

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет **“Транспортна інженерія”**

Кафедра **“Локомотиви”**

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою _____ Борис БОДНАР

“ _____ ” _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: **“Аналіз шляхів та розробка заходів економії
енергоресурсів на тягу поїздів”**

за освітньою програмою: **“Локомотиви та локомотивне господарство”**
зі спеціальності **273 “Залізничний транспорт”**
галузі знань **27 “Транспорт”**

Виконав: студент групи **ЛГ2221**

_____ Олександр ВДОВИЧЕНКО

Керівник _____ Дмитро КИСЛИЙ

Нормоконтролер _____ Людмила КОЛОДІЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Дніпро, 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “*Транспортна інженерія*”

Кафедра “*Локомотиви*”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою *Б. Боднар* Борис БОДНАР

“ 16 ” 08 ” 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “**Аналіз шляхів та розробка заходів економії
енергоресурсів на тягу поїздів**”

за освітньою програмою: “*Локомотиви та локомотивне господарство*”
зі спеціальності 273 “*Залізничний транспорт*”
галузі знань 27 “*Транспорт*”

Виконав: студент групи ЛГ2221

Олександр Вдовиченко Олександр ВДОВИЧЕНКО

Керівник *Дмитро Кислий* Дмитро КИСЛИЙ

Нормоконтролер *Людмила Колодій* Людмила КОЛОДІЙ

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент

Олександр Вдовиченко

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”

Department “*Locomotives*”

EXPLANATORY NOTE

to Master’s Thesis

master

on the topic: “**Analysis of routes and development of measures to save
energy resources for train traction**”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”
in the Speciality 273 “*Railway transport*”
field of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group **LG2221**:

Oleksandr VDOVYCHENKO

Scientific Supervisor: Dmytro KYSLYI

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: *«Транспортна інженерія»*

Кафедра: *«Локомотиви»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Освітня програма: *«Локомотиви та локомотивне господарство»*

Спеціальність: *273 «Залізничний транспорт»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедрою _____ Борис БОДНАР

« ____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту групи ЛГ2221

Вдовиченко Олександр Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз шляхів та розробка заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів

Керівник роботи: Кислий Дмитро Миколайович, к.т.н.

Затверджена наказом по університету від «17» січня 2023 р. №31ст

2. Строк подання студентом роботи: «12» січня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: тип локомотива – електровоз серії ВЛ-8; маса складу – 4917 т; довжина ділянки – 109 км.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
 - 4.1 Огляд стану ресурсощаджуючих технологій на залізницях України та перспектива розвитку залізничного транспорту
 - 4.2 Розробка заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів з підвищенням ефективності використання локомотивів
 - 4.3 Математичне обґрунтування розроблених заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів
 - 4.4 Порівняння результатів тягових розрахунків за різними методами

5. Перелік графічного матеріалу:

- 5.1 Енергоємність залізничного транспорту України
- 5.2 Залежність часу ходу по дільниці від дільничної швидкості руху та від кількості поїздів на дільниці
- 5.3 Залежність потоку поїздів від дільничної швидкості
- 5.4 Діаграма питомих рівнодіючих сил (локомотив ВЛ8, маса складу 4917 т)
- 5.5 Графічне рішення гальмівної задачі
- 5.6 Криві швидкості, часу ходу поїзда і струму
- 5.7 Швидкостемірна стрічка еталонної фактичної поїздки на ділянці
- 5.8 Результати ведення поїзда по ділянці з використанням програмного пакету

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Обсяг розділу, %
1	Огляд стану ресурсощаджуючих технологій на залізницях України та перспектива розвитку залізничного транспорту	28.11.2023	25
2	Розробка заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів з підвищенням ефективності використання локомотивів	28.11.2023	25
3	Математичне обґрунтування розроблених заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів	19.12.2023	25
4	Порівняння результатів тягових розрахунків за різними методами	09.01.2024	25
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	12.01.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2024	

Студент _____ Олександр ВДОВИЧЕНКО

Керівник роботи _____ Дмитро КИСЛИЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота на тему «Аналіз шляхів та розробка заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів» загальним обсягом 6 аркушів демонстраційного матеріалу, 81 аркуш розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 3 розділів. Робота містить 10 ілюстрацій, 17 таблиць, 1 додаток та список літературних джерел з 27 найменувань.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає енергоресурси, які витрачаються на тягу поїздів, а метою – аналіз шляхів та розробка заходів їх економії. Предмет дослідження – тягові властивості локомотивів, методики тягових розрахунків.

Для досягнення мети роботи ми розробили заходи економії енергоресурсів на тягу поїздів з підвищенням ефективності використання локомотивів, які враховують вибір раціональної швидкості руху; раціоналізацію ділянок обертання локомотивів; підвищення маси поїзда; підвищення середньодобового пробігу локомотивів та середньодобової продуктивності локомотивів; автоматизацію процесу ведення поїзда та автоматизацію керуванням локомотивним парком.

Більш детально розглянули питання автоматизації процесу ведення поїзда з розрахунком енергооптимальних режимів ведення із застосуванням ЕОМ, які б враховували сформовану на даний момент поїзну ситуацію й адекватно реагували на неї. Виконали розрахунки з математичного обґрунтування розроблених заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів. Вони складаються з розрахунку режимів ведення поїзда класичним методом; визначення фактичної витрати електроенергії поїздом на ділянці на підставі фактичної поїздки; розрахунку режимів ведення вантажного поїзда з використанням програмного пакету та порівняння результатів тягових розрахунків за різними методами. Для цього був запропонований показник, який враховує витрату електроенергії на тягу, час у дорозі, масу складу та протяжність ділянки.

Ключовими словами в магістерській дипломній роботі виступають: розробка, економія енергоресурсів, тяга поїздів, швидкість, ділянка обертання, локомотив, маса поїзда, середньодобовий пробіг, автоматизація.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД СТАНУ РЕСУРСООЩАДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВА РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	8
2 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛОКОМОТИВІВ.....	13
2.1 Вибір раціональної швидкості руху.....	17
2.2 Раціоналізація ділянок обертання локомотивів	35
2.3 Підвищення маси поїзда.....	36
2.4 Підвищення середньодобового пробігу локомотивів	41
2.5 Підвищення середньодобової продуктивності локомотивів	45
2.6 Автоматизація процесу ведення поїзда	51
2.7 Автоматизація керування локомотивним парком	54
3 МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ ЗАХОДІВ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ	61
3.1 Розрахунок режимів ведення поїзда класичним методом	61
3.2 Визначення фактичної витрати електроенергії поїздом на ділянці	72
3.3 Розрахунок режимів ведення вантажного поїзда з використанням програмного пакету	74
3.4 Порівняння результатів тягових розрахунків за різними методами	74
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	78
ДОДАТОК А. Результати розрахунку витрат електроенергії електровозом на ділянці Ш.-Л.	81

					0032.180143.000.03МР.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз шляхів та розробка заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів		
Розроб.		Вдовиченко					
Перевір.		Кислий					
Реценз.							
Н. Контр.		Колодій					
Затверд.		Боднар			Лім. Арк. Акрушів Н 5 81 УДУНТ, зр. ЛГ2221		

ВСТУП

Українські залізниці являють могутню транспортну систему, яка за обсягами перевізної роботи, розмірами і рівнем застосування технічних засобів займає друге місце серед незалежних держав. За щільністю колійних шляхів Укрзалізниці належить провідне місце – 0,037 км на 1 км² площі; тут вони наближаються до найбільш розвинутих європейських країн: Великобританія – 0,078; Польща – 0,074; Франція – 0,060. Експлуатаційна довжина залізниць складає 22,56 тис км, що є четвертим показником у Європі, після Німеччини, Франції і Польщі. За обсягом перевезень вантажів Укрзалізниця міцно утримує друге місце серед країн СНД і в Європі.

При порівнянні з деякими західноєвропейськими державами, річний обсяг перевезень вантажів на залізницях України дорівнює перевезенням у Польщі і Франції разом узятих, а кількість перевезених пасажирів – у Польщі і Нідерландах.

Незважаючи на зменшення обсягів перевезень за останні роки, умови роботи залізниць України залишаються більш важкими, ніж на закордонних залізницях.

Для поліпшення показників діяльності Укрзалізниці необхідно перейти на нові для України світові маркетингові принципи керування залізницями та їх підрозділами, що дозволить чітко розподіляти відповідальність конкретних осіб за управлінські рішення й фінансові результати діяльності у сфері перевезень. Діяльність, яка не приносить дохід залізницям і безпосередньо не пов'язана з транспортними операціями, буде поступово згортатись, а відповідні підрозділи будуть вилучатись з організаційної структури залізниць.

Українські залізниці з'єднують Україну з країнами Кавказу, західної та Центральної Європи. В умовах перебудови економіки міжнародна транспортна система перевезень України й діюча система перевезень потребує значних змін. Слід мати на увазі, що відставання залізничного транспорту України у сфері високошвидкісних перевезень, інформаційних систем, сервісу й відсутності сучасних методів рішення цих проблем можуть призвести до відтоку клієнтури й

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

падіння обсягів перевезень зі зменшенням прибутків. Для інтеграції у міжнародну систему і сучасні стандарти якості обслуговування, на залізницях України вживаються заходи з розширення сервісу й послуг, удосконалення інформаційних систем, підвищення швидкостей руху поїздів. Це має надати можливість скоротити час доставки вантажів і пасажирів, підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту [1].

Одним із напрямів удосконалювання роботи залізничного транспорту залишається впровадження в практику залізниць ресурсозберігаючих технологій. Зниження витрат досягається, головним чином, за рахунок економії витрати палива й електроенергії на тягу поїздів, трудових й матеріальних ресурсів у господарствах доріг та ін.

Скорочення експлуатаційних витрат є можливим джерелом фінансування розвитку технічної бази транспорту та будівництва нового рухомого складу.

Основними принципами зниження експлуатаційних витрат на сьогоденному етапі залишаються:

- твердий підхід до ощадження усіх видів ресурсів на всіх етапах технологічного процесу організації перевезень;
- визначення оптимальної величини витрат на кожному рівні керування;
- дотримання режиму економії при прийнятті рішень про витрату засобів.

Скорочення експлуатаційних витрат досягається за рахунок поліпшення технологічних процесів, перерозподіл планових ресурсів на роботи, які забезпечують одержання додаткових доходів і конкретної реалізації програми ресурсощадження.

Взаємодія технічних, технологічних й економічних принципів при оцінці ефективності ресурсощаджуючої політики дозволить забезпечити стійкість фінансово-економічного положення залізниць.

Об'єктом дослідження в магістерській дипломній роботі виступає енергоресурси, які витрачаються на тягу поїздів, а метою – аналіз шляхів та розробка заходів їх економії. Предмет дослідження – тягові властивості локомотивів та методики тягових розрахунків.

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД СТАНУ РЕСУРСООЩАДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВА РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Зараз на залізничному транспорті проводиться цілеспрямована політика економії енергоресурсів на тягу поїздів. Тому на відміну від багатьох інших галузей показники питомої витрати цих ресурсів на залізницях знаходяться на рівні кращих світових досягнень. Особливо інтенсивно ця робота ведеться з 1997 року. Питома витрата електроенергії на початку минулого десятиріччя знижена на 15%, що варто розглядати як значний успіх в області енергозбереження.

Це досягнуто в результаті реалізації ряду організаційно-технічних заходів. У їхньому числі:

- рішення фундаментальної задачі розрахунку енергооптимальних траєкторій режиму руху поїзда з урахуванням плану і профілю колії, швидкості руху, її обмежень, заданого часу ходу;

- розробка інтелектуальної системи ведення поїзда на основі мікропроцесорів у транспортному виконанні – організоване серійне виробництво пристроїв, створена система їхнього впровадження і супроводу на базі галузевого і дорожнього центрів;

- впровадження систем оптимізації роботи допоміжного устаткування електровозів;

- широкомасштабне застосування засобів лубрикації (рейко- і гребнезмащувачів), що дозволило поряд зі зниженням зносу коліс і рейок істотно зменшити опір руху поїзда [2].

Також поліпшення набули якісні показники експлуатаційної роботи – збільшена продуктивність локомотивів, вага поїзда, дільнична швидкість. Сумарна економія електроенергії склала близько 9 млрд. кВт-год.

На основі накопиченого досвіду впровадження енергозберігаючої техніки і технології в рамках прийнятих програм ресурсозбереження була розроблена в якості складової частини «Підпрограма скорочення витрат електроенергії і дизельного палива на тягу поїздів». У ній поставлені конкретні задачі по

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

зниженню питомої витрати палива і електроенергії. Підпрограма розроблялася на основі аналізу тенденцій і причин зміни питомих витрат енергоресурсів на тягу поїздів. Практично всі пропозиції по енергозберігаючим технологіям, які заплановані в підпрограмі, були включені в галузеву програму ресурсозбереження.

Підсумки програми дозволяють провести конкретний аналіз витрати енергоресурсів на тягу поїздів, а також уточнити систему організаційних, технологічних і технічних заходів, які забезпечує виконання завдань по зниженню витрати енергоресурсів [3].

На підставі аналізу тенденцій зміни споживання енергоресурсів і з урахуванням пропозицій Департаменту і служб локомотивного господарства розроблений і впроваджується перелік організаційних і технічних заходів, спрямованих на подальше зниження питомої витрати паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. У числі прийнятих основних напрямків цієї роботи впливає насамперед назвати:

- організацію енергооптимального пропуску поїздопотoku шляхом оптимізації параметрів графіка керування рухом поїздів;
- оптимізацію керування поїздопотокom за допомогою інтелектуальної системи обліку й аналізу витрати енергоресурсів;
- мінімізацію умовних втрат у системі тягового електропостачання;
- зменшення опору руху поїздів;
- лубрикацію колісних пар локомотивів і рейок;
- удосконалювання конструкції і технічного змісту взаємодіючих вузлів рухомого складу і шляху;
- зниження аеродинамічного опору руху локомотивів і вагонів;
- підвищення експлуатаційного коефіцієнта корисної дії локомотивів;
- поліпшення технічного стану рухомого складу;
- скорочення витрат енергії на допоміжні потреби локомотивів;
- розширення сфери застосування і підвищення ефективності рекуперативного гальмування [4].

					0032.180143.0000.03MP.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На науково-практичних конференціях по ресурсозберігаючим технологіям на залізничному транспорті зазначалось, що одним із пріоритетних напрямків удосконалювання роботи залізничного транспорту продовжує залишатися впровадження в практику залізниць ресурсозберігаючих технологій. Була відзначена ефективність програми «Ресурсозбереження» на мережі залізниць, реалізація якої дозволила істотно знизити експлуатаційні витрати галузі і зміцнити методи керування ними [5].

Зниження витрат при виконанні галузевої програми ресурсозбереження відбувається, головним чином, за рахунок економії витрати палива й електроенергії на тягу поїздів, трудових і матеріальних ресурсів у галузевих господарствах доріг, її лінійних виробничих підприємствах, у цехах і на окремих робочих місцях, а також за рахунок імпортозаміщення.

Скорочення експлуатаційних витрат є реальним можливим джерелом фінансування розвитку технічної бази транспорту, будівництва нового рухомого складу. Очевидно, що мається взаємозв'язок і тісна взаємодія технологічних економічних методів керування у всіх ланках транспортного процесу. Ефективність упровадження ресурсозберігаючих технологій безпосередньо зв'язана з економією експлуатаційних витрат. При цьому необхідно враховувати особливості того чи іншого виробництва, ступінь кваліфікації працівників, зацікавленість їх у результатах своєї праці й в участі у виконанні загальних задач підприємства.

Було відзначено, що основними принципами зниження експлуатаційних витрат на сучасному етапі залишаються:

- твердий підхід до економії усіх видів ресурсів і на всіх етапах технологічного процесу організації перевезення;
- визначення оптимальної величини витрат на кожному рівні керування;
- дотримання режиму економії при прийнятті рішень про витрату засобів.

Скорочення експлуатаційних витрат можливо також за рахунок поліпшення технологічних процесів, перерозподілу планових ресурсів на роботи, які забезпечують одержання додаткових доходів і конкретної реалізації програми

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресурсозбереження [6].

