

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет *“Транспортна інженерія”*

Кафедра *“Локомотиви”*

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Борис Боднар  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: *“Аналіз напрямків удосконалення електрорухомого складу  
залізниць України”*

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

Виконав: студент групи *ЛГ2221*

\_\_\_\_\_ Костянтин КАМАЛДІНОВ

Керівник \_\_\_\_\_ Олександр ОЧКАСОВ

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  
" 18 " 05 2024р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: "Аналіз напрямків удосконалення електрорухомого складу  
залізниць України"

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

Виконав: студент групи ЛГ2221

Костянтин КАМАЛДІНОВ  
Керівник Олександр ОЧКАСОВ  
Нормоконтролер Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент Костянтин КАМАЛДІНОВ

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

Faculty “*Transport engineering*”

Chair “*Locomotives*”

“ TO THE PROTECTION ”

Chief department \_\_\_\_\_ Boris Bodnar  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024p.

EXPLANATORY NOTE  
to the *master's* qualification work

on the topic: “*Analysis of directions for improvement of electric rolling stock of railways of Ukraine*”

according to the educational program: “*Locomotives and locomotive economy*”  
from the specialty 273 “*Railway transport*”  
fields of knowledge 27 “*Transport*”

Performed by: a student of *LH2221*

\_\_\_\_\_ Kostyantyn KAMALDINOV  
Head \_\_\_\_\_ Oleksandr OCHKASOV  
Normocontroller \_\_\_\_\_ Lyudmila KOLODIY

I certify that there are no borrowings from works in this work other authors without appropriate references

Student \_\_\_\_\_

Dnipro, 2024

**Український державний університет науки і технологій**

Факультет «*Транспортна інженерія*», кафедра «*Локомотиви*»

Спеціальність 273 «*Залізничний транспорт*»

за ОП «*Локомотиви та локомотивне господарство*»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Борис БОДНАР

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу на здобуття ОС «магістр»  
студента групи *ЛГ2221*

\_\_\_\_\_ (прізвище , ім'я та по-батькові )

1. Тема дипломного проекту Аналіз напрямків удосконалення електрорухомого складу залізниць України

Затверджена наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р. № \_\_\_\_

2. Термін подання студентом закінченої роботи « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

3. Вихідні дані до дипломного проекту \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Перелік креслень (демонстративного матеріалу)

\_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

5. Перелік питань до розробки та термін виконання

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Обсяг розділу,%

Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

Керівник дипломного проекту \_\_\_\_\_ (ПІБ)  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ (ПІБ)  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 93 с., 27 рис., 8 табл., 1 додатка, 36 джерел.

Об'єктом дослідження є ЕРС залізниць України.

Метою роботи є аналіз напрямків удосконалення ЕРС залізниць України.

Покращення технічних характеристик ЕРС є одним з основних напрямів його удосконалення. Це дозволить підвищити швидкість і дальність прямування поїздів, енергоефективність та надійність руху. Для удосконалення технічних характеристик розроблено схему силового ланцюга для змінного струму з використанням IGBT-транзисторів в електровозах ВЛ82м. Для удосконалення експлуатаційних характеристик запропоновано змінювати деякі параметри листової ресори і застосування зносостійкої сталі поверхонь втулок. Удосконалення економічних характеристик ґрунтується на впровадженні систем рекуперативного гальмування та зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Реалізація цих напрямків дозволить забезпечити високий рівень безпеки, надійності і ефективності електрорухомого складу України, а також підвищити його конкурентоспроможність на світовому ринку.

Ключові слова: УДОСКОНАЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОРУХОМИЙ, СКЛАД, ЕЛЕКТРОВОЗ, ХАРАКТЕРИСТИК, СТАН, ЗАЛІЗНИЧНИЙ, ВАНТАЖНИЙ

					0032.180009.000.03КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів .....	7
Вступ.....	8
1 Теоретичні основи удосконалення електрорухомого складу залізниць .....	10
1.1. Основні поняття та визначення .....	10
1.2. Класифікація електрорухомого складу .....	14
1.3. Принципи удосконалення електрорухомого складу .....	19
2 Аналіз стану електрорухомого складу залізниць України .....	23
2.1. Загальна характеристика парку електрорухомого складу .....	23
2.2. Технічний стан електрорухомого складу.....	24
2.3. Експлуатаційні характеристики електрорухомого складу.....	32
2.4. Аналіз двосистемних локомотивів як напрямок розвитку.....	37
3 Напрямки удосконалення електрорухомого складу залізниць України .....	38
3.1. Удосконалення технічних характеристик.....	38
3.2. Удосконалення експлуатаційних характеристик.....	44
3.3. Удосконалення економічних характеристик .....	64
4 Обґрунтування та розробка рекомендацій щодо удосконалення електрорухомого складу залізниць України.....	68
4.1. Рекомендації щодо впровадження інноваційних рішень .....	68
4.2. Розрахунок експлуатаційних показників локомотивного парку .....	69
Висновки.....	80
Список використаних джерел.....	82
ДОДАТОК А .....	85

					<b>0032.180009.000.03.КР.ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Камалдінов				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Очкасов				6	93	
Реценз.					<b>УДУНТ, ЛГ2221</b>		
Н. Контр.	Колодій Боднар						
Затверд.							
					Аналіз напрямків удосконалення електрорухомого складу залізниць України		

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

ЕРС - електрорухоми́й склад

УЗ - Укрзалі́зниця

ТЕД - тяго́вий електро́двигун

ВП - випря́мно-інверто́рного перетво́рювача

ВУЗ - випря́мної устано́вки збудже́ння

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

Залізничний транспорт відіграє вирішальну роль у єдиній транспортній системі України. Його діяльність забезпечує економічні зв'язки між виробниками та споживачами продукції, областями та економічними регіонами України, а також з іншими країнами.

Україна має одну із найбільш розвинених у Європі мережу залізниць, експлуатаційна довжина якої складає понад 22 тис. км.

За густотою вона посідає провідне місце серед країн СНД і наближається за цим показником до європейських країн – Франції та Італії.

За обсягами вантажних перевезень залізниці України посідають четверте місце на Євразійському континенті, поступаючись тільки залізницям Китаю, Росії та Індії.

Вантажонапруженість українських залізниць у 3 – 5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн.

Залізничний транспорт є одним із найважливіших видів транспорту в Україні. Він забезпечує перевезення пасажирів та вантажів на великі відстані. Для забезпечення ефективної роботи залізничного транспорту необхідно постійно удосконалювати електрорухомий склад.

В Україні електрорухомий склад (ЕРС) є основним видом рухомого складу. Станом на 2019 рік в експлуатації знаходиться понад 10 тисяч одиниць ЕРС, з яких близько 40% – це пасажирські електровози і електропоїзди, а 60% – вантажні електровози.

За останні роки в Україні спостерігається тенденція до старіння ЕРС. Середній вік пасажирських електровозів становить 30 років, а вантажних – 25 років. Це призводить до зниження їх технічних характеристик і надійності, а також до збільшення витрат на їх експлуатацію.

Таким чином, удосконалення ЕРС є актуальним завданням, що дозволяє підвищити ефективність і безпеку залізничного транспорту України.

**Метою роботи** є аналіз напрямків удосконалення ЕРС залізниць України.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- описати теоретичні основи удосконалення електрорухомого складу залізниць;
- провести аналіз стану електрорухомого складу залізниць України;
- надати напрямки удосконалення електрорухомого складу залізниць України;
- обґрунтувати та розробити рекомендації щодо удосконалення електрорухомого складу залізниць України.

**Об'єктом дослідження** є ЕРС залізниць України.

**Предметом дослідження** є напрями удосконалення ЕРС залізниць України.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

## 1.1 Основні поняття та визначення

Залізничний транспорт відіграє визначальну роль у транспортному секторі України – на 2019 р. його частка в загальному обсязі вантажних перевезень становила 63,1 %.

Залізничний транспорт як галузь народного господарства включає в себе: залізничні колії, мости, тунелі, прилади електропостачання, тягові підстанції, вокзали, станції, депо, рухомий склад та ін. Загальний термін «локомотиви» об'єднує тепловози, електровози та інші види тягового рухомого складу. Ще більш широкий термін «рухомий склад» об'єднує тяговий рухомий склад і вагони.

Електрорухомий склад залізниць України - це сукупність локомотивів, вагонів і спеціальних самохідних машин, що використовують електричну тягу для пересування по залізничних коліях.

Електрорухомий склад, електричний рухомий склад (ЕРС) - електровози, електропоїзди та електросекції, обладнані тяговими електродвигунами, що отримують живлення від контактної мережі або власних акумуляторних батарей.

До електрорухомого складу залізниць України відносяться:

локомотиви - самохідні машини, призначені для тяги поїздів. Локомотиви поділяються на пасажирські, вантажні та маневрові.

вагони - несамохідні машини, призначені для перевезення пасажирів, вантажів або спеціального обладнання. Вагони поділяються на пасажирські, вантажні, спеціальні та службові.

спеціальні самохідні машини - машини, призначені для виконання різних робіт на залізниці, таких як: під'їзні колії, ремонтні роботи, сигналізація і зв'язок, експлуатація і ремонт колії.

електровоз — це локомотив, що живиться від контактної мережі. Вантажні електровози розраховані на велику силу тяги, максимальні швидкості цих локомотивів до 100...110 км/год. Пасажирські електровози розраховані на більш високі максимальні швидкості — 160...180 км/г і вище.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропоїзд — вид електрорухомого складу, що складається з головних, моторних і причіпних вагонів, які одержують живлення від контактної мережі постійного або змінного струму та призначені для перевезення пасажирів.

електропоїзди, як правило, використовують у приміському сполученні. Швидкість приміських електропоїздів досягає 120... 130 км/г. В експлуатації електропоїзди формуються з окремих секцій. Зміною кількості вагонів в поїзді можна регулювати провізну здатність електропоїзда. Допускається формування поїзда з 4, 6, 8, 9, 10, 12 вагонів, залежно від пасажиропотоку.

Головний та хвостовий вагони електропоїзда мають кабіни машиніста. Ці вагони називаються головними. Вагони, в яких встановлено тягові електродвигуни та струмоприймачі, називаються моторними. Інші вагони причіпні. Велика кількість моторних вагонів забезпечує значні прискорення та високі швидкості руху навіть при коротких перегонах між зупинками.

Найбільш перспективним видом електрорухомого складу являються високошвидкісні електропоїзди та поїзди на магнітній подушці, які дозволяють реалізувати швидкість руху до 450 км/год.

У масштабі Міністерства інфраструктури управління локомотивним господарством покладене на Укрзалізницю, у межах залізниць – на управління цих залізниць (Н), у межах лінійних підрозділів – на відділення залізниць (НОД).

На 2019 рік електрорухомий склад залізниць України становить близько 30% від загального рухомого складу. Найбільше поширення мають пасажирські електровози ЧС4, ЧС7, ЧС8, вантажні електровози ВЛ80, ВЛ85, а також електропоїзди ЕП1, ЕП2, ЕП3.

Електрорухомий склад залізниць України має ряд переваг перед тепловим рухомим складом: економічність; екологічність; надійність.

