adaptive mathematical model of the operational management of the locomotive park work, which consists of the forecast model of the train work at the direction and the calculation module. To calculate the movement duration of the freight trains between the technical stations of the direction was used such neural network as perceptron. To calculate the forecast moments of the trains, locomotives and crews readiness to dispatch the simulation model of the sorting station was improved by adding the locomotive depot model.

The development of the operational plans of the locomotive park work was reduced to the problem about multicriterial assignment, which enabled to take into account the characteristics of trains, locomotives and crews. The proposed procedure made it possible to adjust the time of the crews' appearance to reduce their non-productive downtime awaiting departure from the station.

Work results were implemented into educational process of Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan for the specialists and masters training on the specialty «Organization of transportation and management on railway transport»

**Keywords:** locomotive, locomotive crew, technical station, forecast, movement duration, operational planning.

**ЄЛЬНІКОВА ЛІДІЯ ОЛЕГІВНА**

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

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку «15» 04. 2016 р. Формат 60x84 1/16  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Замовлення № 126

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010