Важливим інструментом твердого планування експлуатаційних витрат стало застосування на внутрішньодорожньому рівні «еталонного» нормування витрат і інформатизація керування економічними процесами. Активна робота з впровадження економічних методів керування усіма видами діяльності ведеться на ряді залізниць.

Провідна роль у виконанні заходів, які забезпечують економію експлуатаційних витрат, належить галузевим підрозділам залізниць. Усі технічні і технологічні рішення варто приймати тільки на основі достовірного економічного обґрунтування.

Сполучення технічних, технологічних і економічних принципів при оцінці ефективності ресурсозберігаючої політики дозволили забезпечити стійкість фінансово-економічного положення галузі і залізниць.

На науково-практичній конференції по основних напрямках співробітництва в розвитку залізничного транспорту держав-учасників СНД, держав Латвії, Литви та Естонії в міжнародному сполученні на перспективу було визнано доцільним проведення погоджених напрямків співробітництва в забезпеченні подальшого розвитку економічних зв'язків. Підставою для цього можуть служити удосконалювання організації і технології перевезень пасажирів і вантажів у міжнародному повідомленні, підвищення їхньої якості відповідно до міжнародних стандартів, модернізація і технічне переоснащення залізниць, забезпечення їхньої конкурентноздатності на ринку транспортних послуг, гармонізація форм соціального захисту залізничників.

Основні напрямки розвитку залізничного транспорту держав Співдружності знайшли своє відображення в проекті Концепції погодженої транспортної політики держав-учасників СНД в частині залізничного транспорту.

Рекомендувалися наступні основні напрямки транспортної політики в області залізничного транспорту:

- модернізація транспортних засобів;
- розвиток інформаційних технологій на залізничному транспорті;

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– удосконалювання організації і керування вантажними і пасажирськими перевезеннями;

– розвиток міжнародних транспортних коридорів;

– формування погодженої тарифної політики в міжнародному сполученні.

Зараз в Україні також проводиться робота одним із напрямків якої повинно стати оптимізація витрат при одночасному збільшенні доходів, що повинно стабілізувати фінансове становище залізниць [7].

					0032.180143.0000.03MP.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

Залізничний транспорт є одним із найбільших споживачів енергетичних ресурсів. При загальному споживанні в державі 129,3 млрд кВт-год електроенергії витрати Укрзалізниці складають майже 5,6 млрд. кВт-год, або 4,3%, а щодо дизельного палива, то при загальних його витратах 4,9 млн т витрати залізниці становлять 50,4 млн т, або 10,3%.

Тому організація енергозбереження на залізничному транспорті має не лише загальногалузеве, а і загальнодержавне значення.

Дані про обсяги споживання енергоресурсів (в тис тон умовного палива – ТУП) Укрзалізницею в останні роки наведено в табл. 2.1. Основним показником енерговикористання на транспорті є енергоємність одиниці перевізної роботи (одиниця виміру – ТУП на 1 млн приведених т-км), розрахована як власне для тяги поїздів, так і з урахуванням всієї виробничої діяльності (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Обсяги споживання енергоресурсів Укрзалізницею

В тис т ум. палива

Споживання енергоресурсів	Рік			
	2019	2020	2021	2022
На тягу поїздів	2078,0	1993,8	1934,0	2086,5
На інші виробничі потреби	1723,5	1607,9	1463,8	1329,7
В цілому	3801,5	3601,7	3397,8	3416,2

За останні чотири роки в цілому енергоємність залізничного транспорту зменшилася на 13,9%, в тому числі за 2021 рік – на 8,6%. Енергоємність безпосередньо тяги поїздів скоротилась за цей період на 3,9%, а за 2000 рік – на 2% [9].

Динаміка зміни енергоємності перевезень і виробничої діяльності за 2019-2022 рр. простежується на рис. 2.1. На 2022 рік планувалося зменшити витрати енергоресурсів на 2% і довести енергоємність продукції залізничного транспорту

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Енергоємність залізничного транспорту

В т ум. палива на 1 млн. т-км

Вид діяльності	Рік			
	2019	2020	2021	2022
Тяга поїздів	9,67	9,56	9,48	9,29
Виробнича діяльність (крім тяги поїздів)	8,01	7,70	7,18	5,93
Перевізна робота в цілому	17,68	17,26	16,66	15,22

до 13,67 одиниць в цілому, в тому числі 8,90 на тягу поїздів і 4,77 одиниць на інші виробничі потреби.

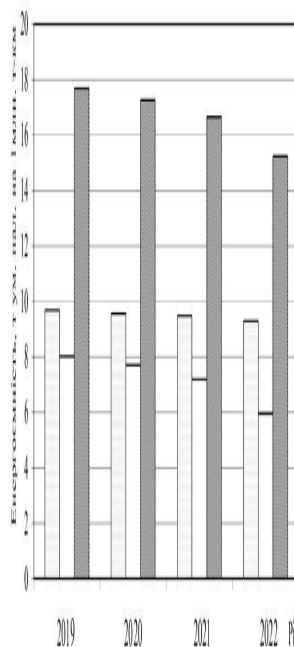


Рисунок 2.1 – Енергоємність залізничного транспорту України:

□ - перевізна робота; □ - виробнича діяльність; ▨ - загальна енергоємність залізничного транспорту

Найбільші витрати паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) припадають безпосередньо на тягу поїздів. Їх рівень залежить від таких основних показників роботи:

— витрати на перевезення тари;

- оптимальні значення опору рухові поїздів;
- економічність тягового рухомого складу, що використовується;
- раціональність використання тягового рухомого складу;
- відповідність оптимальному режимові ведення поїздів;
- стан втрат енергії в енергосистемах;
- збереження (економія) палива на всіх стадіях роботи з ним.

Однієї зі стратегічних задач залізниць в найближчі роки є рішення проблеми ресурсозбереження, як головного джерела зниження не тільки експлуатаційних витрат, але і потреби в технічних засобах господарств, що беруть участь у процесі перевезень [6].

У локомотивному господарстві частка основних фондів, що приходить на рухомий склад, складає близько 75%. У даний час наявним парком локомотивів забезпечується необхідний обсяг перевезень у всіх видах руху, при цьому сумарні витрати локомотивного господарства складають близько 25% від всіх експлуатаційних витрат залізничного транспорту.

За попередні роки обсяг перевезень знизився і відповідно потреба в експлуатованому парку істотно скоротилася. Однак у сучасних умовах позитивна, в цілому, тенденція збільшення обсягів вантажних перевезень, що спостерігається останнім часом на залізницях України, ставить перед галуззю нові задачі по забезпеченню їх рухомим складом. Проведене дослідження структури тягового рухомого складу (ТРС) показало, що при збереженні темпів росту обсягів перевезень у найближчі роки може виникнути проблема недостатчі локомотивів. Через кілька років може навіть прийти штучно знижувати обсяги перевезень, що неприйнятно. Причинами недостатчі ТРС являються:

- скорочення числа придатних до експлуатації локомотивів (через великий відсоток їхньої зношеності);
- скорочення числа закупівель нового ТРС (через недостатнє їхнє фінансування і високі ціни на локомотиви);

Але проблема ресурсозбереження і, у першу чергу, фондосбереження не повинна відходити на задній план. Ресурсозбереження в частині основних засобів

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

має свої особливості. Так, можливості ресурсозбереження (у тому числі матеріало-, енерго-, трудо- і фондосбереження) закладаються на стадії проектування і виробництва конкретних основних засобів, а результати виявляються тільки в процесі їхньої експлуатації.

Основні засоби є матеріальним утіленням науково-технічного прогресу. У міру його розвитку в них закладаються нові якісні характеристики, що впливає на ефективність використання усіх виробничих ресурсів, тобто на можливість ресурсозбереження.

Ресурсозбереження в локомотивному господарстві можна здійснювати в двох напрямках. Перше – підвищення ефективності використання парку локомотивів, тобто оптимізація сумарної потужності локомотивного парку відповідно до обсягу роботи. Другий – упровадження менш матеріало-, енерго- і трудоемкості планово-попереджувальної системи ремонтів.

Таким чином, поряд з рішенням питань ресурсозбереження в локомотивному господарстві традиційними методами, тобто придбання більш економічного тягового рухливого поїзда, необхідно розвивати ресурсозберігаючі технології, що повинні виявлятися, у першу чергу, у підвищенні продуктивності наявних локомотивів, а також у зниженні матеріало-, енерго- і трудоемкості як перевізного процесу так і ремонтної діяльності.

При підвищенні ефективності використання локомотивів необхідно застосувати системний підхід вирішення задачі по приведенню інвентарного парку локомотивів до оптимального значення відповідно до його технічних можливостей й обсягів перевезень. Одним із варіантів вирішенням цієї задачі можуть стати ряд заходів до яких можна віднести:

- вибір раціональної швидкості руху;
- раціоналізація ділянок обертання локомотивів;
- підвищення середньої ваги поїзда;
- підвищення середньодобового пробігу локомотивів;
- підвищення середньодобової продуктивності локомотивів;
- автоматизація процесу ведення поїзда;

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- автоматизація керування локомотивним парком.

2.1 Вибір раціональної швидкості руху

Зниження швидкості руху поїздів у порівнянні з розрахунковою для даної ділянки, а тим більше перерва в русі погіршують використання пропускної здатності і ведуть до економічних втрат. Основними причинами невиконання нормативів графіка руху поїздів і недостатнього використання пропускної здатності ділянок є:

- несинхронність руху поїздів;
- несвоєчасне відкриття сигналів на станціях;
- несправності рухомого складу і технічних пристроїв;
- перенасичення ділянок поїздами;
- наявність попереджень про обмеження швидкості руху;
- пропуск пасажирських поїздів, що спізнюються.

При несинхронності руху поїзда рухаються замість зеленого на жовтий, а іноді і на червоний сигнал світлофора. У середньому швидкість руху поїздів на жовтий сигнал світлофора на 30%, а на червоний на 60% нижче, ніж на зелений. Так, якщо пачка поїздів рухається із шестихвилинними міжпоїздними інтервалами й один з локомотивів знижує швидкість руху в порівнянні із середньої графіковою на 5 км/год, той поїзд, що йде за ним, через 1,5 хвилини підходить до світлофору з жовтим вогнем. Несинхронність проходження пояснюється тим, що машиністи користуються розкладом руху поїздів, у якому зазначений тільки час ходу по перегонах. При цьому швидкість проходження на різних елементах профілю колії визначається експертно, а вибір режиму руху багато в чому залежить від кваліфікації машиністів. Підвищення синхронності руху поїздів зменшує середнє квадратичне відхилення часу їхнього ходу, а це, у свою чергу, приводить до скорочення міжпоїздного інтервалу [10].

Найбільше число короткочасних затримок поїздів у вхідних і вихідних світлофорів проміжних станцій зв'язано з несвоєчасним відкриттям їхнім черговим по станції. Значні запізнення поїздів через затримку їхнього прийому

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічними станціями, а перед стиковими пунктами через несвоєчасний прийом сусідніми дорогами і відділеннями. Тривалість затримок поїздів при виникненні несправностей вагонів, локомотивів, шляху, пристроїв СЦБ і зв'язку, контактній мережі залежить від числа головних шляхів, виду тяги, міжпоїздного інтервалу: кількості пасажирських поїздів та ін. Відмови в роботі технічних пристроїв скорочують наявну пропускну здатність ділянок приблизно на 15%.

Організація руху поїздів з раціональними для конкретних умов експлуатації швидкостями має важливе значення для зниження експлуатаційних витрат, тому що при цьому скорочуються до мінімуму витрати на тягу поїздів і обслуговування інфраструктури, забезпечується більш раціональне використання рухомого складу.

До критеріїв по яким можна приймати швидкість руху слід віднести:

- забезпечення найбільшої швидкості проходження поїздом дільниці;
- мінімальні енерговитрати на тягну поїзда даної ваги;
- забезпечення найбільшої безпеки для руху поїзда.

Відомо, які оцінювати енерговитрати на тягу поїздів можна, виходячи з фактичних показників роботи ділянки – показання локомотивних лічильників, а також по досвіду експлуатації, виходячи з норми витрати електроенергії. Однак, такі підходи не дозволяють оперативно оцінити вплив тих чи інших характеристик поїздопотоків (маси поїздів, часу ходу, обмежень швидкості і т.д.) на витрату електроенергії. У той же час деякі характеристики руху поїздів по ділянці, від яких залежать енерговитрати, закладені в графіку руху поїздів – перегінні значення часу ходу, постійні обмеження швидкості, зупинки [11]. Тому для оперативної (з використанням ЕОМ) оцінки витрати електроенергії на тягу поїздів пропонується розрахунок за графіком руху поїздів.

Запишемо рівняння руху поїзда в наступному виді:

$$F_m = Qa + W_0 + W_i, \quad (2.1)$$

де F_m – сила тяги локомотива, Н;

Q – маса складу, т;

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

a – прискорення поїзда, м/с²;

W_0 – основний опір руху, Н;

W_i – додатковий опір руху від ухилу, Н.

Механічна робота, затрачувана на тягу поїзда на ділянці довжиною L , км:

$$A = \int_{L'} F_m ds, \quad (2.2)$$

де L' – частина ділянки L , на якому сила тяги локомотива $F_m > 0$, м.

До L' можна віднести:

- ділянки розгонів;
- ділянки руху з постійною швидкістю на підйомах і площадках;
- ділянки руху з постійною швидкістю на спусках, на яких сила додаткового опору руху не перевищує значення основного опору руху $W_i < W_0$.

$$A = \int_{L'} F_m ds = \int_{L'} W_0 ds + \int_{L'} W_i ds + \int_{L'} m a ds, \quad (2.3)$$

Якщо перейти від безкінечно малих величин ds у формулі (2.3) до кінцевих величин Δs (і, відповідно, до кінцевих сум замість інтегралів), то одержимо:

$$A = \sum_n W_0(v_n) \Delta s_n + \sum_j W_i(i_j) \Delta s_j + m \sum_k a_k \Delta s_k, \quad (2.4)$$

де v_n – графікова швидкість на перегоні n , м/с;

i_j – ухил на елементі профілю j в ‰;

Δs_n – ділянка шляху постійної швидкості v_n , м;

Δs_j – ділянка шляху постійного ухилу i_j , м;

Δs_k – ділянка шляху постійного прискорення a_k , м.

У формулі (2.4) величини сил основного W_0 і додаткового W_i опору руху визначаються по формулах правил тягових розрахунків [12].

Визначивши механічну роботу A і з огляду на ККД локомотива η , виразимо витрату електроенергії на тягу поїзда:

$$E = \frac{A}{\eta} = \frac{\left(\sum_n W_0(v_n) \Delta s_n + \sum_j W_i(i_j) \Delta s_j + m \sum_k a_k \Delta s_k \right)}{\eta}. \quad (2.5)$$

Ці вирази справедливі при відсутності обмежень швидкості чи при їхній малій кількості. При наявності значного числа обмежень енерговитрати істотно зростають за рахунок розгонів після виконання обмежень, і їх необхідно врахувати.

Тому для обліку обмежень швидкості необхідно перерахувати перегінні v_n швидкості таким чином, щоб поїзд укладався в перегінний час ходу і виконував задані швидкості.

Перегінний час ходу T_x в с складається з часу ходу поїзда зі сталою перегінною швидкістю $T_\partial = \frac{S_\partial}{V_\partial}$, часу на виконання обмежень $T_{обм}$, с і значень часу розвантажування T_p^{cm} , с і гальмування T_z^{cm} , с на станціях відправлення і прибуття відповідно:

$$T_x = T_\partial + T_p^{cm} + T_z^{cm} + T_{обм}. \quad (2.6)$$

Тоді

$$V_\partial = \frac{S_\partial}{T_\partial} = \frac{S_\partial}{T_x - T_p^{cm} - T_z^{cm} - T_{обм}}, \quad (2.7)$$

де S_∂ – довжина перегону за винятком ділянок розгонів, гальмувань і обмежень швидкості, м.