Недоліки електрорухомого складу залізниць України:

вартість. Електричні локомотиви і вагони дорожчі, ніж теплові.

обмеження використання. Електричні локомотиви можна використовувати тільки на електрифікованій колії.

У майбутньому планується подальше зростання частки електрорухомого складу в загальному парку залізниць України. Це пов'язано з підвищенням вимог

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

до екології та економічності залізничного транспорту.

Залізничний транспорт України є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни, який забезпечує майже 82% вантажних і 36% пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту.

Експлуатаційна мережа залізниць України складає майже 19,8 тис. км (без урахування окупованих територій, мережа яких на сьогодні не експлуатується), з яких понад 47,2% електрифіковано. За обсягами вантажних перевезень залізниці України займають четверте місце на Євразійському континенті, поступаючись лише залізницям Китаю, Росії та Індії. Вантажонапруженість українських залізниць (річний обсяг перевезень на 1 км) в 3-5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн.

Важливість залізничного транспорту в системі транспортних комунікацій України посилюється і тим, що через територію держави пролягають основні транспортні транс'європейські коридори: Схід – Захід, Балтика – Чорне море. Українські залізниці безпосередньо межують і взаємодіють із залізницями Росії, Білорусі, Молдови, Польщі, Румунії, Словаччини, Угорщини й забезпечують роботу із сорока міжнародними залізничними переходами, а також обслуговують 18 українських морських портів Чорноморсько-Азовського басейну

Територією України проходять 3 залізничних транспортних коридори – № 3, 5, 9. Через українські порти Ізмаїл і Рені здійснюється взаємодія з пан'європейським коридором № 7, який проходить річкою Дунай. Сьогодні довжина національної мережі залізничних транзитних коридорів в Україні складає 3162 км. Це головним чином двоколіїні електрифіковані, обладнані автоблокуванням магістралі, що характеризуються високим рівнем використання технічних засобів. Окрім того, розвиваються перевезення по міжнародному транспортному коридору ТРАСЕКА (Європа – Кавказ – Азія).

Найбільшим підприємством галузі є Укрзалізниця (Акціонерне товариство "Українська залізниця"), яка здійснює централізоване управління процесом перевезень у внутрішньому й міждержавному сполученнях та регулює виробничо-господарську діяльність залізниць.

Згідно статистичних даних Міністерства інфраструктури України (МІУ) про

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Українські залізниці були визначені на 2019 рік такі статистичні показники: експлуатаційна довжина головних колій 19787 км, електрифікованих колій — 9319 км, ширина колії — 1520 мм; кількість залізничних станцій 1402 од., кількість залізничних переїздів 105 од., кількість переїздів на головних і станційних 4198 од., інвентарний парк вантажних вагонів 85200. од., інвентарний парк пасажирських вагонів 4320 од., інвентарний парк тепловозів 1944 од., інвентарний парк електровозів 1627 од., інвентарний парк дизель-поїздів 301 секція, середня кількість працівників 266,3 тис. осіб, відправлено пасажирів за 2019 рік 149,6 млн пас., перевезено вантажів за 2019 рік 312,4 млн тонн.

З 2021 р. інвентарний парк пасажирських вагонів основних перевезень становить 4,3 тис. одиниць, в тому числі робочий парк – 3,1 тис. вагонів. Також в наявності швидкісні електропоїзди «Hyundai» - 10 од.; швидкісні електропоїзди «Тарпан» - 2 од.; міжрегіональні поїзди локомотивної тяги – 2 од. (по 5 пас. вагонів). Загальний парк вантажних вагонів становить 83,5 тис. одиниць. Із наявного парку вантажних вагонів робочий парк складає 57,7 тис. од. вагонів (без врахування вагонів на території ОРДЛО).

Інвентарний парк локомотивів становить 3589 од., в тому числі: електровозів – 1628 од.; тепловозів – 1961 од.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## 1.2 Класифікація електрорухомого складу

Електрорухомий склад (ЕРС) - це рухомий склад залізниць, який отримує тягу від електричної енергії, що надходить від контактної мережі.

ЕРС можна класифікувати за різними ознаками:

за призначенням: пасажирський, вантажний, спеціального призначення.

за типом тяги: електровози, електропоїзди, автомотриси, електробуси.

за кількістю осей: одновісні, двовісні, тривісні, чотиривісні, багатовісні.

за типом кузова: капотні, безкапотні, тендорні.

за швидкістю: швидкісні, звичайні.

за призначенням ЕРС поділяється на:

Пасажирський ЕРС призначений для перевезення пасажирів. До нього належать електровози, електропоїзди, автомотриси, електробуси.

Вантажний ЕРС призначений для перевезення вантажів. До нього належать електровози, електропоїзди, автомотриси, думпкари.

Спеціального призначення ЕРС призначений для виконання непасажирських і невантажних робіт. До нього належать електровози, електропоїзди, автомотриси, дрезини, снігоочисники, дистанційні вагони.

За типом тяги ЕРС поділяється на:

Електровози - це локомотиви, які отримують тягу від електричної енергії, що надходить від контактної мережі. Електровози поділяються на пасажирські, вантажні, маневрові, швидкісні.

Електропоїзди - це моторвагонний рухомий склад, який складається з моторних і причепних вагонів. Електропоїзди поділяються на пасажирські, вантажні, швидкісні.

Автомотриси - це самохідні моторвагони, які не мають причепних вагонів. Автомотриси поділяються на пасажирські, вантажні, спеціального призначення.

Електробуси - це моторвагони, призначені для перевезення пасажирів на міських і приміських маршрутах.

В залежності від роду струму електрорухомий склад класифікується:

– постійного струму ;

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

– змінного струму;

– подвійного живлення, що може працювати як на постійному, так і на змінному струмі.

В залежності від способу передачі обертального моменту тягового двигуна на тягові колісні пари електрорухомий склад поділяється на два види:

– з індивідуальним приводом (якщо обертальний момент від одного тягового двигуна передається на одну тягову колісну пару);

– з груповим приводом (якщо обертальний момент від одного тягового двигуна передається двом і більше тяговим колісним парам).

За швидкістю ЕРС поділяється на:

швидкісні ЕРС мають швидкість понад 160 км/год.

звичайні ЕРС мають швидкість до 160 км/год.

Розглянемо більш детально класифікацію на прикладі електровозів:

Список серійних електровозів: ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ19, ВЛ22, ВЛ23, ВЛ60, ВЛ65, ВЛ80, ВЛ82, ВЛ85, ЕП1, ЕП2К, ЕП10, Е5<sup>к</sup>, 2ЕС4<sup>к</sup>, 2ЕС5<sup>к</sup>, 2ЕС6, ЧС1, ЧС2, ЧС3, ЧС4, ЧС6, ЧС7, ЧС8, ЧС200, ДЕ1, ДС3, 2ЕЛ5.

Список дослідних і малосерійних електровозів: ВЛ12, ВЛ40, ВЛ61, ВЛ62, ВЛ81, ВЛ83, ВЛ84, ЧС5, ЕП200.

Цифри, що стоять поряд з буквами, відповідають певним типам електровозів:

– від 1 до 18 – восьмивісні постійного струму;

– від 19 до 39 – шестивісні постійного струму;

– від 40 до 59 – чотиривісні змінного струму;

– від 60 до 79 – шестивісні змінного струму;

– від 80 – восьмивісні змінного струму.

Цифри до 40 означають електровоз постійного струму, 40 і вище – змінного струму. У номерах моделей ВЛ19, ВЛ22 і ВЛ23 цифра означає навантаження на вісь в тоннах. У номерах 40, 60 і 80 цифра «0» спочатку була буквою «О» і означала «однофазний», тобто такий, що живиться однофазним змінним струмом, а перша цифра означала число осей, але пізніше буква для

									Арк.
									15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180009.000.03.КР.ПЗ				

зручності перетворилася на цифру – ВЛ40, ВЛ60, ВЛ80.

Останні букви в номері моделі ВЛ60 і ВЛ80 означають:

«К» – з кремнієвими випрямлячами (раніше застосовувалися ртутні);

«Т» – з реостатним гальмуванням;

«Р» – з рекуперативним гальмуванням;

«П» – пасажирський;

«С» – сполучний, тобто може працювати за системою багатьох одиниць;

«А» – з асинхронними тяговими двигунами;

«Б» – з безколекторними вентильними двигунами;

«В» – з регулюванням напруги на високовольтній стороні трансформатора (як у ЧС4 і ЧС8).

Позначення електровозів «ЧС» означає «Чехословаччина». Буква «Т» в позначенні ЧС2<sup>Т</sup> і ЧС4<sup>Т</sup> означає реостатне гальмування, яким обладнані також електровози ЧС7 і ЧС8.

Цифри сенсу не несуть, крім ЧС200 – 200 – означає максимальну швидкість. Так як на електровозах постійного струму не може бути випрямлячів, то іноді зустрічається буква «К», яка означає проходження капітального ремонту з продовженням терміну служби.

Буква «У» означає «обтяжений», що робиться для поліпшення зчеплення з рейками.

Буква «М» завжди означає модернізований варіант.

При класифікації електровозів можна виділити наступні ознаки.

За родом служби – пасажирські (наприклад, ЧС2, ЧС4, ЧС7, ЧС8), вантажні (наприклад, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ80, ВЛ85), маневрові (наприклад, ВЛ26, ВЛ41) і промислові (наприклад, ЕЛ21, ЕК14). З останньої групи часто виділяють шахтні електровози, тобто призначені для перевезення різних вантажів по підземних рейкових коліях [8].

За родом струму живлення. На магістральних залізницях використовуються два типи: змінного струму – 25 кВ, 50 Гц (наприклад, ВЛ41, ВЛ80, ВЛ85, ЧС4, ЧС8) і постійного струму – 3 кВ (наприклад, ВЛ10, ВЛ15, ВЛ26,

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

ЧС2, ЧС7). Крім того, для експлуатації на ділянках як постійного, так і змінного струму використовуються двосистемні електровози (наприклад, ВЛ82, ЕП10, ЕП20), для експлуатації в кар'єрах і рудниках використовуються електровози постійного струму з напругою живлення 1500 В, 550 В, 250 В, змінного струму 10 кВ, а також з живленням від акумуляторів. В інших країнах світу, залежно від прийнятих стандартів в системі живлення електрифікованих залізниць, застосовуються електровози з іншими системами живлення, наприклад, змінного струму напругою 15 кВ, 16 2/3 Гц.

Якщо електровоз живиться від власної акумуляторної батареї, то він називається акумуляторним. Існують також безконтактні електровози (найменш поширені). Уздовж колії прокладається струмопровідна шина, в яку подається струм високої частоти, а на електровозі встановлюється котушка, в якій він індукується.

За типом тягового приводу:

– привод I класу – опорно-осьове підвішування ТЕД і редуктора (всі вітчизняні серійні вантажні електровози);

– привод II класу – опорно-рамне підвішування ТЕД і опорно-осьове редуктора (всі ЧС, ВЛ84, ЕП1М, ЕП10);

– привод III класу – опорно-рамне підвішування і ТЕД, і редуктора (пасажирські локомотиви Коломенського заводу – електровози ЕП2<sup>К</sup> і ЕП200).

За типом передачі обертового моменту з тягових двигунів на колісні пари розрізняють електровози:

– з індивідуальним приводом;

– з груповим (наприклад, дослідний ВЛ83, закордонні).

За типом тягових двигунів- з колекторними двигунами (всі електровози, які серійно випущені та імпортовані);

– з безколекторними асинхронними (ВЛ80<sup>А</sup>, ВЛ86<sup>Ф</sup>, ЕП10);

– з безколекторними синхронними (ВЛ80 В).

– За наявністю і типом електричного гальмування:

– без електричного гальмування (ВЛ60<sup>ПК</sup>, ЧС2, ВЛ80<sup>К</sup>);

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- з рекуперативним гальмуванням (ВЛ10, ВЛ11, ВЛ65, ВЛ80<sup>Р</sup>, ВЛ85);
- з реостатним гальмуванням (ВЛ80<sup>Т</sup>, ВЛ80<sup>С</sup>, ЕП10, ЕД9<sup>Т</sup>);
- з рекуперативнореостатним (ЕД).

За кількістю секцій: одно-, дво-, три- і чотирисекційні. Деякі серії електровозів передбачають можливість об'єднання двох, трьох або чотирьох секцій електровозів для роботи за системою багатьох одиниць (СБО).

За формулою ходової частини. Колісні пари позначають цифрами: двовісний візок – цифрою 2, тривісний – 3. Далі ставиться «+», якщо тягове зусилля передається через зчленування візків, або «-», якщо воно передається через раму кузова. Потім ставиться позначення числа рушійних колісних пар другого візка. Індекс «0» означає, що кожна вісь локомотива має свій тяговий двигун, тобто індивідуальний привод, відсутність індексу вказує на застосування групового приводу. Якщо локомотив складається із секцій, які можуть працювати самостійно, то осьова формула секцій береться в дужки, а перед дужкою вказується число секцій. Якщо секції не можуть працювати самостійно, то всі секції розписуються у послідовному порядку, ніби об'єднані одним кузовом.

Так, електровоз з осьовою формулою  $3_0+3_0$  – це односекційний локомотив з двома зчленованими тривісними візками з індивідуальним приводом. Локомотив з осьовою характеристикою  $2(3_0-3_0)$  – двосекційний локомотив, кожна секція якого може працювати самостійно і має два тривісні незчленовані візки з індивідуальним приводом. Якщо в цьому ж локомотиві секції не можуть працювати самостійно, то осьова формула буде мати такий вигляд:  $3_0-3_0-3_0-3_0$ .

За кордоном число рушійних колісних пар показують великими буквами латинського алфавіту: А – 1 рушійна колісна пара, В – 2, С – 3, D – 4.

Найбільш поширені електровози змінного струму таких серій:

- шестивісні вантажні ВЛ60<sup>К</sup> і пасажирські ЧС4, ЧС4<sup>Т</sup>;
- восьмивісні вантажні ВЛ80, ВЛ80<sup>Т</sup>, ВЛ80<sup>С</sup>, ВЛ80<sup>Р</sup>, пасажирські ЧС8;
- дванадцятивісні вантажні — ВЛ85.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

### 1.3 Принципи удосконалення електрорухомого складу

Принципи удосконалення електрорухомого складу можна поділити на кілька основних груп:

1) Технічні:

- підвищення енергоефективності;
- збільшення запасу ходу;
- зменшення ваги;
- покращення ходових характеристик;
- підвищення безпеки;

2) Економічні:

- зменшення собівартості виробництва;
- збільшення терміну служби;
- покращення умов експлуатації;
- екологічні:
- зменшення викидів шкідливих речовин;
- збільшення використання відновлюваних джерел енергії.

Деякі з цих принципів можна реалізувати одночасно, а інші є взаємовиключними. Наприклад, підвищення енергоефективності може призвести до збільшення ваги, а збільшення запасу ходу - до зниження енергоефективності.

Одним із найважливіших напрямків удосконалення електрорухомого складу є підвищення енергоефективності. Це можна зробити за рахунок використання більш ефективних двигунів, трансмісій та інших компонентів. Також важливо впроваджувати нові технології, такі як системи рекуперативного гальмування, які дозволяють повертати частину енергії назад у мережу при гальмуванні.

Ще одним важливим напрямком є збільшення запасу ходу. Це можна зробити за рахунок використання більш ємних батарей або використання додаткових джерел живлення, таких як сонячні панелі або гідрогенератори.

Зменшення ваги електрорухомого складу також є важливим фактором, оскільки це дозволяє збільшити запас ходу і зменшити споживання енергії. Знизити вагу можна за рахунок використання більш легких матеріалів, таких як алюміній

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

або композитні матеріали.

Покращення ходових характеристик електрорухомого складу можна досягти за рахунок використання нових систем управління рухом і підвіскою. Це дозволить зробити рух більш плавним і комфортним для пасажирів.

Підвищення безпеки електрорухомого складу є важливим завданням, оскільки ці транспортні засоби часто перевозять велику кількість пасажирів. Для підвищення безпеки можна використовувати нові системи безпеки, такі як системи автоматичного гальмування і попередження про зіткнення.

Зменшення собівартості виробництва електрорухомого складу також є важливим завданням, оскільки це дозволить зробити ці транспортні засоби більш доступними для споживачів. Знизити собівартість можна за рахунок масштабування виробництва, впровадження нових технологій і використання більш доступних матеріалів.

Збільшення терміну служби електрорухомого складу також є важливим завданням, оскільки це дозволить зменшити витрати на його експлуатацію. Збільшити термін служби можна за рахунок використання більш надійних компонентів і впровадження систем діагностики та прогнозування відмов.

Покращення умов експлуатації електрорухомого складу також є важливим завданням, оскільки це дозволить зробити ці транспортні засоби більш зручними і комфортними для водіїв і пасажирів. Для покращення умов експлуатації можна використовувати нові системи управління комфортом, такі як системи клімат-контролю і інформаційно-розважальні системи.

Зменшення викидів шкідливих речовин є важливим завданням для електрорухомого складу, оскільки ці транспортні засоби не викидають шкідливих речовин в атмосферу. Знизити викиди можна за рахунок використання більш ефективних двигунів і трансмісій.

Збільшення використання відновлюваних джерел енергії також є важливим завданням для електрорухомого складу, оскільки це дозволить зменшити залежність від викопних видів палива. Збільшити використання відновлюваних джерел енергії можна за рахунок використання сонячних батарей або гідрогенераторів для зарядки батарей електрорухомого складу.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Впровадження цих принципів удосконалення електрорухомого складу дозволить зробити ці транспортні засоби більш ефективними, економічними, екологічними і безпечними.

Також удосконалення електрорухомого складу може бути спрямоване на декілька напрямків. Наприклад, збільшення продуктивності, підвищення ефективності використання енергії та поліпшення зручності управління. Ось кілька ключових принципів.

**Ефективність енергоспоживання:** Зменшення опору руху, оптимізація аеродинаміки та вдосконалення системи управління можуть значно підвищити кількість кілометрів, які можна проїхати на одному заряді.

**Інноваційні матеріали:** Використання легких та міцних матеріалів дозволяє зменшити вагу транспортного засобу, що впливає на його продуктивність та ефективність.

**Рециклювання елементів живлення:** Розробка систем, які дозволяють використовувати та переробляти батареї, може покращити сталість та екологічність електротранспорту.

**Швидше заряджання:** Розробка та впровадження технологій, які дозволяють швидше заряджати батареї, робить електромобілі більш привабливими для користувачів.

**Автоматизоване водіння.** Розробка систем автопілоту та автоматизованого водіння може покращити безпеку та зручність користування електротранспортом.

**Споживачам орієнтовані технології:** Врахування потреб користувачів, їх зручностей та очікувань дозволяє створювати більш конкурентоспроможні та популярні моделі.

Удосконалення електрорухомого складу може бути досягнуте за допомогою різних принципів. Ось декілька можливих принципів, які можна використовувати для поліпшення електрорухомих складів:

**Енергоефективність.** Одним з головних принципів удосконалення електрорухомого складу є зниження споживання енергії. Це може бути досягнуто шляхом використання більш ефективних електродвигунів, оптимізації системи передачі енергії та використання енергозберігаючих технологій, таких як

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

рекуперация енергії при гальмуванні.

Використання відновлюваної енергії. Застосування відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія, може значно зменшити вплив на довкілля та залежність від традиційних джерел енергії. Встановлення сонячних панелей або вітряних турбін на покритті складу може забезпечувати електроенергію для зарядки електромобілів або живлення системи освітлення.

Використання автономних систем. Введення автономних систем управління електрорухомим складом може поліпшити ефективність та надійність його функціонування. Наприклад, встановлення системи автоматичного управління температурою та освітленням може знизити споживання енергії, уникнути перевантаження та підвищити безпеку.

Використання інтелектуальних технологій. Впровадження інтелектуальних технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, може забезпечити оптимальне управління рухомим складом. Наприклад, системи автоматичного маршрутизування можуть оптимізувати маршрути доставки, забезпечуючи більш швидку та ефективну роботу.

Використання ефективних матеріалів. Використання легких та міцних матеріалів, таких як карбонові волокна чи алюміній, може зменшити вагу електрорухомого складу. Це допоможе збільшити його маневреність, знизити споживання енергії та забезпечити більшу вантажопідйомність.

Розширення інфраструктури зарядних станцій. Розвиток мережі зарядних станцій є важливим принципом для поліпшення електрорухомого складу. Інфраструктура зарядних станцій повинна бути зручною та доступною, щоб забезпечити зручне заряджання електромобілів.

Це лише кілька можливих принципів, які можуть бути використані для удосконалення електрорухомого складу. Важливо враховувати специфіку конкретного складу і його потреби при виборі оптимальних рішень для покращення його продуктивності та довговічності.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 2 АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

### 2.1 Загальна характеристика парку електрорухомого складу

Монополістом парку електрорухомого складу в Україні є компанія АТ "УЗ".

Акціонерне товариство «Українська залізниця» (АТ «Укрзалізниця», Укрзалізниця) — засноване у жовтні 2015 державне акціонерне товариство залізничного транспорту загального користування, національний перевізник вантажів та пасажирів, метою діяльності якого є задоволення потреб у безпечних та якісних залізничних перевезеннях у внутрішньому та міжнародному сполученні, забезпечення ефективного функціонування та розвитку залізничного транспорту та ін. У 2018 компанія була перетворена з публічної на приватну постановою Кабінету Міністрів України від 31 жовтня 2018 р. (№ 938).

Парк рухомого складу станом на 2017 рік складав:

- вантажні вагони — 65 422 од.;
- локомотиви — 2250 од., в тому числі:
  - електровози — 1469 од.;
  - тепловози — 429 од.;
- моторвагонний рухомий склад, в тому числі:
  - дизель-поїзди — 282 од.;
  - рейкові автобуси — 17 од.;
  - електропоїзди — 1391 од.;
  - пасажирські вагони — 5210 од.;
  - швидкісні електропоїзди Hyundai — 10 од.;
  - швидкісні електропоїзди «Тарпан» — 2 од.;
  - міжрегіональні поїзди локомотивної тяги — 2 од. (по 5 пасажирських вагонів);
- контейнери — 4475 од.