Величина S_∂ визначається в такий спосіб:

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{\partial} = S - S_p^{cm} - S_z^{cm} - S_{обм}, \quad (2.8)$$

де S – довжина поточного перегону, м;

S_p^{cm} – довжина шляху розгону зі станції відправлення, м;

S_z^{cm} – довжина шляху гальмування на станцію прибуття, м;

$S_{обм}$ – довжина шляху виконання обмежень з урахуванням значень довжини розгонів і гальмувань під ці обмеження, м.

Таким чином, можливий розрахунок по формулі

$$V_{\partial} = \frac{S - S_p^{cm} - S_z^{cm} - S_{обм}}{T_x - T_p^{cm} - T_z^{cm} - T_{обм}}. \quad (2.9)$$

Отримані по формулі (2.9) нові перегінні швидкості використовуються для подальшого розрахунку енерговитрат по формулі (2.5). При цьому, в залежності від необхідності, задаючи умови $E \rightarrow \min$ або $V \rightarrow \max$, можна мінімізувати енерговитрати або визначити найбільшу швидкість руху поїзда в даний час на перегоні.

При визначенні раціональної для даної ділянки швидкості необхідно враховувати ряд факторів що обумовлюються, по-перше, взаємодією рухомого складу й об'єктів інфраструктури, і, по-друге, умовами організації перевізного процесу. Це насамперед конструкційна швидкість рухомого складу і можливість її реалізації по реальним тяговим характеристиках локомотивів, наявність місць з обмеженнями швидкості руху, величини обмежень і взаємне розташування цих місць, ваги поїздів на ділянці і їхнє співвідношення з можливими по тягових характеристиках локомотивів значенням.

На раціональну швидкість впливають нормативи пристрою і змісту об'єктів і інфраструктури і витрати на їхнє технічне обслуговування, нормативи співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів у кривих, установлені виходячи з вимог мінімізації інтенсивності зносів і розладів,

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість зменшення витрат на технічне обслуговування об'єктів інфраструктури в частині, що залежить від швидкості руху.

За умовами організації перевезень необхідно враховувати соціальні вимоги по термінах доставки вантажів і можливість зменшення часу ходу між кінцевими пунктами, особливості побудови графіка руху.

У сучасних умовах призначення швидкостей руху повинний проводитися не тільки за критеріями безпеки руху, але і за умовами мінімізації витрат транспортного процесу в частині, що залежить від швидкості при виконанні кількісних і якісних показників перевезень. Рациональною швидкістю руху прискорюваних вантажних і пасажирських поїздів є така швидкість, при якій доходи від скорочення часу ходу порівнянні з витратами на організацію цього скорочення [13].

Оптимальна стратегія скорочення часу ходу поїздів повинна передбачати не підвищення максимальних швидкостей руху, а зняття обмежень швидкості в бар'єрних місцях. Кількість затримок поїздів та їх вплив економії ресурсів приведені в таблицях 2.3-2.7.

Таблиця 2.3 – Кількість неграфікових зупинок на залізницях України та їх вплив на витрати енергоресурсів

Показник	Кількість по роках			
	2019	2020	2021	2022
Кількість неграфікових зупинок	64194	62575	64096	64286
Втрати ПЕР, тис т ум. палива	2,18	2,09	2,12	2,13
Кількість постійно діючих попереджень про обмеження швидкості	407 на 701 км	200 на 328 км	229 на 345 км	256 на 346 км
Втрати ПЕР, тис ТУП	44,5	21,9	25,1	28,0

Для прикладу розглянемо роботу двоколійної ділянки довжиною 150 км, обладнаного автоблокуванням, що граничить з іншою дорогою і з'єднаного із сусідами дільничною станцією зі зміною роду струму. На таких стиках відбувається 100%-на зміна бригад і локомотивів, причому використовувати

Таблиця 2.4 – Час затримок електровозів на світлофорах

Залізниця	Кількість затримок електровозів на світлофорах по роках				Час затримок по роках, год			
	2021	2022	Абсол. різн.	% зміни	2021	2022	Абсол. різн.	% зміни
Донецька	5298	2924	-2374	55,2	908	527	-381	58,0
Придніпровська	21595	12426	-9169	57,5	4372	2659	-1713	60,8
Південна	910	283	-627	31,1	168	64	-104	38,1
Південно-Західна	27677	19917	-7760	72,0	4708	3094	-1614	65,7
Одеська	2362	1139	-1223	48,2	605	323	-282	53,4
Львівська	4100	1337	-2763	32,6	1116	278	-838	24,9
Укразалізіція	61942	38026	-23916	61,4	11877	6945	-4932	58,5

Таблиця 2.5 – Час затримок тепловозів на світлофорах

Залізниця	Кількість затримок тепловозів на світлофорах по роках					Час затримок по роках, год				
	2021	2022	Абсол. різн.	% зміни		2021	2022	Абсол. різн.	% зміни	
Донецька	23	6	-17	26,1		3,0	0,6	-2,4		20,0
Придніпровська	231	203	-28	87,9		54,0	36,0	-18,0		66,7
Південна	67	95	28	141,8		12,0	20,0	8,0		166,7
Південно-Західна	1231	35	-1196	2,8		153,0	87,0	-66,0		56,9
Одеська	479	336	-143	70,2		46,0	25,0	-21,0		54,4
Львівська	314	104	-210	33,1		52,0	18,0	-34,0		34,6
Укрзалізниця	2345	779	-1566	33,2		320,0	186,6	-133,4		58,3

0032.180143.000.03МР.ПЗ

Арк.

24

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Таблиця 2.6 – Загальний час затримок поїздів на світлофорах

Залізнниця	Кількість затримок поїздів на світлофорах по роках					Час затримок по роках, год.				
	2021	2022	Абсол. різн.	% зміни		2021	2022	Абсол. різн.	% зміни	
Донецька	5321	2930	-2391	55,1		911,0	528,2	-382,8		58,0
Придніпровська	21826	12629	-9197	57,9		4426,4	2695,1	-1731,3		60,9
Південна	977	378	-599	38,7		180,5	84,6	-95,9		46,9
Південно-Західна	28908	20552	-8356	71,1		4861,2	3181,5	-1679,7		65,5
Одеська	2840	1477	-1363	52,0		651,4	348,9	-302,5		53,6
Львівська	4414	1441	-2973	32,7		1168,1	295,7	-872,4		25,3
Українізниця	64286	39407	-24879	61,3		12198,6	7134,0	-5064,6		58,5

Показник	Величина по залізницях				
	Донецька	Придніпровська	Південна	Півд.-Західна	Одеська
Витрати ПЕР на 1	60	90	115	150	85
затримку, кВт год					
Кількість 2021 рік	5298	21595	910	27677	2362
затримок 2022 рік	12426	12426	299	11917	1337
Абсол. різн.	-2374	-9169	-611	-9760	-1221
% зміни	55,2	57,5	32,5	72,0	48,3
Економія, кВт-год	142,44	825,21	70,27	1164,00	103,78
Витрати ПЕР на 1	0,029	0,015	0,045	0,026	0,044
затримку, т ум пал					
Кількість 2021 рік	23	231	67	1231	479
затримок 2022 рік	6	206	95	635	339
Абсол. різн.	-17	-25	28	-596	-140
% зміни	26,1	89,2	141,8	51,6	33,1
Економія, т ум пал	0,49	0,38	1,26	15,50	6,16
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361
% зміни	55,1	57,9	40,3	71,1	52,6
Економія, т ум пал					
Кількість 2021 рік	5321	21826	977	28908	2841
затримок 2022 рік	12632	20532	390	14632	1441
Абсол. різн.	-2391	-9194	-583	-8356	-1361

локомотиви сусідів у своїх цілях неможливо через різні системи струму.

Існує визначена залежність між параметрами ділянки, числом поїздів на ньому і швидкістю руху.

У табл. 2.8 приведені результати розрахунку залежності між дільничною швидкістю, кількістю поїздів на ділянці, часом ходу і потужністю потоку. Зміна дільничної швидкості непрямолінійно залежить від збільшення кількості поїздів на ділянці. У період максимального насичення відбувається різке падіння швидкості руху зі збільшенням часу ходу (рис. 2.2).

Таблиця 2.8 – Розрахунок параметрів ділянки

Дільнична швидкість, км/год	Кількість поїздів на дільниці	Час руху по дільниці, год	Потужність потоку поїздів, км/год ²
20,3	44	7,3	120,54
24,7	36	6	148,2
29,6	30	5	177,6
34,5	26	4,3	208,6
			238,43
			244,57
			281,6
			285
55	14	2,7	285,17
55	12	2,7	244,4
55	10	2,7	203,7

На рисунку 2.3 показана залежність дільничної швидкості від кількості поїздів на ділянці. При мінімальній кількості поїздів вона буде близька до технічної, але з насиченням розмірів руху стане зменшуватися. У реальних умовах можливі її зміни в діапазоні від технічної швидкості до розрахункової, у даному випадку 48,5 км/год.

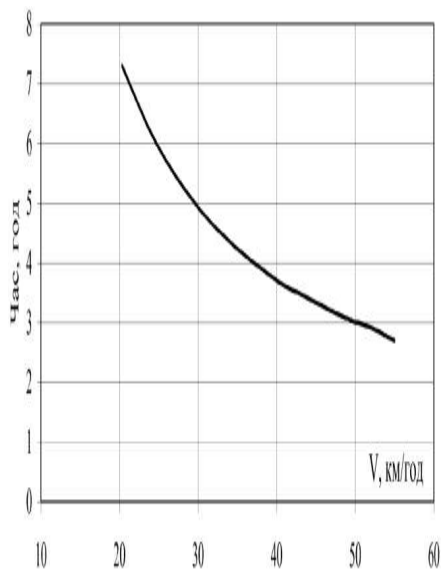


Рисунок 2.2 – Залежність часу ходу по ділянці від діляночної швидкості руху

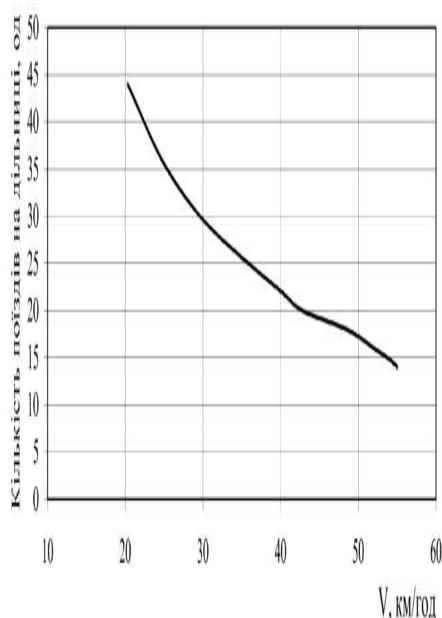


Рисунок 2.3 – Залежність діляночної швидкості від кількості поїздів на ділянці

Порівняємо ділянку з поїздами, які рухаються друг за другом зі стрічковим транспортером, потужність якого обмежена. Чим більше його навантажуємо, тим повільніше він переміщає вантаж і до моменту подачі останньої порції вантажу перша досягне пункту призначення. У даному випадку цікавить швидкість з який транспортер доставив до місця вантаж, час доставки і кількість цього вантажу. Ці три показники характеризують потужність потоку вантажів, яку можна представити як:

$$M = N \cdot \frac{V_{\partial}}{T_X}, \quad (2.10)$$

де $\frac{V_{\partial}}{T_X}$ – прискорення поїздів на всьому шляху проходження по ділянці, км/год²;

N – кількість поїздів на ділянці в даний період.

У табл. 2.8 показана зміна потужності потоку в залежності від кількості поїздів на ділянці, а на рис. 2.4 дана ця залежність у графічній формі.

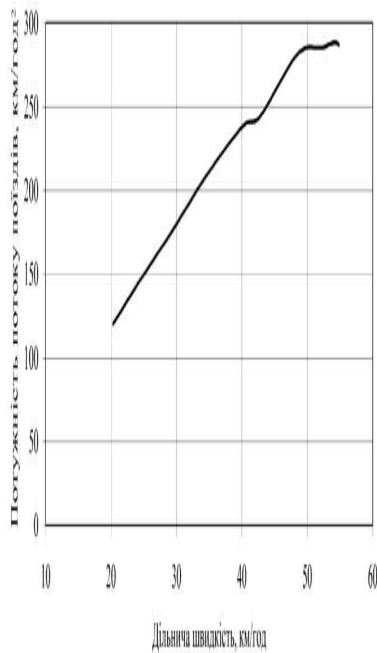


Рисунок 2.4 – Залежність потужності потоку поїздів від дільничної швидкості

З вище сказаного можна зробити висновок, що при розробці сучасних технологій, регламентуючих організацію залізничних перевезень, приходиться вирішувати комплекс задач на різних рівнях керування. Однієї з базових задач може стати задача вибору оптимальних режимів ведення поїздів (РВП). Успішність рішення даної задачі залежить від точності визначення критеріїв оптимальності і повноти обліку умов здійснення перевезень. Тому її рішення необхідно розглядати з позицій системного аналізу, на прикладі електрорухомого складу (ЕРС). У зв'язку з актуальністю створення енергетично оптимальних технологій організації і виконання перевезень в якості відповідного критерію

приймемо мінімум споживання електроенергії, а також мінімум її вартості. Вартісні показники ефективності перевезень необхідно визначати з використанням диференційованих тарифів оплати електроенергії, що розглядаються як новий компонент задачі РВП. У зв'язку зі значним розходженням вартості електроенергії в різні періоди доби (у пікових і нічних години – до 7 разів) при застосуванні диференційованих тарифів необхідно враховувати всі зміни рівня напруги на струмоприймачі електрорухомого складу. Застосування диференційованих тарифів оплати електроенергії при перевезеннях буде сприяти вирівнюванню навантажень тягових підстанцій і підвищенню економічності роботи енергосистем залізничного транспорту [14].

Можна виділити наступні рівні (і відповідні підсистеми) організації залізничних перевезень, які забезпечують ефективне вирішення задачі вибору оптимальних режимів ведення поїздів:

Перший I. Формування вагонопотоків по напрямках, визначення оптимальних міжпоїздних інтервалів і маси поїздів (у тому числі в різних тимчасових тарифних зонах оплати електроенергії).

Другий II. Систематизація показників електричної тяги в умовах використання диференційованих тарифів оплати електроенергії.

Третій III. Вибір оптимальних режимів відання поїздів по заданих ділянках (у тому числі в різні періоди доби) для конкретних типів електровозів.

До II рівня системи вибору електричної тяги відносяться технології комерційного обліку електроенергії, задачі, які розв'язуються завдяки створенню енергетичної моделі процесу перевезень та інтегрованих систем регулювання електроспоживання при тязі поїзда.

Зв'язок між першим і другим рівнями встановлюється наступними параметрами: обсягом перевезень $\sum Q(S_i, T)$ і міжпоїздним інтервалом $\Delta n(S_i, T)$ на ділянці S_i , у період доби T . Тут залежність міжпоїздного інтервалу від T обумовлена обліком диференційованих тарифів.

Рівні II і III задачі РВП зв'язані зі значеннями напруги $U(x, T)$ у точці x контактної мережі. Основною задачею, розв'язуваною на рівні III, є вибір РВП $U(x,$

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Q_l, Q_c, T) при веденні ЕРС – у залежності від положення точки x , періоду доби T , маси локомотива Q_l , маси поїзда Q_c , а також графіка руху (зв'язок з рівнем І).

Необхідність системного підходу до рішення задачі РВП пояснюється тим, що ізольований розгляд перерахованих вище складових багаторівневої структури не дозволяє виявити всі резерви для удосконалювання технології перевезень, знайти найбільш ефективні шляхи рішення проблеми енергетично оптимального забезпечення цього процесу і, зокрема, забезпечення оптимального РВП на основі критерію мінімуму електроспоживання і мінімуму вартості електроенергії з урахуванням реальних умов, у яких відбуваються перевезення.

Зміст і структура задачі РВП, а також присутність у ній факторів випадковості і невизначеності параметрів дозволяє класифікувати її як багаторівневу векторну стохастичну задачу оптимізації керування, при рішенні якої з урахуванням випадкових факторів вибирається оптимальний РВП.