Згідно статистичних даних про Українські залізниці від Міністерства інфраструктури України інвентарний парк електровозів в 2019р. вже становить

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1627 од.

В даний час в Україні перебувають в експлуатації переважно електровози ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ60, ВЛ80 різних модифікацій, ЧС2, ЧС7, ЧС4, ЧС8, ДЕ1, ДС3.

Найбільше електровозів ВЛ60, які є найстарішими в парку. Середній вік цих електровозів становить 57 років, що перевищує термін служби, встановлений заводом-виробником. ВЛ80 є більш сучасною моделлю, ніж ВЛ60, але їх середній вік також становить 41 рік. ВЛ82 і ВЛ85 є найновішими моделями в парку, але їх кількість є відносно невеликою.

## 2.2 Технічний стан електрорухомого складу

9 листопада 2021 року, Міністр інфраструктури України зазначив що: переважна більшість рухомого складу УЗ потребує заміни чи ремонту. «Ступінь зносу рухомого складу — 90 % поїздів потребують заміни чи ремонту. Така сама ситуація з локомотивами. Електропоїзди вже на 90 % по суті просто металолом». Відповідні структури розподілу наведені на рисунках 2.1 та 2.2.

На сьогодні середній знос локомотивів становить 96,8%, у тому числі електровозів – 93,3%, магістральних тепловозів – 99,6%, а маневрових тепловозів – 99,9%. Середній вік електровозів складає 40,6 років за нормативного віку в 30 років, магістральних тепловозів – 30,7 років за нормативних 20 років, маневрових тепловозів – 35,8 років за нормативних 25 років.

Найближчим часом значна частина тягового рухомого складу відпрацює подовжений термін експлуатації і буде списана через загрозу руйнування, викликаного “втомою” металу. Іншими словами, якщо не оновлювати парк локомотивів, згодом УЗ перейде критичну межу безпечної експлуатації тягового складу.

Більша частина вантажних перевезень в Україні здійснюється електровозами, і у майбутньому ця тенденція буде зростати [1]. Проте більшість електровозів в Україні виробництва колишнього СРСР, які вже вичерпали свій ресурс або перебувають на його межі. У таких умовах ключовим стає питання надійності цих транспортних засобів. Проблемами підвищення надійності та довговічності рухомого складу займаються наукові групи вищих навчальних закладів і наукових

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

установ як в Україні, так і за кордоном.



Рисунок 2.1 – Структура парку вантажних локомотивів залізниць України з діючим терміном служби % (01.04.2019)

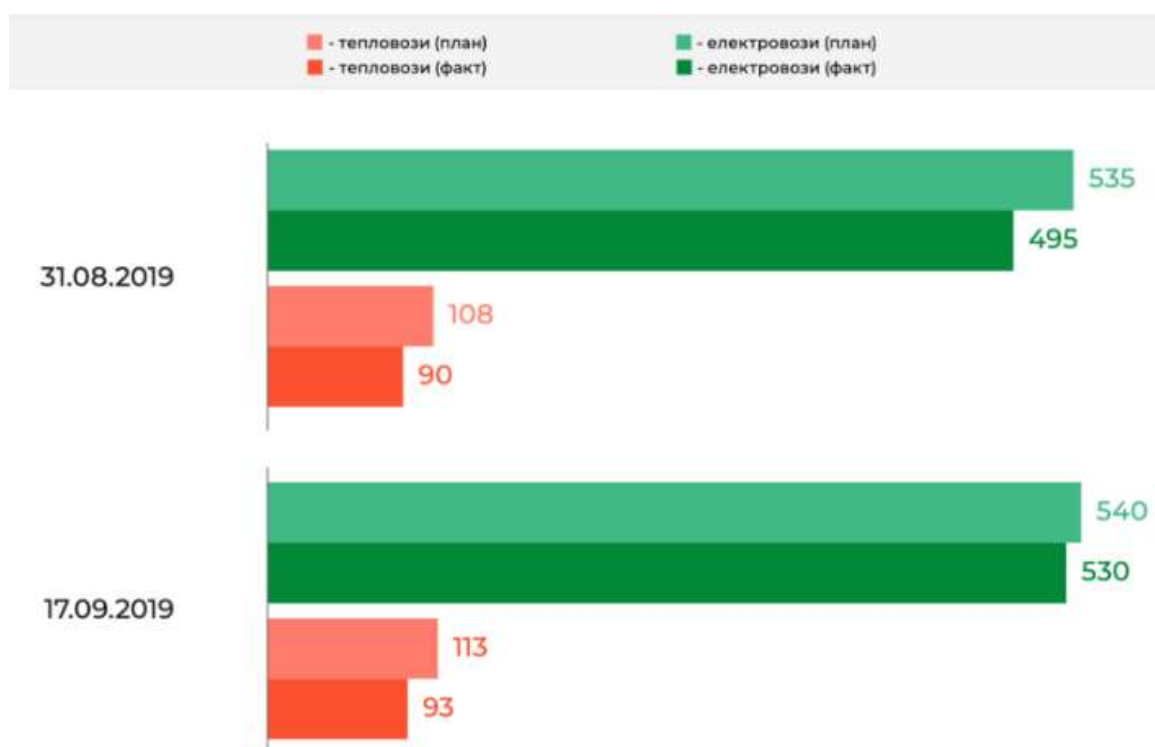


Рисунок 2.2 – Стан експлуатованого парку вантажних локомотивів залізниць України

Враховуючи незадовільний стан електрорухомого складу АТ «Укрзалізниця» розробила Концепцію (прогнозна) роботи з парком локомотивів АТ «Укрзалізниця» до 2033 року.

Ключові передумови реалізації концепції. Проблеми:

– Основна частина парку локомотивів спроектовані і виготовлені в 60-80 роках минулого сторіччя, мають низьку економічність у порівнянні з сучасними локомотивами, не можуть забезпечити належного підвищення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів та ін.

– наявність багатосерійності інвентарного парку;

– частина потенційно активного локомотивного парку знаходиться в непрацездатному стані та потребує значного відновлення;

– інвентарна наявність локомотивів майже на третину перевищує їх фактичну потребу;

– наявність в активному парку значної частки локомотивів середній вік яких перевищує 50 років;

– знос інвентарного парку локомотивів складає майже 100 %;

– спостерігається стійка динаміка збільшення експлуатаційних витрат на утримання існуючого парку локомотивів.

Вирішення:

– відновлення за рахунок виконання капітальних ремонтів з модернізацією окремих вузлів та подовженням строку експлуатації;

– оновлення за рахунок закупівлі нових локомотивів;

– уніфікація, визначення перспективних серій локомотивів за видами руху;

– скорочення операційних витрат на утримання парку;

– спеціалізація основних виробничих потужностей та оптимізація парку;

– перехід на сервісне обслуговування нових локомотивів.

Серед парку вантажних електровозів змінного струму базові проблеми:

– основна частина парку електровозів спроектовані і виготовлені в 60 - 80 роках минулого століття, які в експлуатації потребують збільшених до 4060 % витрат на ремонт і поточне утримання, мають низьку економічність у порівнянні з сучасними локомотивами, не можуть забезпечити належного підвищення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів та ін.;

– наявність в активному парку електровозів серії ВЛ80к середній вік яких

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

перевищує 50 років складають близько 27 % від усього активного парку вантажних електровозів змінного струму;

– знос інвентарного парку електровозів складає 95,5 %.

Динаміка активного парку локомотивів та стратегія роботи з парком вантажних електровозів змінного струму до 2033 року показані на діаграмах розподілу на рисунках 2.3 та 2.4 відповідно.

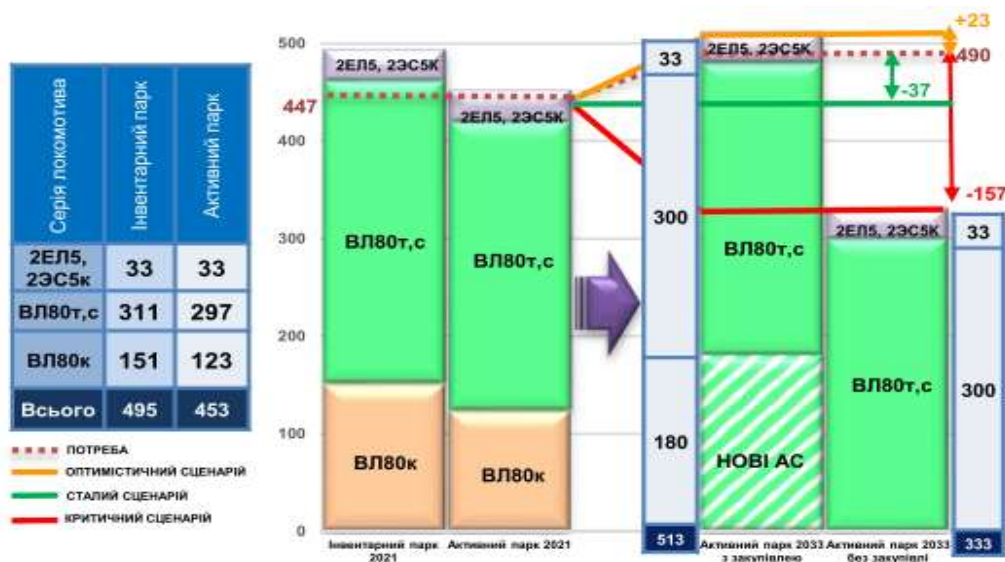


Рисунок 2.3 – Динаміка активного парку електровозів

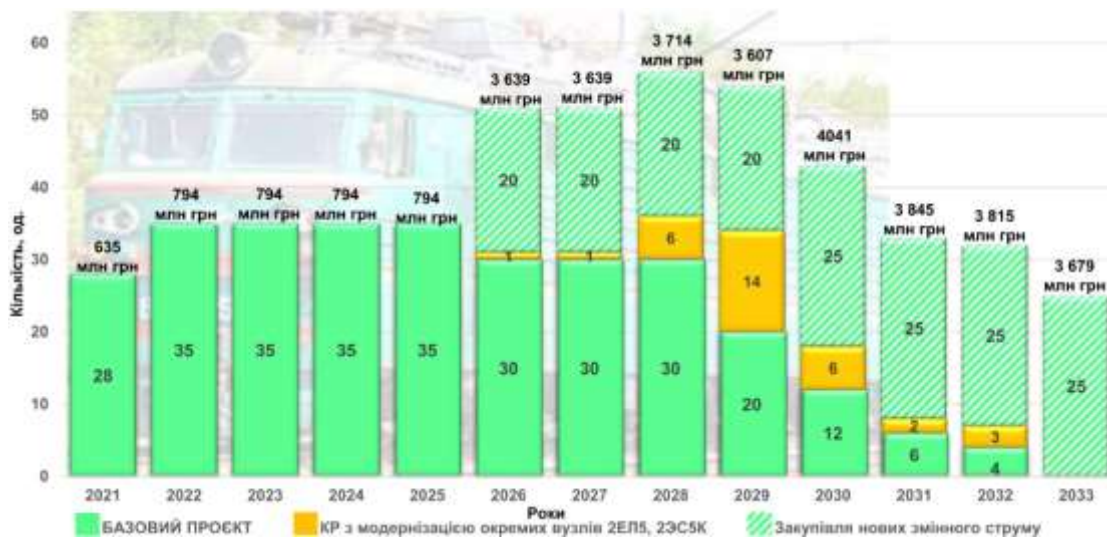


Рисунок 2.5 – Робота з парком вантажних електровозів змінного струму до 2033 року

Серед парку вантажних електровозів подвійного живлення проблеми:

– основна частина парку електровозів спроектовані і виготовлені в 6080 роках минулого століття, які в експлуатації потребують збільшених до 4060 %

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

0032.180009.000.03.КР.ПЗ

Арк.

27

витрат на ремонт і поточне утримання, мають низьку економічність у порівнянні з сучасними локомотивами, не можуть забезпечити належного підвищення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів та ін.;

– наявність в активному парку електровозів серії ВЛ82М середній вік яких становить 45 років складають 100 % активного парку електровозів подвійного живлення;

– знос інвентарного парку електровозів складає 100 %.

Динаміка активного парку та стратегія роботи з парком вантажних електровозів серії ВЛ82 до 2033 року показані на діаграмах розподілу на рисунках 2.5 та 2.6 відповідно.



Рисунок 2.4 – Динаміка активного парку

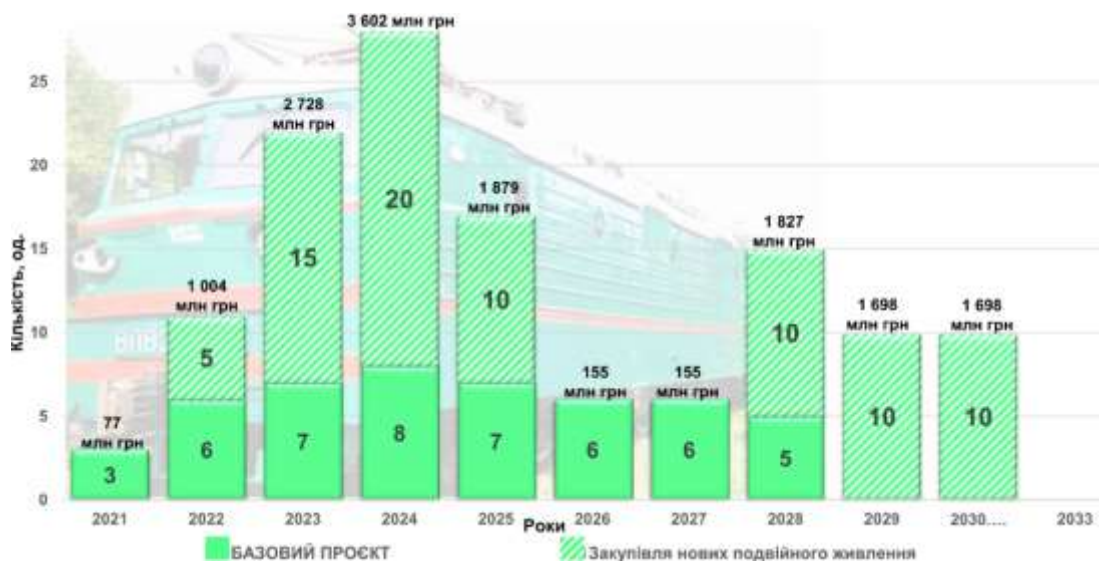


Рисунок 2.6 - Робота з парком вантажних електровозів подвійного живлення до 2033 року

## Проблеми парку вантажних електровозів постійного струму:

- основна частина парку електровозів спроектовані і виготовлені в 6080 роках минулого століття, які в експлуатації потребують збільшених до 4060 % витрат на ремонт і поточне утримання, мають низьку економічність у порівнянні з сучасними локомотивами, не можуть забезпечити належного підвищення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів та ін.;
- інвентарна наявність магістральних вантажних електровозів постійного струму більш ніж на 40 % перевищує фактичну потребу;
- наявність в активному парку електровозів серії вл8 середній вік яких перевищує 50 років складають близько 50 % від усього активного парку вантажних електровозів постійного струму;
- знос інвентарного парку електровозів складає 92 %.

Динаміка активного парку локомотивів та стратегія роботи з парком вантажних електровозів постійного струму до 2033 року показані на діаграмах розподілу на рисунках 2.7 та 2.8 відповідно.



Рисунок 2.7 - Вантажні електровози постійного струму

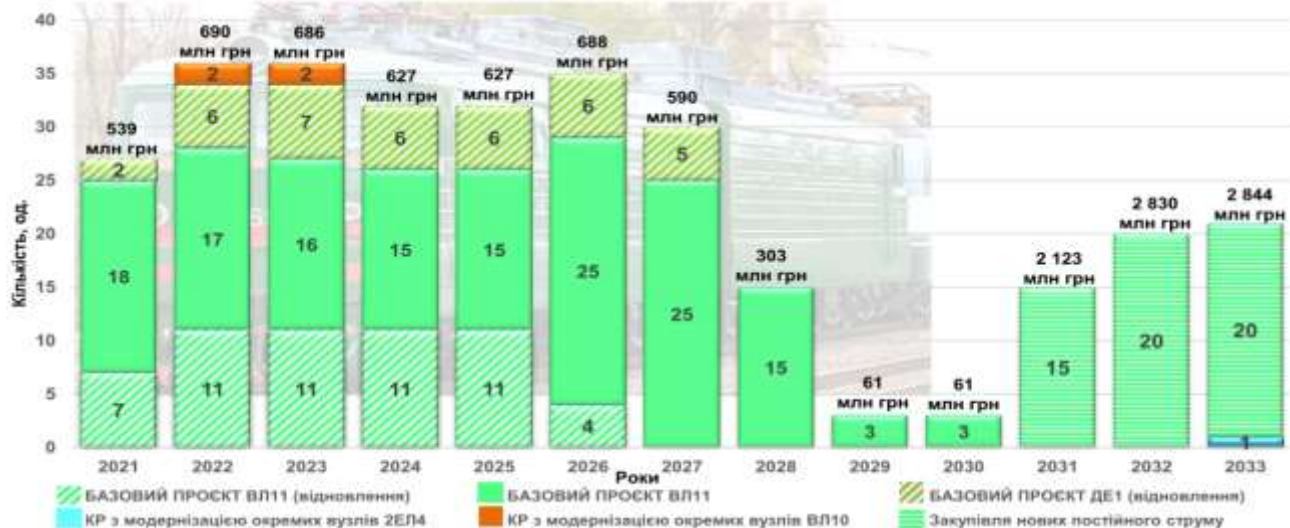


Рисунок 2.8 - Робота з парком вантажних електровозів постійного струму до 2033 року

#### Проблеми парку пасажирських електровозів:

– основна частина парку електровозів спроектовані і виготовлені в 6080 роках минулого століття, які в експлуатації потребують збільшених до 4060 % витрат на ремонт і поточне утримання, мають низьку економічність у порівнянні з сучасними локомотивами;

– інвентарна наявність магістральних пасажирських електровозів більш ніж на 35 % перевищує активний парк;

– наявність в активному парку електровозів серій чс2, чс4 середній вік яких перевищує 53 роки складають 48% від усього активного парку пасажирських електровозів;

– знос інвентарного парку електровозів складає 99,7 %;

– стійка динаміка збільшення експлуатаційних витрат на утримання наявного парку.

Динаміка активного парку локомотивів та стратегія роботи з парком пасажирських електровозів постійного струму до 2033 року показані на діаграмах розподілу на рисунках 2.9 та 2.10 відповідно.