Установлення на ділянці раціональної швидкості руху дозволить на 20-30% збільшити періоди між ремонтами шляху і на 10-15% знизити витрати енергії на тягу поїздів [15].

Підвищення дільничної швидкості приводить до росту продуктивності праці локомотивних бригад, збільшенню пропускну здатності залізничних ліній, скороченню капіталовкладень за рахунок вивільнення частини локомотивів.

Технічна швидкість залежить від тягових властивостей локомотива і можливостей їхнього використання (зняття обмежень швидкості і руху по ділянці і на станціях, вибір оптимальних режимів керування локомотивом, використання кінетичної енергії поїзда, що рухається, і т.д.). Для забезпечення високої швидкості руху поїздів велике значення має зниження основного опору руху, що досягається змістом вагонів і локомотивів у технічно справному стані і правильній підготовці поїзда до поїздки (закриття дверей вагонів, регулювання гальм і ін.).

Технічна швидкість, а виходить, і дільнична швидкість оказують дуже істотний вплив на рівень маршрутної швидкості руху. Резервом її підвищення є збільшення довжини ділянок обертання локомотивів і ділянок обслуговування

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

локомотивними бригадами, скорочення витрат часу на технічне обслуговування, екіпірування, прийом і здачу локомотивів [16].

Ріст швидкості руху приводить до скорочення потрібного експлуатаційного парку локомотивів на:

$$\Delta M_e = \frac{\sum MS_{\text{л}}^{\text{год}}}{365 \cdot 24} \left(\frac{1}{V_{\text{д}}^3} - \frac{1}{V_{\text{д}}^{\phi}} \right) = \frac{S_{\text{л}} M_e}{24} \left(\frac{1}{V_{\text{д}}^3} - \frac{1}{V_{\text{д}}^{\phi}} \right), \quad (2.11)$$

де $V_{\text{д}}^3$ і $V_{\text{д}}^{\phi}$ – дільнична швидкість відповідно задана і фактична, км/год;

$\sum MS_{\text{л}}^{\text{год}}$ – загальний річний пробіг локомотивів експлуатованого парку депо, км;

$S_{\text{л}}$ – середньодобовий пробіг локомотива, км/добу;

M_e – експлуатаційний парк локомотивів, од/добу.

Проведемо розрахунок зменшення експлуатаційного парку електровозів та тепловозів в порівнянні з 2022 роком при збільшенні дільничної швидкості на 5% (табл. 2.9, 2.10).

Таким чином, збільшення дільничної швидкості на 5% приведе до зменшення експлуатаційного парку електровозів на 12,61 одиницю за добу, а тепловозів на 3,72 одиниці в цілому по Укрзалізниці в порівнянні з 2022 роком.

Для оцінки впливу швидкості руху на вартість вантажної маси, що знаходиться в поїздах, можна скористатися формулою:

$$\Delta \Pi = k_0 B \left(\frac{L_{\text{пер}}}{V_{\text{д}}^3} - \frac{L_{\text{пер}}}{V_{\text{д}}^{\phi}} \right), \quad (2.12)$$

де k_0 – ціна 1т вантажу, грн;

B – маса вантажу, що відправляється за 1 год, т;

$L_{\text{пер}}$ – середня відстань перевезення, км.

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Зменшення експлуатаційного парку електровозів при збільшенні дільничної швидкості на 5%

Показник	Зменшення парку по збільшенню				
	Довжівка	Піддубина	Підл.-Заставна	Одасівка	Липинська
Дільнична швидкість фактич. км/год	37,5	39,1	43,8	39,4	40,8
Дільнична швидкість планов. км/год	39,4	41,1	46,0	41,4	42,8
Середньодобовий пробіг локомотивів, км/добу	447	441	466	479	450
Експлуатаційний парк, ваг/добу	115,79	139,57	28,32	109,34	77,44
Розрахунок парку, ваг/добу	113,05	136,45	27,72	106,70	75,75
Зменшення експлуатаційного парку, ваг/добу	2,74	3,12	0,60	2,64	1,69

Таблиця 2.10 - Зменшення експлуатаційного парку тепловозів при збільшенні дільничної швидкості на 5%

Показник	Зменшення парку по залізницям				
	Донецька	Придніпровська	Південна	Півд.-Західна	Одеська
Дільнична швидкість фактична, км/год	29,0	28,4	31,8	32,1	30,3
Дільнична швидкість задана, км/год	30,5	29,8	33,4	33,7	31,8
Середньодобовий пробіг локомотивів, км/добу	361	377	426	393	421
Експлуатаційний парк, оа/добу	20,03	14,34	35,75	11,38	24,57
Розрахунковий парк, оа/добу	19,54	13,96	34,80	11,10	23,89
Зменшення експлуатаційного парку, оа/добу	0,49	0,38	0,95	0,28	0,68
					0,94

2.2 Раціоналізація ділянок обертання локомотивів

З подовженням ділянок обертання локомотивів у вантажному русі при змінній їзді:

- по-перше, підвищується використання локомотивів за рахунок скорочення часу перебування їх на технічних станціях через зменшення числа кінцевих пунктів обороту;

- по-друге, зменшуються непродуктивні витрати на зміну локомотивних бригад у цих пунктах за рахунок проведення її (на транзитних поїздах) не на деповських коліях, а безпосередньо на станції. Це дає можливість скоротити час роботи бригад на напрямку в середньому на 10-15%. У ряді випадків при подовженні ділянок обертання створюються умови для подовження ділянок роботи бригад;

- по-третє, при подовженні ділянок обертання через скасування пунктів обороту і перетворення їх у пункти перечеплення локомотивів через пропуск їх без відчеплення від транзитних поїздів на 5-7 хвилин скорочуються технологічні норми стоянки поїздів, на 12-14% зменшується завантаження приймально-відправних шляхів і до 30% стрілочних горловин; завдяки зменшенню числа переміщень тепловозів (електровозів) по станційних коліях скорочується витрата палива (електроенергії). По-четверте, подовження ділянок звертання сприяє концентрації технічного обслуговування і поточних ремонтів локомотивів і веде до зменшення числа депо і кінцевих пунктів обороту [17].

Разом з тим, з подовженням ділянок обертання утрудняється своєчасне пересилання електровозів і тепловозів зі станцій їхнього надлишку в пункти збільшеної потреби через добову нерівномірність руху поїздів, ускладнюється своєчасна постановка локомотивів на поточні ремонти і технічне обслуговування. А несвоєчасне підсилення локомотивів у пункти недоліку через складність здійснення регулювальних мір на подовжених ділянках викликають простой готових поїздів.

Тому для забезпечення своєчасного вивозу поїздів з дільничних і сортувальних станцій необхідно на цих пунктах підтримувати визначене число

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локомотивів (додатковий парк) понад частку справних по нерівномірності руху. Додатковий парк локомотивів, як показали дослідження, залежить від розмірів руху, характеру вагонопотоків на напрямку, технічного оснащення лінії, непарності руху і системи змінно-добового планування поїзної роботи (тобто глибини і точності прогнозу розмірів руху), і вимірюється в розмірах від 2 до 12%. Крім того, з подовженням ділянок обертання зростають резервні пробіги як справних локомотивів, що впливають для заміни несправних, так і самих несправних при проходженні їх у депо і на ремонті. Тому витрати, зв'язані з заміною локомотивів у шляху проходження, з подовженням ділянок обертання збільшуються. Для ділянок обертання однакової довжини ці витрати залежать від «рейсової» надійності локомотивів, виду тяги, завантаження напрямку і розміщення пристроїв локомотивного господарства.

У зв'язку з тим, що з подовженням ділянки обертання одна група витрат скорочується, а друга росте, найвигідніша по техніко-економічних розуміннях (оптимальна) довжина ділянки обертання локомотивів буде відповідати мінімуму сумарних витрат, віднесених на 1 км. Розрахунками підтверджується, що оптимальна довжина ділянки обертання залежить від характеру поїздопотoku на напрямку, довжині ділянки роботи локомотивних бригад, виду тяги, числа головних шляхів на перегоні.

Але треба враховувати, що збільшення ділянок обертання с заходом ТРС на інші залізниці (відділення) може приводити значному погіршенню технічного стану локомотивів [18].

2.3 Підвищення маси поїзда

Маса поїздів впливає на розміри руху поїздів на дільницях. Кількість поїздів збільшується із зменшенням їх маси (складу). Це збільшує експлуатаційні витрати на просування поїздів: додаткові експлуатаційні витрати складатимуться із витрат на утримання локомотивних бригад, загальних витрат на паливо (електроенергію) при пересуванні поїздів змінного складу, на поточне утримання і ремонт верхньої будови колії, на збільшення пробігу поїзних локомотивів, а також на маневрові

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засоби за рахунок збільшення кількості поїздів свого формування.

В останні роки на залізницях України проводиться робота щодо зменшення кількості неповносоставних і неповновагових поїздів, збільшення кількості важковагових та збільшення середньої маси поїзда (табл. 2.11).

З погляду зниження питомої витрати електроенергії (палива) a , кВт/т підвищення вагової норми є вигідним, тому що коефіцієнт впливу ваги поїзда

$$K_B = \frac{\Delta a \cdot Q_0}{\Delta Q \cdot a_0}, \quad (2.13)$$

завжди негативний, тобто збільшення ваги поїзда ΔQ над базовим значенням Q_0 веде до зниження питомої витрати Δa в порівнянні з колишнім значенням a_0 . Таким чином, якщо $\Delta Q > 0$, то маємо $\Delta a < 0$, причому звичайно приходиться мати значення $K_B = (0,20-0,25)$, тобто кожен відсоток збільшення ваги Q дає зниження питомої витрати на 0,20-0,25%.

Необхідно відзначити, що перед підвищенням ваги, а відповідно і довжини вантажних поїздів необхідно провести відповідну підготовку інфраструктури.

Насамперед, довжина поїзда повинна відповідати корисній довжині приймально-відправних шляхів, особливо на станціях, де проводяться технічні операції, бо у ряді випадків на дільничних станціях при обробці поїздів і зміни локомотивних бригад поїзда можуть перекривати горловини станцій, що не тільки не відповідає діючим нормативам проектування споруджень і пристроїв залізниць, але і є потенційним джерелом порушення безпеки і безаварійності руху поїздів.

Також, однією з умов надійної роботи локомотивів є запас по силі тяги на керівному підйомі – не менш 10%.

Не менш істотне забезпечення тяги поїздів підвищеної ваги надійним електропостачанням, щоб уникнути неприпустимого спадання напруги і, особливо, нагрівання проводів, що приведе в кращому випадку до спрацьовування швидкодіючого захисту, а, можливо, і до перевитрати контактного проводу.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 – Кількість проведених поїздів на залізницях України

Показник	Період	Донецька	Придніпровська	Кіровоградська по залізницях		Одеська	Львівська
				Південна	Південно-Західна		
Кількість неоновисадкових поїздів	2021	2208	2541	47	363	154	3667
	Абсол. різн.	1278	590	156	261	436	566
	% зміни	87,4	103,5	255,5	171,9	383,1	83,8
Кількість неоновисадкових поїздів	2022	2047	3475	360	343	182	202
	Абсол. різн.	-258	1940	82	-159	-25	-225
	% зміни	-20,2	154,4	188,8	62,3	-16,2	-22,6
Недодіслані в напрямку поїздів, тис. т	2021	13368	11364	429	1940	205,9	1100,9
	Абсол. різн.	1321,7	1136,4	42,9	13,4	123,1	-53,2
	% зміни	98,2	46,6	17,0	13,4	123,1	-53,2
Кількість важкопассажирських поїздів	2021	41278	77685	29081	26943	25713	4442
	Абсол. різн.	42837	75316	28369	27700	39093	4032
	% зміни	103,8	97,0	97,2	102,8	152,0	90,8
Перевезено в поїздах пасажирів, тис. т	2021	264750	62029,4	17936,5	12663,0	13703,0	2089,7
	Абсол. різн.	2270,9	346,1	5720,3	2500,2	8084,8	-148,4
	% зміни	108,6	99,4	131,9	112,7	159,8	92,9
Усього проведено поїздів	2022	112628	111676	52660	57021	90173	2248
	Абсол. різн.	1479	-26	6173	-469	9759	-2536
	% зміни	101,3	100,0	113,2	99,2	112,1	95,4

0032.180143.000.03MP.ПЗ

Арк.

38

Змн.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Також при постановці значного числа тягових осей у голову поїзда збільшуються зусилля розтягання зчіпок і зчіпки в головній частині поїзда будуть працювати у граничному режимі. При рекуперативному гальмуванні електровоз не зможе реалізувати повну гальмову силу через можливість вижимання вагонів з колії. Цю силу приходиться обмежувати практично вдвічі. Тому на шкідливих спусках звичайно застосовують спільно рекуперативне і пневматичне гальмування. Відповідно, практично вдвічі знижується повернення енергії в тягову мережу. Тому в такому випадку підвищення вагових норм приведе до погіршення показників економічності і безпеки [19].

Однак такий спосіб водіння вантажних поїздів вимагає рішення проблеми подовжньої динаміки, тобто розробки алгоритму регулювання електровозних секцій при веденні поїзда по ділянці з переломами профілю. Тут у принципі, можливі режими, коли частина секцій повинна реалізовувати тяговий режим, а частина – гальмової. Критерієм є мінімізація максимальних зусиль у зчіпках за умови дотримання заданого режиму, наприклад, підтримки заданої постійної швидкості чи поїзда заданих значень прискорення-затримки.

Перегони і ділянки залізничних ліній мають різний профіль колії, отже, конкретний тип і серія локомотива при повному використанні його потужності може вести на різних ділянках поїзди різної маси. Однак зміна маси поїзда перед кожним новим чи перегоном ділянкою зовсім недоцільно і практично неможливо (крім збірних поїздів), тому для поїздів, що впливають між станціями формування, встановлюють уніфіковану (єдину) норму маси поїзда. Вона встановлюється по найважчому перегоні, а потім за рахунок використання економічно доцільних заходів може бути підвищена до оптимальної величини. До таких заходів відносяться застосування на окремих ділянках підштовхування, подвійної тяги, використання більш могутнього локомотива, скасування зупинки перед керівним підйомом, зняття обмежень швидкості для нагромадження кінетичної енергії поїзда і т.д. Техніко-економічну оцінку обраних заходів дають на підставі аналізу профілю колії кожної ділянки і тонно-кілометрової діаграми Q-S. Діаграма показує розрахункову масу поїзда для кожної ділянки і дозволяє визначити необхідну величину збільшення цих норм до обраної уніфікований, а

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

потім на підставі аналізу профілю колії окремих ділянок намітити відповідні заходи для забезпечення уніфікованої норми.

Підвищення маси поїзда на ΔQ шляхом кращого використання потужності локомотива при незмінній ходовій швидкості приводить до зменшення добового пробігу на $\Delta MS_{\text{л}}^{2\text{л}}$, але одночасно збільшує витрати, зв'язані з формуванням поїздів великої маси.

Підвищити середню масу вантажних поїздів можна, насамперед за рахунок застосування раціональних режимів водіння поїздів, зменшення неповновагих і неповносоставних поїздів, умілого використання кінетичної енергії поїзда, подовження станційних колій для прийому, формування і відправлення поїздів.

Підштовхування може здійснюватися на лініях з важким профілем. Ефективність цього заходу підвищується, якщо кількість перегонів з великими схилами на ділянці невелика і вони розміщені поряд. Для подолання крутих схилів використовується допоміжний локомотив-підштовхувач. У результаті сила тяги поїзних локомотивів буде використовуватись ефективно по всій довжині маршруту прямування таких поїздів.

Економічний ефект від підвищення маси поїзда на ΔQ складе

$$\Delta \epsilon = \Delta NL \cdot e_{\text{нк}} + \Delta MS_{\text{л}}^{2\text{л}} \cdot e_{\text{лк}} - \Delta Q \cdot e_Q, \quad (2.14)$$

де $e_{\text{нк}}$ – вартість 1 поїздо-кілометра, грн;

$e_{\text{лк}}$ – вартість 1 локомотиво-кілометра, грн;

e_Q – вартість формування поїзда, віднесена до 1 т його маси, грн.