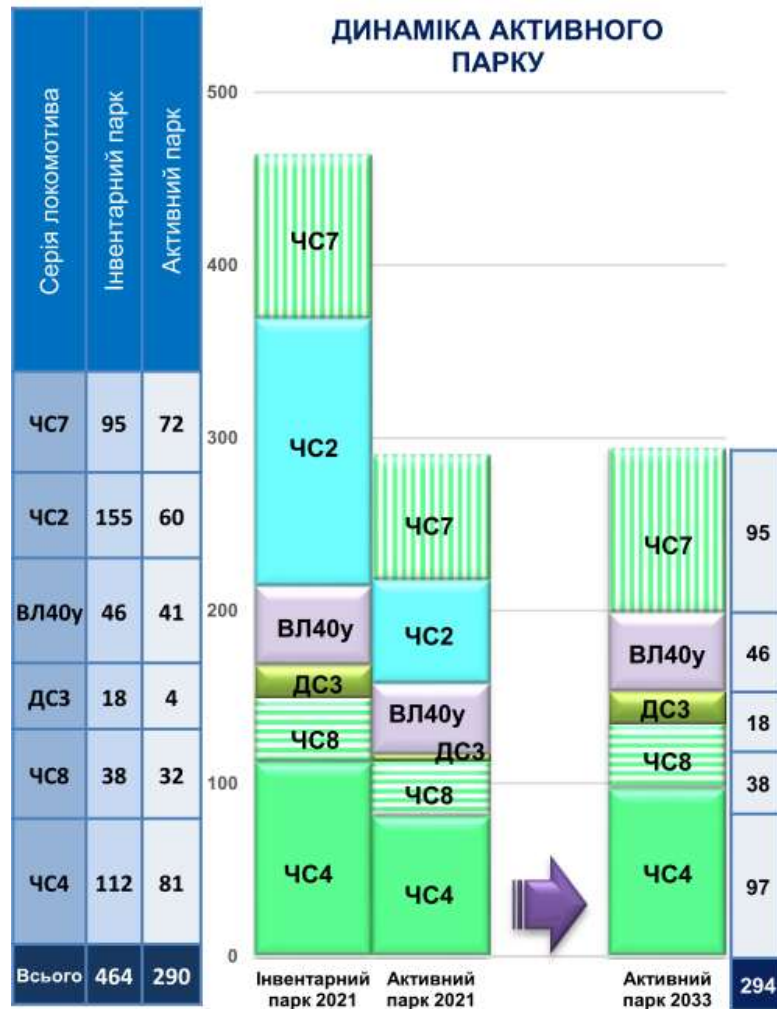


Рисунок 2.9 - Пасажирські електровози

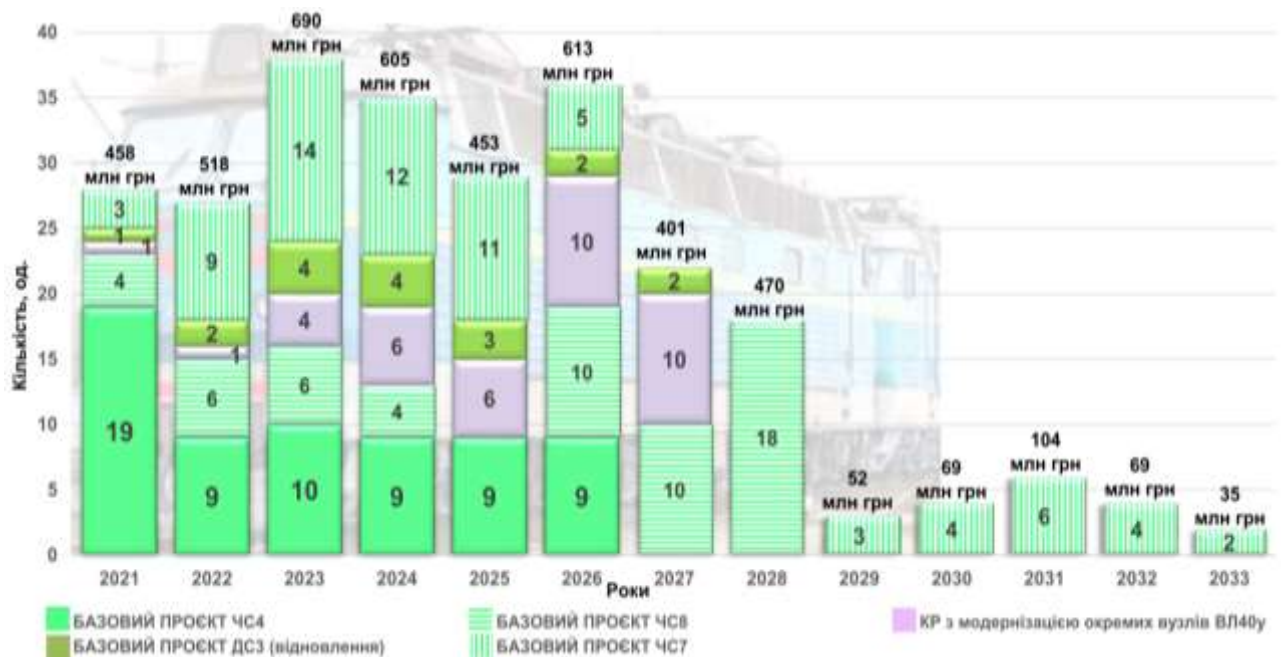


Рисунок 2.10 - Робота з парком пасажирських електровозів до 2033 року

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

0032.180009.000.03.КР.ПЗ

Арк.

31

Таким чином, можна зробити висновок, що більшість локомотивів і електропоїздів випрацювали свій ресурс і потребують оновлення. Це негативно впливає на безпеку руху, економічність і ефективність роботи залізниць. Для вирішення цієї проблеми необхідно провести масштабне оновлення парку електрорухомого складу. У першу чергу необхідно замінити старі локомотиви на сучасні, які відповідають європейським стандартам безпеки і ефективності. Також необхідно закупити нові електропоїзди для пасажирських перевезень. Оновлення парку електрорухомого складу є одним з найважливіших завдань для Укрзалізниці. Воно дозволить підвищити конкурентоспроможність залізниць України і забезпечити їх подальший розвиток.

Основні проблеми електрорухомого складу залізниць України:

- високий вік більшості локомотивів і електропоїздів;
- невідповідність технічних характеристик сучасним вимогам;
- високі витрати на технічне обслуговування і ремонт.

### **2.3 Експлуатаційні характеристики електрорухомого складу**

Основна мета транспортної системи полягає у повному та своєчасному задоволенні потреб промисловості та населення у перевезеннях, а також у підвищенні ефективності та якості її роботи. Для досягнення цієї мети необхідно зосередитися на покращенні рівня використання та надійності електрорухомого складу на залізницях. Підвищення ефективності електричної тяги повинно стати можливим не лише завдяки впровадженню нових потужних електричних локомотивів, але й через поліпшення тягових, гальмівних, динамічних та техніко-економічних характеристик існуючого електрорухомого складу постійного і змінного струму, а також підвищення його надійності.

На сучасному етапі виділяється проблема істотного старіння в експлуатації парку електровозів. У найближчі роки залізницям слід буде забезпечити перевезення вантажів і пасажирів без збільшення та помітного оновлення парку тягового рухомого складу. Використання морально застарілого рухомого складу з низькими динамічними характеристиками веде до зниження рівня безпеки руху поїздів і високих експлуатаційних витрат. Це обумовлено зростанням витрат на

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

ремонтні роботи і збільшеним споживанням енергії для тяги поїздів.

Під час експлуатації електровозів змінюються їх характеристики через знос контактуючих поверхонь вузлів тертя, втрату властивостей демпферів, гумових та гумометалевих деталей, а також зміну передбачених конструкцією зазорів. Це зазвичай призводить до неконтрольованого зростання показників динаміки, підвищення динамічної напруженості основних несучих елементів екіпажу та обмеження швидкості руху локомотивів. Експлуатація рухомого складу поза межами призначеного терміну служби не лише погіршує експлуатаційну надійність, але й збільшує витрати на його утримання. У зв'язку з відсутністю можливості швидкого оновлення через обмежений бюджет, важливим стає питання модернізації електровозів ВЛ10, ВЛ11<sup>м</sup> і ВЛ82<sup>м</sup>.

Можливість удосконалення показників динамічних характеристик цих електровозів вкрай актуальна. Збереження та навіть поліпшення їхніх експлуатаційних властивостей важливо для транспортної системи України. Однак через обмежені фінансові можливості країни, першочерговим завданням стає модернізація тягового рухомого складу з метою збільшення його терміну служби.

Ключовим напрямком для забезпечення безпеки руху, поліпшення та стабілізації динамічних характеристик електровозів є встановлення оптимальних стандартів з утримання вузлів екіпажу і їхню модернізацію. Підвищення якості технічного обслуговування і ремонту шляхом впровадження передових технологій та сучасних технічних засобів стає важливим кроком у цьому напрямі.

Експлуатаційні характеристики електрорухомого складу - це сукупність його властивостей, що визначають його здатність виконувати транспортну роботу. До основних експлуатаційних характеристик електрорухомого складу відносяться:

Тягові характеристики. Вони визначають здатність електровоза тягнути поїзд певної ваги з певною швидкістю. До тягових характеристик відносяться:

- тяга на колі – сила, що діє на колесо електровоза;
- тяга на рейці – сила, що діє на рейку;
- тяга на поїзд – сила, що діє на поїзд;
- ускорення поїзда – прискорення, яке надає електровоз поїзду;

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

– максимальна швидкість – максимальна швидкість, яку може розвинути електровоз.

Енергетичні характеристики. Вони визначають витрати електроенергії на тягу поїзда. До енергетичних характеристик відносяться.

Ефективність електровоза – відношення корисної потужності електровоза до споживаної потужності.

Витрати електроенергії на тягу поїзда – кількість електроенергії, що витрачається на тягу поїзда на одиницю маси або ваги.

Відстань, яку електровоз може подолати на одному заряді акумуляторів – відстань, яку електровоз може подолати на одному заряді акумуляторів.

Маневрені характеристики. Вони визначають здатність електровоза виконувати маневрові операції. До маневрових характеристик відносяться:

Радіус повороту - мінімальний радіус, по якому може повернути електровоз.

Час розвороту - час, за який електровоз може розвернутися на заданому радіусі.

Швидкість маневрування - швидкість, з якою електровоз може виконувати маневрові операції.

Надійність. Вона характеризується здатністю електровоза виконувати транспортну роботу без відмов.

Екологічність. Вона характеризується впливом електровоза на навколишнє середовище.

Експлуатаційні характеристики електрорухомого складу визначаються його конструкцією, технічним станом і умовами експлуатації.

Для забезпечення високих експлуатаційних характеристик електрорухомого складу необхідно:

Використовувати електровози з сучасною конструкцією, яка забезпечує високу тягову потужність, економічність і надійність.

Регулярно проводити технічне обслуговування і ремонт електровозів для підтримки їх у належному стані.

Створювати сприятливі умови для експлуатації електровозів, зокрема,

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

своєчасно ремонтувати і утримувати контактну мережу.

Експлуатаційні характеристики електрорухомого складу є важливим фактором, що впливає на ефективність роботи залізничного транспорту. Вони визначають здатність електровозів виконувати транспортну роботу з мінімальними витратами і з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища.

Загальний вигляд та робоче місце машиніста електровоза ВЛ82м показані на рисунку 2.11 та 2.12 відповідно.

Технічні характеристики:

- висота-5100 мм;
- довжина -  $2 \times 16\,240$  мм (32 480 мм);
- ширина-3240 мм;
- колія — 1520 мм;
- конструкційна швидкість-110 км / год;
- мінімальний радіус проходження кривих-80 м;
- потужність тед (годинна) -  $2 \times 4 \times 755$  кВт (6040 кВт);
- потужність тед (тривала) -  $2 \times 4 \times 720$  кВт (5760 кВт);
- тип тед-колекторні, нб-420а;
- осьова формула —  $2 \times (20-20)$ ;
- рід струму-змінний (25 кв), постійний (3 кв);
- службова маса- $2 \times 125$  т (250 т);
- тип-вантажний, пасажирський.

Експлуатація.

Україна: Харківська ж / д (Куп'янськ-Сортувальний Південної ж. буд.)

ВЛ82<sup>М</sup> — випуск з 1972 по 1979 рік, побудовано 67 одиниць) — модернізований, зменшено передавальне число, змінена схема електроланок, замінені контролери, струмоприймачі; уніфікований з ВЛ10<sup>У</sup> і ВЛ80<sup>Т</sup>.

У тих випадках, коли з економічних міркувань та експлуатаційних умов недоцільне обладнання залізничних станцій стикування перемикачами роду струму, застосовують так звані електровози подвійного живлення. Ці електровози можуть працювати як на змінному струмі 25 кВ, так і на постійному струмі 3000 і проходити розділи живлення без зупинки.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



Рисунок 2.11 – Електровоз ВЛ82<sup>М</sup>



Рисунок 2.12 – Робоче місце машиніста електровоза ВЛ82<sup>М</sup>

Конструкційна швидкість електровоза 110 км/год. Під час реостатного гальмування гальмівна сила електровоза за швидкості 0...75 км/год – 0...275 кН (0...28 000 кгс), за швидкості 75...110 км/год – 275...137 кН (28 00...14 000 кгс).

Розділ живлення двох систем струму при використанні електровозів подвійного живлення зазвичай робиться біля станції, а сама станція не обладнується перемикачами.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

## 2.4 Аналіз двосистемних локомотивів як напрямок розвитку

Зі здобуттям Україною незалежності проблема залізничних транспортних витрат стала більш серйозною. Через високі ціни на нафтопродукти використання тепловозів стає економічно дорого.

Одним із способів вирішення цієї проблеми є електрифікація залізниць. Проте особливістю Української залізної мережі те, що ще з радянських часів окремі ділянки електрифіковані змінним та постійним струмом, що призвело до будівництва станцій стикування.

Двосистемні електровози це локомотиви, які можуть пересуватися на ділянках з різними типами струмів, а значить не вимагає заміни локомотива на станції стикування, що сприяє зменшенню витрати електроенергії та часу, прискорює швидкість руху поїздів. Вони дорогі і складні за конструкцією, що є їх мінусом. Навіщо утримувати парк електровозів постійного та змінного струмів, що дорого і не доцільно, якщо можна обійтися унікальним однотипним двосистемним електровозом.