При економічному обґрунтуванні доцільності застосування підштовхування порівнюють витрати, які залежать від маси і швидкості, тому що підвищення потужності локомотивів використовується для збільшення маси поїздів, а надлишок – для збільшення швидкості руху поїздів. Для вибору ефективного варіанта пересування поїздів на мережі залізниць порівнюють витрати в разі одиночної тяги і в разі підштовхування. Зокрема, оцінюються економія

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційних витрат, отримана за рахунок збільшення маси поїзда, і додаткові витрати на спорудження та утримання пунктів підштовхування, на розширення локомотивного парку, вартість підштовхування поїздів, одиночне прямування локомотивів-підштовхувачів і їх простої в очікуванні роботи.

2.4 Підвищення середньодобового пробігу локомотивів

Найголовнішим принципом роботи доріг повинно бути прагнення виконати якнайбільше тонно-кілометрів за кожну локомотиво-годину з найменшою витратою вагоно-кілометрів. Отже, поряд з максимально можливим (раціональним) використанням потужності локомотивів необхідно підвищувати середньодобовий їхній пробіг.

Найвище його значення, мабуть, буде, коли час перебування локомотивів на станціях обороту $t_{cm o}$ і перецеплення $t_{cm n}$, а також зміни локомотивних бригад $t_{зм}$ не перевищує технологічної норми часу, установленної для виконання технічних операцій, тобто коли фактичний час чекання локомотивом поїзда в пунктах обороту $t_{cm o}$, перецеплення $t_{cm n}$ і зміни локомотивних бригад $t_{зм}$ дорівнює нулю [17].

Це звичайно неможливо, бо при досягненні на заданому напрямку гранично можливого скорочення питомих простоїв локомотивів подальше підвищення швидкості руху буде супроводжуватися визначеним зниженням часу корисної роботи локомотива, але середньодобовий пробіг і продуктивність локомотива будуть рости [20].

Якщо простої локомотивів на станціях їхньої приписки, включаючи час перебування в основному депо, і на станціях обороту, що складають a відсотків загальної витрати локомотиво-годин на перевози $\sum Mt$, зменшаться на b , то експлуатований парк скоротиться на:

$$\Delta M_e = 0,01ab \frac{\sum Mt}{24} \cdot \frac{24}{\sum Mt} = 0,01ab. \quad (2.15)$$

В 2022 році, в цілому по Укрзалізниці, простої в основних депо та

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оборотних складають для електровозів 47% і тепловозів 52% загальних витрат локомотиво-годин на перевезення. Якщо ці простої зменшаться на 10%, то зменшення потреби парка електровозів сягне:

$$\Delta M_e^e = 0,01 \cdot 47 \cdot 10 = 4,7\%.$$

Для тепловозів парк зменшиться на:

$$\Delta M_e^m = 0,01 \cdot 54 \cdot 10 = 5,4\%.$$

Тобто експлуатаційний парк електровозів по Укрзалізниці зменшиться на 25, а тепловозний парк на 7,5 одиниць за добу. Розрахунок для залізниць проведемо в табличній формі (табл. 2.12, 2.13).

Таке підвищення середньодобового пробігу локомотивів можливо за рахунок зменшення питомого (віднесеного на 1 км пробігу) часу їхнього перебування на станціях обороту і перечеплення.

Збільшення середньодобового пробігу вивільняє частину локомотивів, забезпечує ріст продуктивності праці локомотивних бригад, дозволяє краще використовувати основні засоби, зменшує експлуатаційні витрати, зв'язані з перевезеннями вантажів, і, в остаточному підсумку, підвищує рентабельність локомотивного господарства й ефективність перевізного процесу.

Найважливішими організаційно-технічними заходами щодо збільшення середньодобового пробігу локомотивів є:

- подовження ділянок обертання локомотивів (безвідчіпного пробігу з поїздами);
- подовження ділянок роботи локомотивних бригад;
- поліпшення планування поїзної роботи й оперативного керівництва рухом поїздів;
- удосконалювання плану формування і графіка руху поїздів, технологічних процесів обробки вагонів і підготовки їхній до рейса, тобто скорочення часу стоянок для технічних потреб.

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12 – Зменшення експлуатаційного парка електровозів в випадку зменшення простоїв на 10%

Показник	Зменшення парку електровозів по залізницях					
	Донецька	Придніпровська	Південна	Півд.-Західна	Одеська	Львівська
Простою локомотивів в день та на станціях обороту, %	4,5	5,0	6,0	4,5	4,3	4,5
Зменшення експлуатаційного парка, %	4,5	5	6	4,5	4,3	4,5
Фактичний парк, од/добу	115,79	139,57	28,32	76,77	109,34	77,44
Розрахунковий парк, од/добу	110,58	132,59	26,62	73,32	104,64	73,96
Зменшення експлуатаційного парка, од/добу	5,21	6,98	1,70	3,45	4,70	3,48

Таблиця 2.13 – Зменшення експлуатаційного парка тепловозів у випадку зменшення простоїв на 10%

Показник	Зменшення парку тепловозів по залізницях				
	Донецька	Придніпровська	Південна	Півд.-Західна	Одеська
Простої локомотива в депо та на станціях обороту, %	5,6	5,2	50,5	55,5	4,9
Зменшення експлуатаційного парка, %	5,6	5,2	5,05	5,55	4,9
Фактичний парк, од./добу	20,03	14,34	35,75	11,38	24,57
Резервний парк, од./добу	18,91	13,59	33,94	10,75	23,37
Зменшення експлуатаційного парка, од./добу	1,12	0,75	1,81	0,63	1,20
					1,75

Підвищення середньодобового пробігу локомотивів з $S_{л}'$ до $S_{л}''$ за рахунок скорочення простоїв зменшує витрати, зв'язані з простоями локомотивів, а також зменшує необхідний експлуатований парк локомотивів на величину

$$\Delta M_e = \left(\sum \frac{MS_{л'}^{лін'}}{S_{л'}} \right) - \left(\sum \frac{MS_{л''}^{лін'}}{S_{л''}} \right), \quad (2.16)$$

у процентному відношенні

$$\Delta M_e = 100 \left(1 - \frac{S_{л'}}{S_{л''}} \right). \quad (2.17)$$

Тобто, якщо середньодобовий пробіг збільшити в середньому на 10%, то необхідний експлуатований парк локомотивів зменшиться на 9%.

Розрахуємо зменшення експлуатаційного парку локомотивів по залізницям за умови, що середньодобовий пробіг збільшився на 10% в порівнянні з 2022 роком (табл. 2.14, 2.15).

Якщо вивільнені локомотиви відставляють у запас, то відповідно їхній вартості скорочуються відрахування на капітальні ремонти. Ці скорочення представляють реальну річну економію $\Delta \epsilon$, грн:

$$\Delta \epsilon = \Delta M_e C_{л} \alpha_{рен}^л, \quad (2.18)$$

де $C_{л}$ – ціна локомотива, грн;

$\alpha_{рен}^л$ – реноваційні відрахування, %.

2.5 Підвищення середньодобової продуктивності локомотивів

На середньодобову продуктивність локомотивів впливають найважливіші показники їхнього використання: маса поїзда, середньодобовий і допоміжний пробіг локомотивів [20]. Цей показник визначають за формулою

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 2.14 – Зменшення експлуатаційного парку електровозів в порівнянні з 2022 роком в випадку збільшення середньодобового пробігу на 10%

Показник	Зменшення парку по залізницям				
	Донецька	Придніпровська	Південна	Півд.-Західна	Львівська
Розрахунковий середньодобовий пробіг, км/добу	447	441	466	585	479
Фактичний середньодобовий пробіг, км/добу	492	485	513	644	527
Фактичний експлуатаційний парк, ода/добу	115,79	139,57	28,32	76,77	109,34
Зменшення парку, %	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
Розрахований експлуатаційний парк, ода/добу	105,26	126,88	25,75	69,79	99,40
Зменшення парку, ода/добу	10,53	12,69	2,57	6,98	9,94
					7,04

Таблиця 2.15 – Зменшення експлуатаційного парку тепловозів в порівнянні з 2022 роком в випадку збільшення середньодобового пробігу на 10%

Показник	Листопада	Грудня	Зменшення парку по збільшенню середньодобового пробігу			Листопада	Грудня
			426	393	421		
Розрахунковий середньодобовий пробіг- км/добу	361	377	426	393	421		347
Фактичний середньодобовий пробіг- км/добу	397	415	469	432	463		382
Зменшення парку, %	20.03	14.34	35.75	11.38	24.57		32.43
Розрахунковий експлуатаційний парк, ва/добу	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1		9.1
Зменшення парку, ва/добу	18.21	13.04	32.50	10.35	22.34		20.48
Зменшення парку, ва/добу	1.82	1.30	3.25	1.03	2.23		2.05

$$W_{\text{л}} = \frac{\sum NLQ}{M'_e}, \quad (2.16)$$

де $\sum NLQ$ – загальні т-км брутто враховуючи поодинокі слідувачі локомотиви,
т-км брутто;

M'_e – експлуатаційний парк, включаючи локомотиви поодинокі слідувачі,
зайняті на підштовхуванні, і ті що працюють кратною тягою і по
системі багатьох одиниць.

Для вияву резерву збільшення продуктивності локомотивів розрахунок
ведеться по розгорнутій формулі:

$$W_{\text{л}} = Q_{\text{ср}} S_{\text{л}} \left(1 - \beta_{\text{дв}} - \beta_{\text{од}} - \beta_{\text{кр}} \right) \frac{1 - \mu_m}{1 - \alpha_{\text{од}}}, \quad (2.17)$$

де $Q_{\text{ср}}$ – середня маса поїзда вантажного поїзда брутто, т;

$S_{\text{л}}$ – середньодобовий пробіг локомотива, км;

$\beta_{\text{дв}}$ – коефіцієнт подвійної тяги, обумовлений як відношення пробігу
локомотивів (у локомотиво-км) при подвійній тязі до загального
лінійного пробігу;

$\beta_{\text{од}}$ – коефіцієнт одиночного проходження, обумовлений як відношення
пробігу локомотивів при одиночному проходженні до загального
лінійного пробігу;

$\beta_{\text{кр}}$ – коефіцієнт кратної тяги, обумовлений як відношення пробігу
локомотивів, які працюють по системі багатьох одиниць, до загального
лінійного пробігу;

μ_m – коефіцієнт підштовхування, який визначається як відношення кількості
локомотивів, зайнятих на підштовхуванні, до експлуатованого парку з
урахуванням штовхачів;

$\alpha_{\text{од}}$ – частка річного вантажообігу брутто, освоєна поодинокі слідувачими

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локомотивами в загальному вантажообігу.

Вираз

$$\psi_{\text{л}} = 1 - \beta_{\text{дв}} - \beta_{\text{од}} - \beta_{\text{кр}} \frac{1 - \mu_m}{1 - \alpha_{\text{од}}}, \quad (2.18)$$

представляє собою коефіцієнт продуктивності локомотива.

З приведених виразів випливає, що продуктивність локомотива можна підвищити за рахунок збільшення середньої маси поїзда $Q_{\text{ср}}$, середньодобового пробігу $S_{\text{л}}$ і коефіцієнта продуктивності локомотива $\psi_{\text{л}}$ шляхом зниження коефіцієнтів допоміжної роботи β і μ_m . Можливості підвищення $Q_{\text{ср}}$ і $S_{\text{л}}$ були розглянуті вище. Підвищення продуктивності локомотива за рахунок збільшення маси поїзда ефективніше, ніж підвищення за рахунок збільшення середньодобового пробігу локомотива, тому що в першому випадку збільшення продуктивності веде не тільки до вивільнення визначеної кількості локомотивів, але і до скорочення кількості поїздів для освоєння заданих розмірів перевезень вантажів, до зниження питомої витрати чи палива електроенергії.

Ефективне підвищення продуктивності локомотивів шляхом зниження пробігу локомотивів в одиночному прямованні за рахунок удосконалювання оперативного планування, регулювання локомотивного парку, раціонального розміщення і використання локомотивів, що знаходяться в чеканні роботи. Зниження коефіцієнтів підштовхування, подвійної і кратної тяги також веде до підвищення продуктивності, але за умови збереження маси поїзда, що може бути забезпечене в даному випадку за рахунок кращого використання потужності локомотивів, зменшення основного і додаткового опору руху, вибору оптимальних режимів ведення поїзда, у тому числі максимального використання кінетичної енергії поїзда.

Комплексним показником використання локомотивів є середньодобова його продуктивність у тонно-кілометрах бруто. Аналіз цього показника з оцінкою впливу різних факторів на його виконання дозволяє визначити якість

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання локомотивів. Основним джерелом цього аналізу є дані оперативної і статистичної звітності. Продуктивність локомотива визначається за формулою:

$$W = Q_{cp} \cdot S_{л} \cdot \psi_{л}, \quad (2.19)$$

Для оперативного аналізу застосуємо наступний вираз:

$$\Delta W_i = k_{xi} \cdot \Delta x_i, \quad (2.20)$$

де ΔW_i – збільшення (чи зменшення) середньодобової продуктивності

локомотивів при зміні i – го фактору (Q_{cp} , $S_{л}$ або $\psi_{л}$) на величину Δx_i ;

k_{xi} – параметр впливу i – го фактору.

Загальне збільшення продуктивності локомотива визначається по формулі:

$$\Delta W = \sum_{\Phi} \Delta W_i, \quad (2.21)$$

де Φ – число факторів, які впливають на продуктивність локомотивів.

Величина параметра впливу може бути визначена по формулі:

$$k_{xi} = \frac{dW}{dx_i} = \frac{d(Q_{cp} S_{л} \psi_{л})}{dx_i}. \quad (2.22)$$

Наприклад, параметр впливу маси поїзда на продуктивність локомотива дорівнює приватної похідної функції:

$$k_{\psi} = \frac{d(Q_{cp} S_{л} \psi_{л})}{dQ_{cp}} = \frac{W}{Q_{cp}}. \quad (2.23)$$

Параметр впливу середньодобового пробігу локомотивів визначиться як:

					0032.180143.0000.03MP.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\psi} = \frac{d(Q_{cp} S_{л} \psi_{л})}{dS_{л}} = \frac{W}{S_{л}}. \quad (2.23)$$

Параметр впливу коефіцієнта продуктивності локомотивів:

$$k_{\psi} = \frac{d(Q_{cp} S_{л} \psi_{л})}{d\psi_{л}} = \frac{W}{\psi_{л}}. \quad (2.24)$$

Аналітична залежність продуктивності локомотивів від факторів, які впливають, встановлюється виходячи з існуючого порядку обліку показників.

2.6 Автоматизація процесу ведення поїзда

Альтернативою введення режимних карт є впровадження мікропроцесорного комплексу ведення локомотива.

Удосконалювання систем автоблокування (АБ) тісно зв'язано з точністю визначення місця перебування локомотива й останнього вагона поїзда на перегоні і блок-ділянці. Найбільш ефективним варіантом рішення тут є використання супутникових систем навігації для визначення координат і інших параметрів руху поїзда. Це дозволить забезпечити передачу на локомотив великого обсягу сигнальної інформації, обробка якої можлива тільки з використанням бортовий ЕОМ. У такому випадку багато функцій машиніста можуть виконуватися автоматично діючими пристроями.

Однак у даний час усі можливості автоматизації процесу ведення поїзда по різних причинах ще не визначені. Так, останніми дослідженнями комплексу «людина-локомотив-середовище», виконаними в Україні, встановлено, що для правильного розподілу функцій між людиною та автоматичними пристроями можна розділити діяльність машиніста на внутрішню і зовнішню. До внутрішньої діяльності варто віднести спостереження за показаннями сигнальних приладів локомотива, напільних світлофорів і інших пристроїв на перегонах і роздільних пунктах. Така інформація накопичується й осмислюється машиністом, а потім він приймає рішення про режим ведення поїзда. Зовнішня діяльність – це виконання

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

машиністом визначених маніпуляцій на пульті керування, що приводять до зміни швидкості руху поїзда. Дослідженнями встановлено, що внутрішня діяльність занадто перевантажує нервову систему машиніста і відволікає його від більш важливої, з погляду безпеки руху, зовнішньої діяльності. У зв'язку з цим, можна перенести на автоматичне керування по можливості велику частину діяльності машиніста, зв'язаної з вибором режиму руху поїзда. Однак у такому випадку на машиніста необхідно впливати ззовні, щоб підвищувати його пильність і підтримувати з ним безупинний контакт при прямуванні поїзда по ділянках [21].

У достатній мері рішення названої проблеми відповідають локомотивні системи – КЛУБ-У і КУРС-Б. Оскільки більш зробленої і перспективний є система КУРС-Б, докладніше розглянемо її.

Основні функції цієї системи:

- реєстрація даних про локомотивну бригаду, локомотив, категорію поїзда і маршрут руху;
- прийом, розшифровка й індикація сигнальної інформації, прийнятої по каналах АЛСН, АЛС-ЕН, АЛСТ і радіоканалам;
- визначення координат місцезнаходження поїзда в якийсь проміжок часу і визначення швидкості його руху через супутникові навігаційні пристрої;
- вимір локомотивним датчиком фактичної швидкості руху поїзда і її індикація;
- визначення і контроль максимально припустимої швидкості руху поїзда;
- перевірка умов безпечного руху поїзда, у тому числі контроль стану машиніста за допомогою телесигналізації;
- реєстрація всіх параметрів руху поїзда і дій машиніста на знімній касеті з наступним дешифруванням;
- автоматичне службове й екстрене керування гальмами поїзда;
- видача локомотивній бригаді мовних повідомлень;
- діагностика пристроїв і індикація їхнього стану.

Одним з достоїнств цієї системи є можливість застосування пристроїв автоматичного керування гальмами поїзда (САУТ). Це дозволить реалізувати

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступні основні функції:

- автоматизоване службове гальмування поїзда до установленної швидкості;
- плавне автоматичне регулювання швидкості поїзда службовим гальмуванням до повної зупинки перед світлофором з забороняючим сигналом;
- плавне автоматичне зниження швидкості поїзда до встановленого значення у випадку проїзду вхідного світлофора з двома жовтими вогнями.

Очевидно, що підвищити рівень автоматизації ведення поїзда можна шляхом доповнення системи КУРС-Б пристроями, що дозволяють в автоматичному режимі знижувати чи збільшувати швидкість руху.

Однак спеціальними дослідженнями, проведеними на магістральних залізницях України, встановлено, що в даний час машиністи ще не готові до керування поїздом в автоматичному режимі при непередбачених обставинах. До останніх можна віднести падіння контактного проводу, небезпечну ситуацію на переїзді, зрушення вантажу і т.д.

З іншого боку, як відомо, машиніст не застрахований від помилок, і в критичних ситуаціях його діяльність необхідно контролювати спеціальними пристроями. Такі пристрої не повинні впливати на режим керування поїздом у тих випадках, коли машиністом виконуються необхідні умови безпеки руху. У протилежному випадку пристрою повинні по заздалегідь установлених правилах вступити в дію і знизити швидкість руху чи поїзда зупинити його.

Ефективність автоматизованих пристроїв багато в чому залежить від ступеня устаткування парку рухливого поїзда різними датчиками і від їхнього взаємозв'язку зі шляховими пристроями, що зчитують.

Таким чином, багатофункціональні локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїзда, за допомогою яких можна раціонально контролювати дії машиніста, у сполученні з ефективними системами інтервального регулювання в цілому складають комплекс керування безпечним рухом поїздів на перегонах. Цей комплекс дозволяє вчасно діагностувати стан машиніста на перегонах і в максимальній мірі виключає небезпечні дії останнього.

Використання систем супутникової навігації дозволить обробляти

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформацію про всі поїзди, що рухаються за графіком на мережі залізниць України, не чекаючи переходу їх через стикові й інші пункти доріг. Це значно розширює можливості взаємодії диспетчерського апарата з об'єктами і системами керування. До складу останніх можуть входити «інтелектуальний диспетчерський центр і «інтелектуальна» станція, що ефективно керують поїзною і маневровою роботою, без устаткування перегонів дорогими напільними пристроями.

Зокрема, вже розроблений навігаційний приймач типу МРК-14, який входить до складу апаратури локомотива і може працювати тільки із супутниками GPS.

Цей приймач має наступні характеристики:

- погрішність визначення місцезнаходження об'єкта по лінії руху не більше ніж 30 м;
- погрішність визначення шляхової швидкості не більше 0,1 м/с;
- погрішність визначення бортового часу щодо Державного еталона часу і частоти не більше 1 с;
- повторне захоплення сигналу супутника при його короткочасній втраті в результаті затемнення – не більш 20 с.

Даний приймач забезпечує автоматичне відновлення, запис і збереження архіву даних, одержуваних від супутникових систем.

Таким чином, упровадження системи КУРС-Б, який працює на основі інформаційних сигналів, що надходять від супутників, дозволить більш оперативно і точно визначати місцезнаходження поїзда при автоматичному режимі його руху. Автоматизація керування режимом руху забезпечить оптимальний вибір швидкості на конкретному перегоні, чи ділянці станції, дозволить зменшити кількість дорогого напільного устаткування і поліпшити безпеку руху до рівня вимог Європейської системи.

2.7 Автоматизація керування локомотивним парком

Важливим фактором зниження собівартості перевезень і підвищення їхньої прибутковості є розробка і впровадження комплексних автоматизованих систем,

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимізує організацію експлуатаційної роботи залізниць. Однією з них є автоматизована система керування експлуатацією локомотивів (АСУлок), яка покликана підвищити надійність і економічність тягового забезпечення перевізного процесу [17].

Система експлуатації локомотивів містить у собі широке коло досить складних задач. У їхнє число, зокрема, входять:

- розміщення видів тяги і серій локомотивів на мережі залізниць, а також визначення вагових норм поїздів;
- встановлення схем і довжин ділянок обертання локомотивів і роботи локомотивних бригад;
- добове, місячне, на графік руху поїздів і річне нормування потреби в локомотивах і локомотивних бригадах, а також її прогнозування на далеку перспективу;
- організація явки локомотивних бригад на роботу;
- оперативне планування і регулювання роботи локомотивів і локомотивних бригад (тобто питання оперативного керівництва експлуатацією локомотивів);
- вибір раціональних режимів водіння поїздів;
- система показників використання локомотивів.

Більшість цих задач повинно вирішуватися на основі графіка руху поїздів як технологічної основи перевізного процесу в рамках створюваних інформаційних технологій і, зокрема, при формуванні комплексу «Керування перевізним процесом».

Основою технології керування роботою поїзних локомотивів є заданий на місяць твердий графік їхнього обороту. Відправлення і пропуск поїздів повинний вироблятися по фіксованих розкладах, гарантовано забезпеченим локомотивами і бригадами.

Облік реальної нерівномірності вагоно- і поїздопотоків забезпечується за рахунок застосування сполученого варіантного графіка руху (СВГР). Конструкція СВГР забезпечує: використання того самого графіка в різних експлуатаційних

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ситуаціях; більш високу дільничну швидкість і менше число зупинок під обгоном і схрещенням поїздів для найбільше часто використовуваних протягом року ниток графіка. У залежності від добових і сезонних коливань вагонопотоків СВГР може містити в собі не менш трьох і не більш п'яти варіантів розмірів руху, що забезпечують стійкий вивіз поїздів із сортувальних і дільничних станцій.

При побудові СВГР для першого варіанта технології керування рухом поїздів він містить три категорії розкладів: ядро (для пропуску поїздів цілорічного обертання), факультативні (для погашення сезонних коливань поездопотока) і додаткові (для пропуску поїздів у період різких коливань вагонопотоків в місяці максимальних перевезень). Число розкладів для пропуску поїздів ядра складає 60-75% середньодобових розмірів руху за місяць мінімальних перевезень.

На напрямках зі значними коливаннями потоків вантажних поїздів (другий варіант керування поїзною роботою) додатково виділяються розклади ще двох проміжних розмірів руху. У цьому випадку СВГР буде містити розкладу п'яти категорій вантажних поїздів: ядра, факультативного, додаткового, разових і місяця максимальних перевезень.

Твердий графік обороту локомотивів, що є технологічною основою організації їхньої роботи, складається на планований місяць виходячи з числа розкладів графіка, рівного:

- при першому варіанті – кількості твердих ниток, що складає 60-75% середньодобових розмірів вантажного руху в планованому місяці;
- при другому варіанті – кількості ниток графіка, що складає 1,12-1,20 середньодобових розмірів вантажного руху в планованому місяці.

Твердий графік обороту тягових засобів повинний складатися як технологічна основа оперативної роботи локомотивів з урахуванням надання вікон для ремонтно-будівельних робіт, із указівкою послідовності постановки локомотивів на технічне обслуговування ТО-2 і екіпірування. Одночасно з цим він є базою місячного нормування постановки локомотивів на поточний ремонт і технічне обслуговування ТО-3 і ТО-4. При цьому передбачається принцип рівночисленного обміну локомотивами між службами перевезень і локомотивного

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

господарства, тобто при заході локомотива в депо на ТО-3 і ТО-4 замість з депо повинний видаватися справний локомотив.

Крім того, при складанні графіка обороту локомотивів повинно передбачатися резервування для захисту від впливу випадкових збурювань, які виникають у перевізному процесі. Це здійснюється шляхом збільшення мінімальних технологічних норм на станціях обороту і перечеплення на 3-5% часу ходу по попередньому ділянці роботи бригади (це забезпечує створення резерву близько 10-12 хвилин для існуючих умов).

Як у першому, так і в другому варіантах нових технологій керування поїзною роботою щомісяця для кожної ділянки визначаються плановані розміри вагоно- і поїздопотоків. На цій основі вибирається набір числа розкладів у СВГР, що забезпечує стійкий вивіз поїздів із сортувальних, дільничних і стикових станцій. Для цього числа розкладів складаються твердий графік обороту локомотивів і іменні розклади роботи локомотивних бригад. Нормативи графіка обороту локомотивів, що діють протягом місяця, є базою оперативного керування.

Практика роботи і проведені дослідження показують, що при розмірах руху поїздів на ділянці, не перевищуючих їхній розрахункового значення по пропускній здатності, зв'язок між інтенсивностями вхідного і вихідного потоків поїздів описується лінійною функцією: зі збільшенням вхідного потоку зростає і вихідний. Така позитивна реакція системи руху поїздів на ділянці зберігається тільки до настання стану насичення, коли вхідний потік поїздів відповідає максимальному по пропускній здатності. Подальше його збільшення приводить до перенасичення ділянки поїздами: швидко зростає щільність їхнього розміщення, поїзда всі частіше впливають на жовтий сигнал чи світлофора рухаються з зупинками в чеканні зміни червоного вогню на жовтий. Це погіршує використання пропускної здатності ділянки й утрудняє виконання нормативів графіка руху поїздів, що позначається на продуктивності локомотивів, оборот вагонів і інші параметри.

Гнучка технологія оперативного керування поїзною роботою повинна базуватися на прогнозі складоутворення на станціях зародження поїздів, технічних,

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вузлових, стикових, вантажних станціях, підходу поїздів до стикових станцій, вантажної роботи [22].

З урахуванням прогнозу підведення поїздів і нагромадження чи поїздів тільки прогнозу нагромадження на підставі плану формування поїздів устанавлюється порядок складоутворення, що разом із планом обслуговування транзитних поїздів без переробки визначає план поїздоутворення. Але без необхідних регулювальних мір можливі простої сформованих відповідно до плану поїздів у чеканні локомотивів і відправлення, тобто необхідно перевіряти можливість реалізації цього плану по забезпеченості локомотивами, локомотивними бригадами і наявністю вільних ниток графіка руху.

Використання наявної пропускнуої здатності ділянок багато в чому залежить від ефективності регулювання локомотивного парку. У результаті коливань розмірів руху поїздів на технічних і вантажних станціях число поїздів, готових до відправлення, періодично перевищує наявність локомотивів і навпаки. Якщо система регулювання локомотивного парку не забезпечує збалансованості локомотивів і поїздів у пунктах їхнього формування і зміни локомотивів, то в першому випадку не досягається своєчасний вивіз поїздів зі станцій і не довикористовується пропускна здатність ділянок, у другому – непродуктивно використовується локомотивний парк.

Регулювання локомотивного парку доцільно вести за наступними показниками:

- резервний пробіг локомотивів
- їхній перепробіг між плановими видами ремонту;
- своєчасна постановка локомотивів на технічне обслуговування і ремонт;
- видача готових до відправлення поїздів;
- скорочення обсягу переробки вагонів на станції і несвоєчасний прийом поїздів.

Цей процес можна значно полегшити, якщо представити його у виді плану забезпечення поїздів локомотивами і своєчасною постановкою їхній на технічне обслуговування, ремонт і екіпірування.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування гнучкої технології не тільки підвищує ефективність оперативного керування перевізним процесом, поліпшує використання рухливого поїзда і знижує собівартість перевезень, але і дозволяє виконувати умови вантажовласників у термінах і інтервалах доставки вантажів, тобто забезпечити перехід від рішення традиційної задачі «перевезення» вантажів до якісно нової задачі «транспортного обслуговування» їхніх власників [3].

Критеріями оптимальності вантажних перевезень є мінімуми переформувань поїздів, передач, і подавань вагонів на вантажні фронти та під'їзні колії і, відповідно, мінімум вартості маневрових робіт на маршрутах прямування поїздів через вантажні й технічні станції, райони і ланки. При цьому важливо швидко просувати вагони на мережі залізниць, вчасно підводити їх на станції і фронти розвантаження, а порожні – під завантаження (бажано в зручний для клієнта день тижня і час доби) [23].

Важливою складовою частиною комплексу інформаційної технології «Керування перевізним процесом» є блок задач, рішення яких передбачається в рамках АСУлок.

Блок задач АСУлок повинний забезпечувати:

- автоматизацію обліку наявності, стани і дислокації по об'єктах локомотивів і локомотивних бригад;
- складання змінно-добових планів їхньої роботи;
- комплексного нормування локомотивного парку на добу, місяць, графік руху, рік і більш далеку перспективу;
- комплексного розрахунку потреби в локомотивних бригадах на ці періоди;
- аналізу показників використання локомотивів і роботи локомотивних бригад;
- складання іменних графіків роботи локомотивних бригад.

У вантажному русі задачі АСУлок можна умовно розділити на наступні основні шість підблоків:

- автоматизовану систему керування локомотивним парком, що

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонує в оперативному режимі;

- комплексну технологію автоматизованого нормування локомотивного парку вантажного руху;

- комплексну технологію автоматизованого розрахунку потреби в локомотивних бригадах вантажного руху;

- автоматизоване складання іменних графіків роботи локомотивних бригад вантажного руху;

- автоматизацію аналізу показників використання локомотивів і роботи локомотивних бригад вантажного руху;

- автоматизацію вибору раціональних довжин ділянок і схем обертання локомотивів і роботи локомотивних бригад.

Очікується, що функціонування цих задач забезпечить прискорення обороту вагонів на 2-3%. Підвищення продуктивності локомотивів на 10-12% і праці локомотивних бригад на 12-15% при істотному поліпшенні умов їхньої роботи і відпочинку.

					0032.180143.0000.03MP.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ ЗАХОДІВ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ТЯГУ ПОЇЗДІВ

Вихідні дані для розрахунку

Серія локомотива	ВЛ8
Маса локомотива, т	180
Довжина локомотива, м	28
Загальна кількість осей, од.....	236
Розрахунковий підйом, ‰	8,7
Розрахункова сила тяги, Н	456165
Розрахункова швидкість, км/год	43,3
Конструкційна швидкість, км/год	100
Сила тяги при зрушенні з місця, Н	60700
Частка гальмівних осей, %	100
Колодки	чавунні зі звичайним вмістом фосфору
Маса 4-х вісних вагонів, т	83
Маса складу, т	4917
Маса поїзда, т	5097

3.1 Розрахунок режимів ведення поїзда класичним методом

3.1.1 Побудова діаграми питомих рівнодіючих сил

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил (рис. 3.2) попередньо складаємо таблицю для трьох режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній дільниці:

– для режиму тяги:

$$f_g - \omega_0 = f_1(V); \quad (3.21)$$

– для режиму холостого ходу:

$$\omega_{0x} = f_2(V); \quad (3.22)$$

– для режиму гальмування:

а) при службовому регульовальному гальмуванні:

$$\omega_{0x} + 0,5b_z = f_3(V); \quad (3.23)$$

б) при екстреному гальмуванні:

$$\omega_{0x} + b_z = f_4(V). \quad (3.24)$$

Розрахунки виконуємо для швидкостей від нуля до конструкційної V_k через кожні 10 км/год – перший стовпчик. У другий стовпчик заносяться значення сили тяги електровоза F_d для вказаних в першому стовпчику швидкостей. Значення сили тяги визначаються за тяговою характеристикою електровоза (рис. 3.1) [12]. Швидкості $V = 0$ км/год (момент зрушення поїзда з місця) відповідає значення сили тяги $F_{Дзруш}$.