В Україні таким локомотивом є електровоз ВЛ82. Електровоз досить старий однак при поліпшенні його характеристик шляхом встановлення потужних асинхронних електродвигунів, сучасної електроніки, поліпшення умов роботи локомотивної бригади тобто привести до сучасних стандартів значно зможе прискорити вантажний рух на ділянках які мають станції стикування. В країнах Європи вид багатосистемного локомотива проектується та експлуатується, наприклад в Німеччині експлуатується багатосистемний електровоз серії 185. За діяльністю локомотиви серії 185 позиціонуються як універсальні, тобто можуть використовуватися для водіння як пасажирських, так і вантажних поїздів. Але особлива роль приділяється застосуванню електровозів у далеких міждержавних вантажних перевезеннях що було корисно як напрямок розвитку у вантажообігу України між сусідніми державами.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

### 3 НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

#### 3.1 Удосконалення технічних характеристик

Для можливості удосконалення деяких технічних характеристик електровоза ВЛ82м розглянемо його силові ланцюги (рис.А.1, додаток А).

У кожній секції електровоза ВЛ82М встановлено трансформатор ОДЦЕ-4000/25А типовою потужністю 3884 кВА. Трансформатор має три обмотки: первинну (25 кВ), тягову (3800 В) та власних потреб (250 В); вага трансформатора 5870 кгс. Тягова обмотка через випрямну установку живить тягові електродвигуни пульсуючим струмом. На електровозі є дві випрямні установки ВУК-6700 з вентилями ВЛ-230-10. В установці 288 вентилів, у плечах моста шість паралельних ланцюгів, у кожному ланцюзі 12 вентилів, включених послідовно. Номінальний випрямний струм установки 1870 А.

Для захисту силових ланцюгів під час роботи на змінному струмі служать повітряні вимикачі ВВВ-25-4М, на постійному струмі ланцюги захищаються швидкодіючими вимикачами БВП-5. Для охолодження тягових електродвигунів, випрямляльних установок і реакторів, що згладжують, служать мотор-вентилятори з електродвигунами марки НБ-411 (3000 В, 40 кВт, 17 А, 1400 об/хв). Компресори КТБ-Ел наводяться електродвигунами НБ-431П (21 кВт, 9,5 А, 440 об/хв). Охолодження пуско-гальмівних резисторів здійснюється мотор-вентиляторами з електродвигунами НБ-107 (78 кВт, 155 В, 615 А, 1700 об/хв).

На електровозах ВЛ82М застосовані такі ж тягові електродвигуни (НБ-407Б), як і на електровозах ВЛ82, але мають за рахунок постійного ослаблення збудження (97% збудження) більш високу частоту обертання якоря (760 об/хв на годинному та 770 об/хв на тривалому режимі), потужність тривалого режиму становить **720 кВт** при струмі 510 А.

Обидві секції електровоза, електричні ланцюги яких однакові, працюють у системі багатьох одиниць. Управління тяговим приводом у всіх режимах неавтоматичне. Регулювання швидкості руху, тягової та гальмівної сил - ступінчасте, зміною опору пуско-гальмівних резисторів; у тяговому режимі

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

використовується два з'єднання тягових двигунів (чотири послідовно та дві групи двигунів паралельно). Перегрупування тягових двигунів здійснюється за схемою моста. Режим реостатного гальмування – за перехресною схемою із самозбудженням. Тягові електродвигуни при роботі електровоза як на змінному, так і на постійному струмі, з'єднані послідовно (по чотири в кожній секції) і послідовно паралельно (по два електродвигуни послідовно). Перехід з одного з'єднання на інше здійснюється за бруківкою. На послідовному з'єднанні є 24 реостатні та одна ходова позиції, на послідовно-паралельному — 12 реостатних та одна ходова. На ходових позиціях передбачено чотири ступені ослаблення збудження: 70, 56, 46 та 39%. Електричне обладнання електровоза розраховане застосування реостатного гальмування.

Управління тяговим приводом у всіх режимах здійснюється контролером машиніста, що має три рукоятки: головну - для управління реостатними контакторами та груповим контактором (ГЗГ); режимну - для вибору режиму (тяга-гальмування), управління контакторами ослаблення збудження в режимі тяги; реверсивну - для керування реверсором. Аналізуючи силові ланцюги електровоза ВЛ82<sup>М</sup> можна зробити висновок, що даний двосистемний локомотив фактично є електровозом постійного струму з додатковим обладнанням з метою отримання напруги 3000 В постійного струму при роботі на змінному струмі. Недоліками електровозів подвійного живлення є підвищена вага та вартість електрообладнання та дорожчий вміст у порівнянні з електровозами одного роду струму. Електровози подвійного живлення зазвичай розраховані на реалізацію повної потужності обох системах струму.

Для можливості вдосконалення силового ланцюга електровозу для змінного струму в режимі рекуперативного гальмування пропонується використання тягового перетворювача на сучасних, повністю керованих силових напівпровідникових приладах, в якості чого на електрорухомому складі для змінного струму можуть бути використані IGBT-транзистори, виконані за технологією Press-Pack.

IGBT-транзистори такого пристрою прийнятні для встановлення як на існуючих, так і нових електровозах змінного струму. З метою мінімізації змін

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



технічне рішення може довести свою ефективність, збільшивши коефіцієнт потужності локомотива на 4% та зменшивши коефіцієнт відносної пульсації струму збудження на 67%.

Конструкція перетворювача на IGBT транзисторах передбачає індивідуальне регулювання напруги на кожному тяговому двигуні, що може забезпечити краще вирівнювання струмів ТЕД.

Виключення блоків баластових резисторів з якірного ланцюга електровоза в режимі рекуперативного гальмування дозволяє ефективніше використовувати потужність генераторів, адже падіння напруги на баластових резисторах, наприклад, на 4-й зоні регулювання становить близько 150 В, а це звужує область реальних гальмівних характеристик електровоза й зони регулювання напруги перетворювача

Зовнішня характеристика генератора без додаткового активного опору має прямолінійний характер, і забезпечення статичної стійкості рекуперативного гальмування без використання баластних резисторів необхідно, щоб зовнішня характеристика інвертора мала позитивний нахил.

Інвертор на базі IGBT-транзисторів керується по закону  $W_{wreg} = \gamma D + WD$ , де  $W_{wreg} = \gamma D + WD$  (рис. 3.2.).

Забезпечити такий нахил можливо тільки у випадку, коли зі збільшенням струму генератора  $I_d$  збільшується напруга інвертора  $U_i$ .

Керування дозволяє це реалізувати наступним чином: у точці холостого ходу штучно збільшується робоча зона розрядного діодно-транзисторного плеча  $W_{wreg}$ , включеного паралельно ланцюга випрямленого струму, для того щоб середня величина напруги інвертора  $U_i$  була трохи менше напруги при номінальному навантаженні. У міру збільшення струму генератора  $I_d$  величина робочої зони розрядного діодно-транзисторного плеча  $W_{wreg}$  зменшується, що призводить до збільшення величини напруги інвертора  $U_i$  по мірі збільшення струму навантаження  $I_d$ .

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

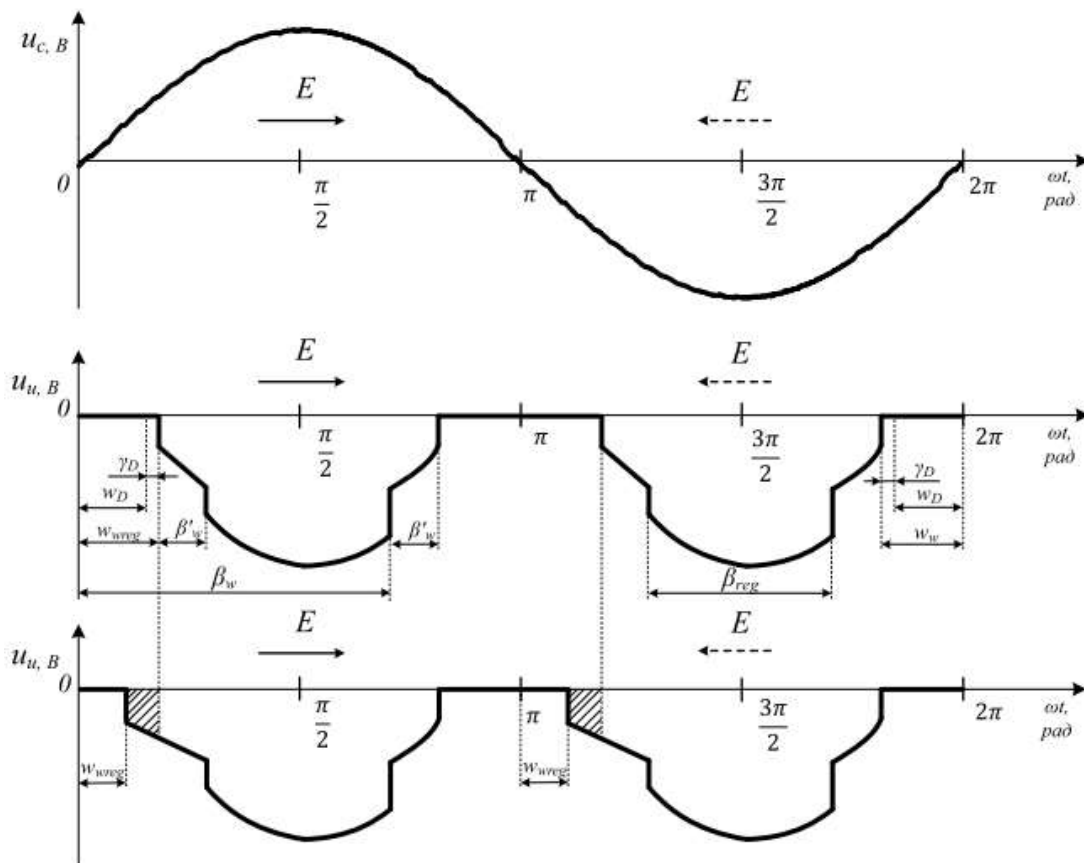


Рисунок 3.2 – Діаграма напруги інвертора з урахуванням IGBT-транзисторів

Пропонований спосіб підвищення коефіцієнта потужності полягає в тому, що при регулюванні кута робочої зони розрядного діодно-транзисторного плеча по передньому фронту, залежно від струму генератора, можна впливати на нахил зовнішньої характеристики інвертора.

Таким чином, транзисторний ВПІ дозволяє реалізувати рекуперативне гальмування без використання баластових блоків резисторів. Статична стійкість режиму рекуперативного гальмування визначається точками перетину зовнішніх характеристик генератора та інвертора. Взаємний нахил характеристик цих точках повинен задовольняти умові статичної стійкості, що визначається нерівністю:

$$\frac{dU_d}{dI_d} = \frac{dU_i}{dI_d} \quad (3.1)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де  $U_d, U_i$  – напруга на генераторі та на інверторі, відповідно, В;  
 $I_d$  – струм генератора, А.

На рисунку 3.3 зображені зовнішні характеристики генератора та інвертора.