Основний питомий опір складу, Н/кН, (при слідуванні його по прямій горизонтальній безстиківій ділянці колії) при русі поїзда на холостому ході (без струму) розраховуємо за формулою:

$$\omega_x = 2,4 + 0,011 \cdot V + 0,00035 \cdot V^2, \quad (3.25)$$

де V – швидкість руху поїзда, км/год.

Основний питомий опір складу, Н/кН, (при слідуванні його по прямій горизонтальній безстиківій ділянці колії) при русі поїзда в режимі тяги розраховуємо за формулою:

$$\omega_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2. \quad (3.26)$$

Формули для розрахунку основних питомих опорів складу обрані згідно з даними, приведеними у ПТР для електровоза ВЛ8 [12].

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

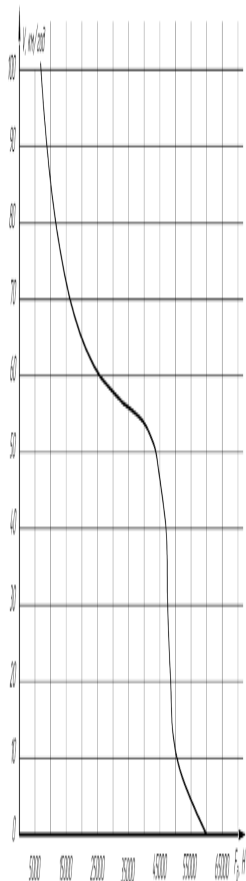


Рисунок 3.1 – Тягова характеристика електровоза ВЛ8

Величини ω'_0 , ω_x визначаємо вказаним шляхом для швидкостей, починаючи з 10 км/год і вище до конструкційної. Значення цих величин при $V = 0$ км/год (у момент зрушення поїзда з місця) приймаються відповідно такими ж, як при $V = 10$ км/год.

Питомі гальмівні сили поїзда, Н/кН, розраховуємо за формулою:

$$b_z = 1000 \cdot \varphi_{кр} \cdot \vartheta_p, \quad (3.27)$$

де $\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя колодок об колесо;

ϑ_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу.

При чавунних колодках зі звичайним вмістом фосфору коефіцієнт тертя колодок об колесо розраховуємо за формулою:

$$\varphi_{кр} = 0,27 \cdot \frac{V + 100}{5 \cdot V + 100}, \quad (3.28)$$

де V – швидкість руху електропоїзда, км/год.

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт складу розраховуємо за формулою:

$$g_p = \frac{\sigma \cdot k \cdot n}{Q \cdot g}, \quad (3.29)$$

де n – кількість осей складу, од;

k – розрахункова сила натиснення гальмівних колодок, кН/вісь. При чавунних колодках приймаємо $k = 68,5$ кН/вісь згідно з [12];

σ – частка гальмівних осей в складі. В нашому випадку $\sigma = 1$;

Q – маса складу, т.

$$g_p = \frac{1 \cdot 68,5 \cdot 236}{4917 \cdot 9,81} = 0,335.$$

Питома сповільнююча сила, яка діє на поїзд в режимі гальмування, Н/кН:

- при службовому регульовальному гальмуванні – $\omega_{0x} + 0,5 \cdot b_z$;
- при екстреному гальмуванні – $\omega_{0x} + b_z$;
- при рекуперативному гальмуванні – $\omega_{0x} + B_z^{pek}$.

Значення b_z , $\varphi_{кр}$ і відповідно $\omega_{0x} + 0,5 \cdot b_z$, $\omega_{0x} + b_z$, $\omega_{0x} + B_z^{pek}$ потрібно і при швидкості $V = 0$ км/год вираховувати за формулами (так само, як і для інших швидкостей).

За розрахованими даними будуємо по точках діаграму питомих рівнодіючих сил для режиму тяги, режиму холостого ходу, режиму службового гальмування згідно з [12]. Діаграма наведена на рис. 3.2.

3.4.3 Розв'язання гальмівної задачі

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості і часу ходу поїзда

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

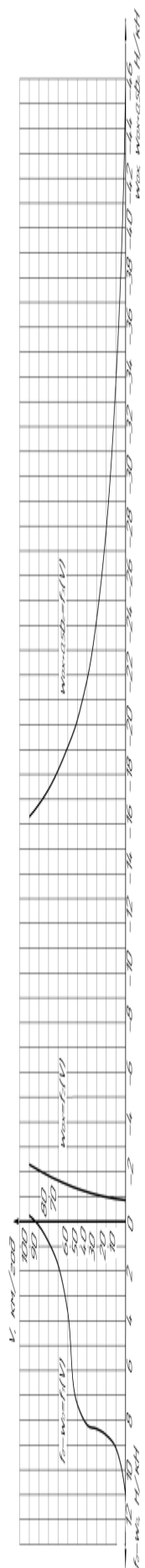


Рисунок 3.2 – Діаграма питомих рівнодіючих сил (локомотив ВЛ8, маса складу 4917 т)

по дільниці, вирішуємо гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимальної допустимої швидкості руху поїзда по найбільш крутому спуску дільниці при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху. Ця задача розв'язується графічним способом. Всі розрахунки і побудови виконуємо згідно з [12].

Повний (розрахунковий) гальмівний шлях, м:

$$S_{\Sigma} = S_{\Pi} + S_{Д}, \quad (3.30)$$

де S_{Π} – шлях підготовки гальм до дії, на протязі якого гальма поїзда умовно приймаються недіючими, м;

$S_{Д}$ – дійсний гальмівний шлях, на протязі якого поїзд рухається з діючими в повну силу гальмами, м.

Рівняння (3.30) дозволяє знайти допустиму швидкість як величину, що відповідає точці перетину графічних залежностей підготовчого шляху S_{Π} і дійсного гальмівного шляху $S_{Д}$ від швидкості руху поїзда в режимі гальмування.

За розрахованими даними питомих рівнодіючих сил будуємо по точках залежність питомих сповільнюючих сил (рис. 3.3) при екстреному гальмуванні $\omega_{0x} + b_z = f(V)$, а поруч встановлюємо у відповідних масштабах систему координат $V - S$.

Осі швидкостей V в обох системах координат повинні бути паралельні, а осі питомих сил $(\omega_{0x} + b_z)$ і шляху S повинні лежати на одній прямій. Масштаби для графічних побудов при гальмівних розрахунках обираємо згідно з [12].

На цей же графік наносимо залежність підготовчого гальмівного шляху від швидкості:

$$S_{\Pi} = 0,278 \cdot V_{ПОЧ} \cdot t_{\Pi}, \quad (3.31)$$

де $V_{ПОЧ}$ – швидкість на початку гальмування, км/год;

t_{Π} – час підготовки гальм до дії, с.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

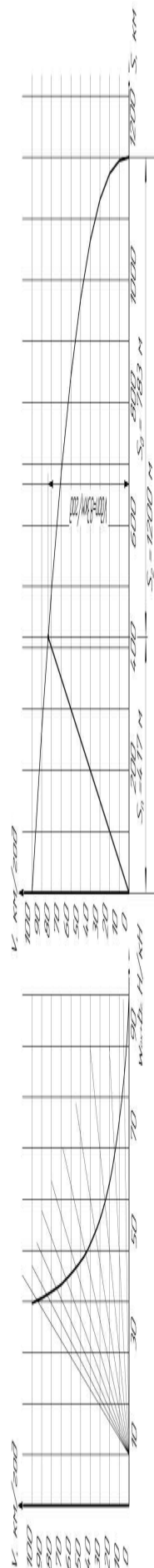


Рисунок 3.3 – Графічне рішення гальмівної задачі

В нашому випадку згідно з [12]:

$$t_{II} = 10 - \frac{15 \cdot i_{\Gamma}}{b_{\Gamma}}, \quad (3.32)$$

де i_{Γ} – крутизна ухилу, для якого розв’язується гальмівна задача, ‰;

b_{Γ} – питома гальмівна сила при початковій швидкості гальмування $V_{Поч}$,
Н/кН, обираємо згідно з даними питомих рівнодіючих сил.

Отже, для $i_{\Gamma} = -10\text{‰}$:

$$t_{II} = 10 - \frac{15 \cdot (-10)}{30,2} = 15 \text{ с};$$

$$S_{II} = 0,278 \cdot 100 \cdot 15 = 417 \text{ м.}$$

Побудову залежності підготовчого гальмівного шляху S_{II} від швидкості виконуємо по двох точках. Для цього розраховуємо значення S_{II} при $V_{Поч} = 0$ (в цьому випадку $S_{II} = 0$) і при $V_{Поч} = V_K$.

3.3.4 Побудова кривих швидкості, часу ходу поїзда та струму

У відповідності з [12] при виконанні тягових розрахунків поїзд розглядається як матеріальна точка, в якій зосереджена вся маса поїзда і до якої прикладені зовнішні сили, діючі на реальний об’єкт (поїзд). Умовно приймають, що ця матеріальна точка розташована в середині поїзда.

При побудові кривої $V = f(S)$ необхідно врахувати обмеження найбільшої допустимої швидкості руху поїзда:

- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії – 100 км/год;
- конструктивна швидкість електровоза – 100 км/год;
- найбільш допустима швидкість при розв’язанні гальмівної задачі щодо руху керуючим ухилом – 83 км/год;
- обмеження швидкості поїзда допустимими величинами прискорення

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та сповільнення, приведеними в наступному пункті розділу.

Максимально допустима швидкість руху поїзда при побудові кривої $V = f(S)$ повинна прийматися як найменша з усіх перерахованих вище обмежуючих швидкостей.

Графік побудови кривих швидкості, часу руху поїзда і струму зображений на рис. 3.4.

Слід також зазначити, що всі елементи профілю, які використовуються у тягових розрахунках даної роботи, є точною копією елементів реального профілю ділянки курсування поїздів від станції Ш. до станції Л.

3.3.5 Визначення витрат енергоресурсів

Для визначення витрат електроенергії електровозом необхідно користуватись побудованими кривими струму і часу ходу (рис. 3.4).

За кривими $I_{\text{я}} = f(S)$ та $t = f(S)$ розраховуємо кількість енергії в кВт·год, яка витрачена електровозом на переміщення поїзда по дільниці і віднесена до струмоприймача. Розрахунок виконуємо згідно з [12] шляхом підсумовування витрат енергії за окремі елементи часу:

$$A' = \frac{U_e \cdot \sum (I_e^{\text{сеп}} \cdot \Delta t)}{60 \cdot 1000}, \quad (3.33)$$

де U_e – напруга на струмоприймачі електровоза ($U_e = 3000\text{В}$);

$I_e^{\text{сеп}}$ – середнє значення струму на відрізку кривої $I_{\text{я}} = f(S)$, А;

Δt – відповідний проміжок часу, протягом якого величину струму приймаємо постійною, хв, визначається за кривою $t = f(S)$.

Всі розрахунки з визначення витрат електроенергії приведені в таблиці в додатку А.

Таким чином, згідно з рис. 3.4, маємо:

$$A'_r = \frac{3000 \cdot 107461}{60 \cdot 1000} = 5373 \text{ кВт·год.}$$

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

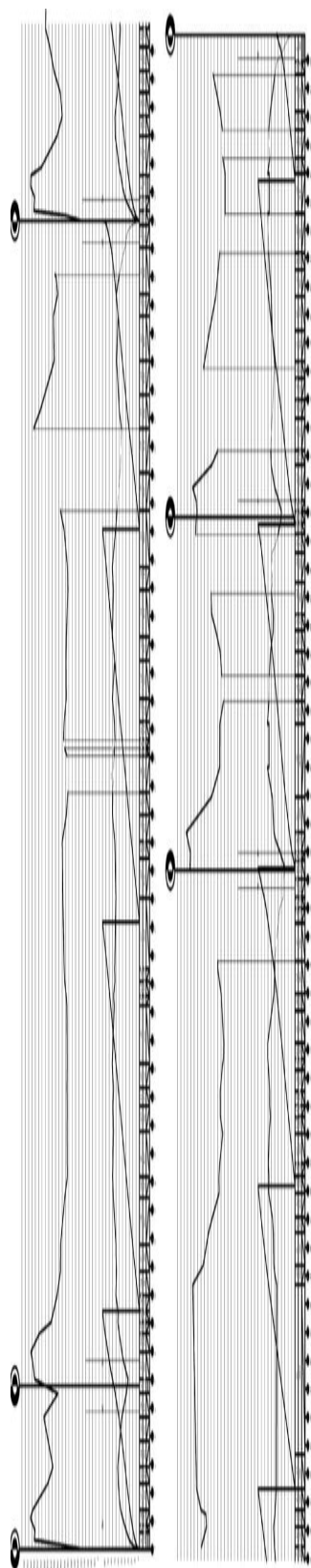


Рисунок 3.4 – Криві швидкості, часу ходу поїзда і струму

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Для визначення повної витрати електроенергії необхідно до витрати енергії на переміщення поїзда додати витрати електроенергії на власні потреби електровоза (на роботу допоміжних машин, живлення кіл управління та освітлення) і відняти величину електроенергії, повернутої до контактної мережі в процесі рекуперативного гальмування.

Витрати електроенергії на власні потреби електровоза, кВт·год:

$$A'' = r \cdot t, \quad (3.34)$$

де r – середня витрата електроенергії на власні потреби електровоза за одиницю часу, кВт·год/хв, приймаємо 1,67 згідно з [12];

t – повний час роботи електровоза на заданій дільниці, хв.

$$t = t_1 + t_2, \quad (3.35)$$

де t_1 – час прослідування поїздом перегонів, хв, $t_1 = 95$ хв;

t_2 – час стоянки поїзда на станціях, хв, $t_2 = 50$ хв.

Таким чином:

$$A'' = 1,67 \cdot (95 + 50) = 242 \text{ кВт·год.}$$

Повна витрата електроенергії електровозом на заданій дільниці, кВт·год:

$$A = A_T' + A'' . \quad (3.36)$$

Отже, маємо:

$$A = 5373 + 242 = 5615 \text{ кВт·год.}$$

Питому витрату електроенергії в кВт·год/ткм розраховуємо за формулою:

$$a = \frac{A \cdot 1000}{Q \cdot L}, \quad (3.37)$$

де Q – маса складу, т, приймаємо $Q = 4917$ т;

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

L – довжина ділянки, для якої виконані тягові розрахунки (відстань між осями граничних станцій заданої ділянки), км, приймаємо $L = 109$ км.

Таким чином, маємо:

$$a = \frac{5615 \cdot 1000}{4917 \cdot 109} = 10,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т} \cdot \text{км}.$$

Отже, підіб'ємо підсумки щодо витрат електроенергії електровозом на заданій ділянці:

- витрати на тягу склали 5373 кВт·год;0
- витрати на власні потреби склали 242 кВт·год;
- питома витрата електроенергії склала 10,4 кВт·год/т·км.

3.2 Визначення фактичної витрати електроенергії поїздом на ділянці

У якості еталонної фактичної поїздки на ділянці Ш. – Л. було обрано фактичну поїздку з поїздом № 2142/2159 вагою 4917 т у складі 236 осей.

Швидкостемірна стрічка, що використовувалася у якості фактичної та еталонної, наведена на рис. 3.5.

Отже, перераховані еталонні фактичні показники склали:

- 3000 кВт·год витрат на тягу;
- загальний час в дорозі – 3 год 5 хв.

Нагадаємо, що розраховані за класичним методом показники склали:

- 5373 кВт·год витрат на тягу;
- загальний час в дорозі – 1 год 35 хв.

Таким чином, розрахункові дані, що були отримані класичним методом, дещо відрізняються від отриманих в експлуатації. Але не слід забувати про змінні фактори, які носять нестійкий характер (досвід локомотивної бригади, рівень напруги в контактній мережі, заселеність вагонів, кліматичні умови, параметри обладнання електровоза, його регулювання та якість роботи і т. д.). Всі ці фактори

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

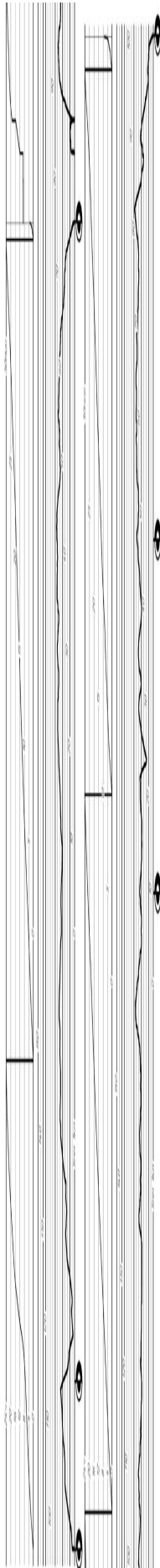


Рисунок 3.5 – Швидкостемірна стрічка еталонної фактичної поїздки на ділянці Ш. – Л.

та багато інших впливають на режим ведення поїзда, а отже, і на енергетичні параметри. Тому ідеального повтору одного й того ж режиму ведення досягти практично неможливо.

3.3 Розрахунок режимів ведення вантажного поїзда з використанням програмного пакету

Для вирішення задачі раціонального ведення вантажного поїзда по ділянці було обрано програмний пакет «Maple», алгоритм вирішення завдання вибору режиму ведення поїзда якого заснований на методах нелінійного програмування та векторної оптимізації за критерієм мінімуму витрат енергоресурсів при заданому часі ходу. Розрахунки виконувались по ділянці Ш. – Л., дані якої попередньо були занесені до програми.

Обраний програмний пакет дозволяє отримати на ПЕОМ фізико-механічні і енергетичні параметри поїзда, як по ділянці в цілому, так і для кожного пікету ділянки. Подання розрахункових і вимірних значень параметрів руху поїзда здійснюється у вигляді графічних залежностей отриманих величин.

Зразок режимної карти поїздки складу з ВЛ8 (4917 т, 236 осей) по ділянці в прямому напрямі, отриманої з використанням ПЕОМ, наведено на рис. 3.6.

3.4 Порівняння результатів тягових розрахунків за різними методами

Отже з розрахункових показників, отриманих різними методами, ми отримали значення, наведені у вигляді табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Порівняння показників витрат та часу, отриманих різними методами

Спосіб отримання даних	Витрати на тягу A , кВт·год	Час у дорозі t , хв	Δ , $\frac{\text{кВт год}^2}{10^4 \text{ т км}}$
Графічний	5373	93	155
Аналітичний	5200	93	150
Фактичний	3000	185	172

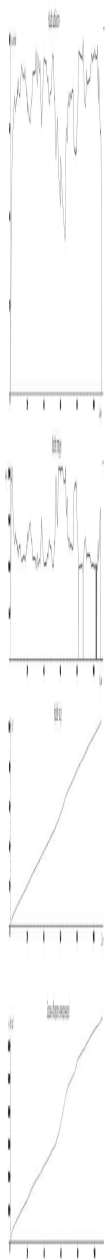


Рисунок 3.6 – Результати ведення поїзда по ділянці з використанням програмного пакету

Як видно з табл 3.2, отримані показники, отримані за класичним методом та за допомогою програмного пакету «Maple», значно перевищують фактичні показники, майже у два рази. Це пояснюється тим, що під час розрахунків за цими двома методами, ми використовуємо принцип максимуму. Тобто, фактично, машиніст, при веденні поїзда, на свій розсуд обирає позицію контролера машиніста керуючись знаннями профілю дільниці, а також при цьому використовує послаблення збудження, що, як відомо, зменшує енерговитрати. Як

					0032.180143.000.03MP.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в той час, під час розрахунків класичним методом або за допомогою ПЕОМ, згідно з правилами тягових розрахунків, вважаємо, що машиніст веде поїзд на максимальній позиції контролера машиніста протягом усього шляху. Саме тому, ми отримали більші витрати електроенергії при значно меншому часі ходу у дорозі майже в два рази.

Пропонуємо оцінку виконати показником, який враховує витрати електроенергії на тягу, час у дорозі, масу складу та протяжність ділянки:

$$\Delta = \frac{A \cdot t}{L \cdot Q}; \quad (3.38)$$

$$\Delta_{граф.} = \frac{5373 \cdot (93 / 60)}{109 \cdot 4917} \cdot 10^4 = 155 \frac{\text{кВт год}^2}{10^4 \text{ т км}};$$

$$\Delta_{ан.} = \frac{5200 \cdot (93 / 60)}{109 \cdot 4917} \cdot 10^4 = 150 \frac{\text{кВт год}^2}{10^4 \text{ т км}};$$

$$\Delta_{факт.} = \frac{3000 \cdot (185 / 60)}{109 \cdot 4917} \cdot 10^4 = 172 \frac{\text{кВт год}^2}{10^4 \text{ т км}}.$$

Отже, бачимо, що показник має найменше значення при аналітичному методі розрахунків, оскільки він володіє більшою точністю, ніж графічний метод, проте він не враховує дійсної ситуації на колії.

					0032.180143.0000.03МР.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи ми виконали огляд стану ресурсоощаджуючих технологій на залізницях України та перспектива розвитку залізничного транспорту та визначили основні напрями, за якими можна розробити заходи з економії енергоресурсів. Визначили, що найбільш актуальним є поліпшення якісних показників експлуатації локомотивів.

Для досягнення мети роботи ми розробили заходи економії енергоресурсів на тягу поїздів з підвищенням ефективності використання локомотивів, які враховують вибір раціональної швидкості руху; раціоналізацію ділянок обертання локомотивів; підвищення маси поїзда; підвищення середньодобового пробігу локомотивів та середньодобової продуктивності локомотивів; автоматизацію процесу ведення поїзда та автоматизацію керуванням локомотивним парком.

Більш детально розглянули питання автоматизації процесу ведення поїзда з розрахунком енергооптимальних режимів ведення із застосуванням ЕОМ, які б враховували сформовану на даний момент поїзну ситуацію й адекватно реагували на неї. Виконали розрахунки з математичного обґрунтування розроблених заходів економії енергоресурсів на тягу поїздів. Вони складаються з розрахунку режимів ведення поїзда класичним методом; визначення фактичної витрати електроенергії поїздом на ділянці на підставі фактичної поїздки; розрахунку режимів ведення вантажного поїзда з використанням програмного пакету та порівняння результатів тягових розрахунків за різними методами. Для цього був запропонований показник, який враховує витрату електроенергії на тягу, час у дорозі, масу складу та протяжність ділянки.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кірпа Г. М. Основні напрямки поліпшення стану Українських залізниць у сучасних умовах //Залізничний транспорт України. – 2001. - №4. – С. 45-53.
2. Русак А. Д. Об использовании и экономии энергоресурсов в локомотивном хозяйстве //Железнодорожный транспорт. – 2002. - №2. – С. 22-28.
3. Лисицын А. Л. Возможности экономии ресурсов на тягу поездов //Железнодорожный транспорт. – 2002. – №2. – С. 20-26.
4. Панков Ю. Н., Трикунов В. М. Ресурсосбережение в локомотивном хозяйстве //Локомотив. – 2002. – №1. – С. 32-36.
5. Капіца М. І. Визначення тривалості вибігу локомотива при переході з режиму тяги в режим гальмування /М. І. Капіца, Д. М. Кислий //Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 136. – С. 86-92.
6. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства: підручник /Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, Є.Б. Боднар, О.Б. Очкасов; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Електрон. вид. – Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 220 с.
7. Аксенов И. М. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта // Залізничний транспорт України. – 2001. – №2. – С. 46-54
8. Федюшин Ю. М., Пащенко Ю. Е., Букин В. И. К проблеме обновления подвижного состава железных дорог Украины //Залізничний транспорт України. – 2001. – №2. – С. 18-25.
9. Лашко А. Д., Сергієчко М. І. Енергозбереження на залізничному транспорті України //Залізничний транспорт України. – 2001. – №4. – С. 17-25.
10. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство: Методичні вказівки до виконання курсового проекту /Дніпропетр. нац. ун-т залізн.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- трансп. імені акад. В.Лазаряна; уклад. Л.Ф. Гагін, М.І. Капіца. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2007. – 44 с.
11. Теорія локомотивної тяги. Технічне обслуговування транспортних засобів: методичні вказівки до виконання курсової роботи /Д.В. Бобирь, М.І. Капіца, О.М. Гончаров, В.Н. Сердюк; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. – Д.: ДНУЗТ, 2003. – 62 с.
 12. Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги: підручник. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 385 с.
 13. Ильин А. Н. Потери, которых не должно быть //Железнодорожный транспорт. – 2008. – №10. – С. 32-37.
 14. Блохин Е. П., Пшинько А. Н. И др. Выбор энергетически оптимальных режимов ведения поездов //Залізничний транспорт України. – 2001. – №6. – С. 34-42.
 15. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги: монография: в 2 т. /Г. К. Гетьман. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2010. – Т. 1. – 450 с.
 16. Визначення енергозощаджуючих режимів розгону поїздів /Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, А. М. Афанасов, Д. М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 5 (59). – С. 40-52.
 17. Некрашевич В. И., Сальченко В. Л., Ковалев В. Н. Автоматизация управления локомотивными парками //Железнодорожный транспорт. – 2000. – №5. – С. 38-44.
 18. Мохонько В. П., Авдейчев А. А. По плечу ли удлиненные плечи? //Локомотив. – 2002. – №1. – С. 22-26.
 19. Боднар Б. Є. Визначення сили тяги локомотива з урахуванням нерівномірності навантаження колісно-моторних блоків /Б. Є. Боднар, М.І. Капіца, Д. М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 6. – С. 63-71.

					0032.180143.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

20. Кислий Д. М. Визначення енергозаощаджуючих режимів ведення поїздів /Д. М. Кислий //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2016. – № 1(61). – С. 71-84.
21. Бойник А. Б., Коваленко Г. В., Макаренко Р. В. Перспективные системы интервального регулирования движения поездов на перегонах //Залізничний транспорт України. – 2001. – №6. – С. 18-26.
22. Левин Д. Ю. Гибкая технология оперативного управления перевозками//Железнодорожный транспорт. – 2000. – №7. – С. 15-24.
23. Пилипченко П. А., Петренко Л. М. Маршрутизація вантажних перевезень на залізницях //Залізничний транспорт України. – 2002. – №1. – С. 22-28.
24. Поліпшення техніко-енергетичних параметрів тепловозів за рахунок впровадження автоматизованих систем керування дизелем /М. І. Капіца, М. І. Мартишевський, Д. М. Кислий, І. І. Палій //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 3(57). – С. 176-185.
25. Яновський П. О. Ефективність прискорення просування транзитних вантажів //Залізничний транспорт України. – 2001. – №5. – С. 32-40.
26. Певзнер В. О. Выбор рациональных скоростей движения //Железнодорожный транспорт. – 2000. – №3. – С. 21-29.
27. Бочаров А. П., Кранц И. М., Кривошей Б. А. Проблемы технологического управления эксплуатационной работой железных дорог Украины //Залізничний транспорт України. – 2001. – №2. – С. 35-41.

ДОДАТОК А

Результати розрахунку витрат електроенергії електровозом на ділянці Ш.-Л.

Таблиця А.1 – Витрати електроенергії електровозом на тягу на ділянці Ш.– Л.

№ діл.	$I_{я}^{сер},$ А	$I_e^{сер},$ А	$\Delta t,$ хв	$I_e^{сер} \cdot \Delta t,$ А·хв
1	2	3	4	5
0-1	130	520	0,5	260
1-2	250	1000	0,3	300
2-3	485	1940	0,5	970
3-4	479	1916	0,6	1149
4-5	511	2043	0,6	1225
6-7	494	1976	0,7	1383
7-8	414	1657	0,5	828
8-9	371	1482	0,3	444
11-12	347	1386	0	0
13-14	383	1530	1,5	2295
14-15	511	2043	1	2043
26-27	479	1915	0,8	1532
27-28	498	1990	1	1990
28-29	463	1850	0,9	1665
29-30	359	1434	0,3	430
30-31	335	1338	0,3	401
31-32	307	1226	0,4	490
32-33	290	1160	0,9	1044
33-34	283	1130	0,8	904
34-35	255	1020	1,3	1326
35-36	237	948	0,5	474
39-40	237	948	1,3	1232
40-41	237	948	3,5	3318
43-44	242	966	0,2	193
44-45	255	1020	0,3	306
47-48	272	1086	4	4344
48-49	251	1002	0,7	701
51-52	233	930	0,7	651
52-53	0	0	1,2	0
64-65	251	1002	0,3	300
65-66	0	0	0,3	0
66-67	261	1042	0,6	625
67-68	246	984	0,5	492
68-69	255	1020	1	1020
69-70	255	1020	0,7	714
70-71	237	948	1,2	1137
71-72	237	948	0,6	568
72-73	251	1002	1,2	1202
73-74	291	1162	0,5	581
74-75	0	0	1,3	0
79-80	430	1721	0,5	860
80-81	335	1338	1,3	1739
86-87	323	1290	1,2	1548
87-88	307	1226	0,6	735
88-89	323	1290	0,6	774
93-94	0	0	1,2	0
94-95	0	0	2,3	0
95-96	130	520	0,5	260
99-100	250	1000	0,5	500
100-101	485	1940	0,5	970
111-112	479	1916	0,5	958
112-113	511	2043	0,5	1021
113-114	494	1976	0,4	790

1	2	3	4	5
114-115	414	1657	0,3	497
115-116	315	1258	1	1258
116-117	272	1086	0,4	434
120-121	291	1162	0,6	697
127-128	359	1434	2,3	3298
128-129	398	1593	0,6	955
129-130	359	1434	0,6	860
130-131	359	1434	3	4302
131-132	414	1657	1	1657
132-133	463	1850	7,9	14615
133-134	398	1593	0,5	796
134-135	347	1386	1	1386
135-136	315	1258	0,4	503
136-137	266	1064	0,7	744
152-153	242	966	0,4	386
153-154	237	948	0,4	379
154-155	242	966	0,7	676
155-156	255	1020	0,5	510
156-157	261	1042	0,3	312
157-158	251	1002	0,3	300
158-159	251	1002	0,5	501
159-160	233	930	0,3	279
160-161	229	916	0,4	366
174-175	272	1086	1,2	1303
175-176	371	1482	0,7	1037
176-177	383	1530	0,2	306
177-178	0	0	4,3	0
178-179	479	1914	0,7	1339
179-180	494	1976	0,8	1580
180-181	323	1290	1	1290
181-182	255	1020	0,8	816
182-183	233	930	1,4	1302
183-184	0	0	0,6	0
190-191	251	1002	0,6	601
191-192	291	1162	0,6	697
192-193	323	1290	0,5	645
195-196	307	1226	0,5	613
196-197	0	0	2,1	0
200-201	511	2043	0,4	817
201-202	511	2043	0,4	817
202-203	498	1992	0,3	597
206-207	511	2043	1	2043
207-208	315	1258	0,7	880
219-220	272	1086	0,4	434
220-221	0	0	2,8	0
221-222	335	1338	1,2	1605
222-223	291	1162	0,2	232
223-224	261	1042	1	1042
224-225	0	0	0,7	0
225-226	233	930	0,7	651
226-227	237	948	0,4	379
227-228	0	0	0,7	0
228-229	251	1002	0,5	501
229-230	315	1258	1,2	1509
231-232	0	0	2,5	0