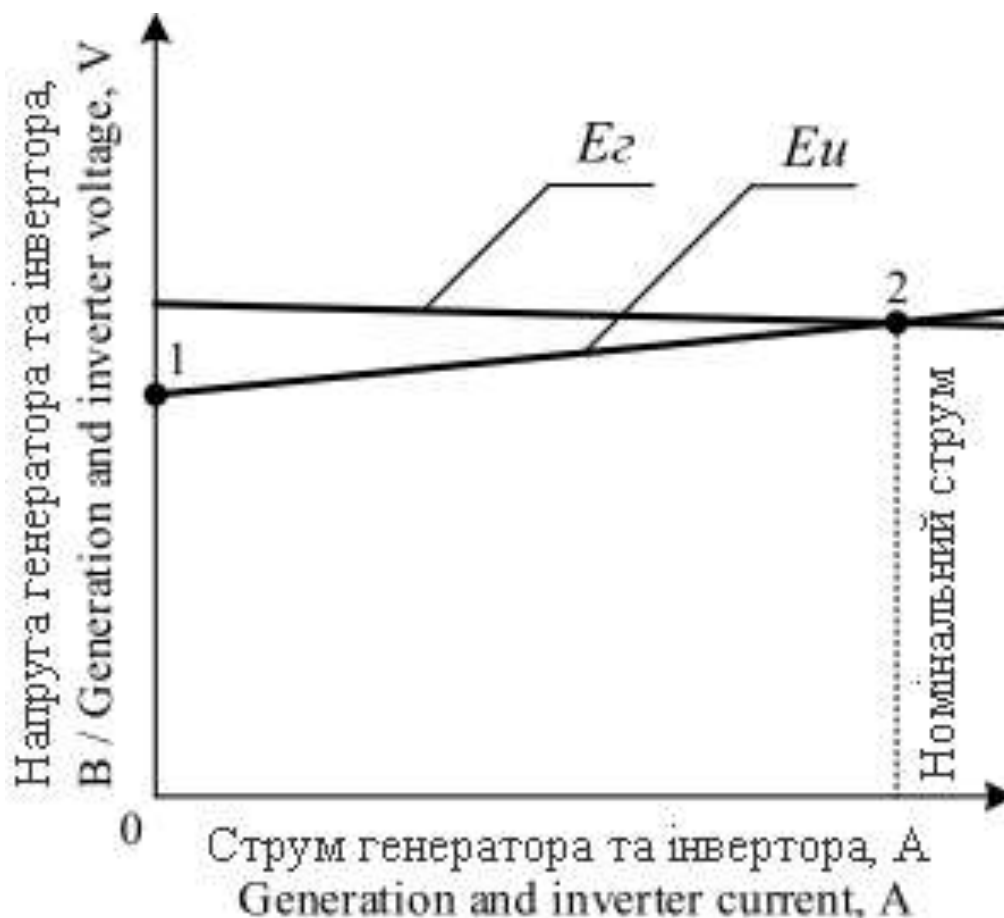


Рисунок 3.3 – Зовнішні характеристики генератора та інвертора електровоза для ланцюгів змінного струму

Зовнішня характеристика генератора без блоків баластових резисторів практично не має нахилу, так як без додаткового активного опору ланцюга генератора падіння напруги зі зростанням величини струму невелике. Регулювання кута  $W_{wreg}$  від 0 до  $\pi/2$  залежно від значення струму генератора впливає на нахил зовнішньої характеристики інвертора, рис. 3.3. У точці 1 система формує сигнал управління відкриття на діодно-транзисторне розрядне плече з максимально можливою затримкою відкриття, і в міру збільшення струму генератора значення кута  $W_{wreg}$  знижується так, що в точці номінального струму 2 обидві характеристики перетнулися. Таким чином, даний спосіб управління

перетворювачем дозволяє забезпечити статичну стійкість процесу рекуперації без застосування баластних блоків резисторів.

### 3.2 Удосконалення експлуатаційних характеристик

Розглянемо удосконалення експлуатаційних характеристик складу електровозу ВЛ82<sup>М</sup>.

Відповідно до сучасних вимог до динамічних характеристик ходової частини тягового рухомого складу, однією з причин, які ускладнюють збільшення ефективності та конкурентоспроможності залізничного транспорту, є несумісність із потребами ресорного підвішування. Для забезпечення плавності руху та безпеки використовують ресорне підвішування, що унеможлиблює прямий контакт верхньої частини вагону із колією. Початково використовували ресорні комплекти з фрикційними елементами, такі як пружини і листові ресори, для локомотивів. З розвитком залізничного транспорту почали використовувати торціони, кільцеві пружини, гумометалеві ресори та амортизатори, пневматичні ресори тощо.

Кожна з цих систем ресорного підвішування має свої переваги та недоліки, які унеможлиблюють їх використання в певних умовах експлуатації рухомого складу. Наприклад, пружинне ресорне підвішування часто зустрічається через свою спроможність амортизувати навантаження в різних умовах і температурах. Його використання забезпечує ефективну роботу рухомого складу в умовах змінних навантажень. Також пружини легко виготовляються в масовому виробництві та мають високі властивості зносостійкості та довговічності. Однак вони мають значні розміри та відносно низькі демпфуючі властивості у залежності від стану поверхні листів. Іншим рішенням є використання гумометалевих елементів як амортизуючих пристроїв, що забезпечує компактність ресорного підвішування та зменшує амплітуду високочастотних прискорень, які передаються від необресореної частини екіпажа до надресорної частини. Однак існують обмеження за показниками стиснення та зсуву в цій системі.

У вивченні динамічних показників тягового рухомого складу відзначається їх погіршення при використанні фрикційних гасників коливань, які ґрунтуються на використанні сил сухого тертя. Це явище спостерігається не лише для листових

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

ресір, але й для інших типів фрикційних гасників коливань, таких як клинові системи, що використовуються для розсіювання енергії коливань вантажних вагонів. У разі використання листових ресір у ресорному підвішуванні частота власних коливань надресорної конструкції залежить від амплітуди коливань і тертя в ресорах, що виникає через змінну жорсткість підвішування, що залежить від прогину листових ресір. Також спостерігається тенденція до відключення листових ресір при зниженні рівня коливальних процесів. Це особливо помітно у руху порожніх вагонів вантажних поїздів.

У сучасних локомотивах найбільш поширені гумові та гумометалеві елементи амортизації. Проте у багатьох випадках гумові елементи працюють у змінних умовах навантажень та складних деформаціях, що призводить до скорочення їхнього терміну служби. Важливим критерієм для функціонування та тривалості служби гумових елементів є їхні фізико-хімічні властивості, такі як межа міцності при розриві, стійкість до морозу та тепла, накопичення залишкових деформацій та стійкість до зносу. Ці чинники створюють труднощі для тривалості гумометалевих елементів.

У сучасності перспективним варіантом використання є застосування поліуретанових еластомерів, які є пружними матеріалами з високою міцністю, стійкістю до зносу та меншою схильністю до накопичення залишкових деформацій при збереженні відмінних властивостей гумових елементів. Це дозволяє використовувати ці матеріали у вузлах з великими навантаженнями. Всі ці підходи до покращення динамічних характеристик тягового рухомого складу в основному полягають у конструктивних рішеннях проблеми. Основною ж труднощею є висока чутливість застарілих серій тягового рухомого складу до впливу колії, яка передається безпосередньо через ресорне підвішування верхній частині вагону. Для вирішення цієї проблеми необхідно виходити за межі заміни окремих елементів в ресорному підвішуванні і враховувати інші підходи до динамічної взаємодії тягового рухомого складу та колії.

При виконанні теоретичних досліджень була встановлено, що електровоз ВЛ82м з типовим ресорним підвішуванням по своїм динамічним властивостям поступається сучасному рухомому складу. Тому, стоїть задача по модернізації його

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

екіпажної частини з метою покращення динамічних показників при його русі по залізничній колії.

Для покращення динамічних показників локомотива ВЛ82<sup>М</sup> запропоновано модернізувати його буксове ресорне підвішування за допомогою пристрою, який реалізує принцип компенсації напруження на екіпаж зі сторони колії. Пристрій являє собою вертикально розташований пристрій, який нижчим кінцем закріплений на буксі колісної пари. На другому кінці стержня розташований кулачок відповідної форми, на який діють реакції під пружинних підшипників кочення. Пружні елементи компенсуючого пристрою можуть уявляти собою пружини (рис. 3.4) або торсіони, які розташовані на рамі візка і мають попередній натяг.

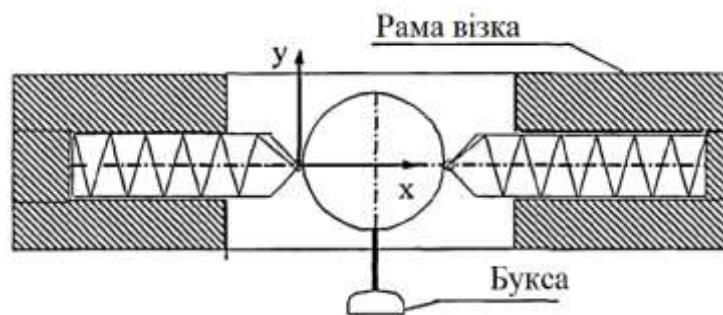


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема компенсуючого пристрою

При нейтральному положенні відсутності колісної пари реакції цих пружинних елементів направлені горизонтально і не вказують вплив на її динаміку в вертикальній площині.

Щоб реалізувати принцип компенсації збурюючої дії необхідно, щоб система задовольнялась двом вимогам її інваріативності [22]:

- наявність як мінімум двох каналів передачі збурюючої дії;
- систему можна реалізувати.

В цьому випадку першим каналом передачі збурюючої дії служить стандартне ресорне підвішування, а саме листові ресори і пружини буксового ресорного підвішування. Другим каналом являється встановлений пристрій компенсації збурення, яке при тому ж відхиленні колісної пари від положення рівноваги виробляє вплив протилежного напрямку за рахунок відхилення реакції підшипників пристрою від горизонтального положення. В результаті сумарне

зусилля в ресорному підвішуванні зменшується.

Виконання другої умови було доведено на практиці. Ресорне підвішування, яке реалізує принцип компенсації збурення, було встановлено на локомотиві ВЛ10<sup>у</sup>, натурні випробування динамічних якостей були проведені в Росії, результати були показані в звітах [3]. Тим не менш, при типовій схемі буксового підвішування надлишковий рівень дисипативних сил негативно впливає на динамічні якості екіпажу, особливо при запиранні листової ресори силами сухого тертя. Для покращення динамічних показників локомотива доцільно замінити листову ресору на жорсткою балкою, яку буде опорою для циліндричних пружин і встановлених паралельно пружинам компенсуючого пристрою і гідравлічного гасника коливань.

Якщо результуюча сила в буксовому ресорному підвішуванні буде рівна нулю, то мова йде про повну інваріантність системи до впливу напруження зі сторони колії. В реальних умовах експлуатація повна інваріантність не досягається внаслідок необхідності забезпечення стійкості динамічної системи.

При виконанні справжніх випробувань приводиться вибір конструктивних, габаритних і параметрів міцності компенсуючого пристрою по методиці, яка приведена в роботі [22]. При введенні пристрою компенсації збурення в первинному підвішуванні його сумарна лінійна силова характеристика приймає вигляд нелінійної характеристики жорсткого типу (рис. 3.8). Для виконання розрахунків необхідно знайти передавальну функцію для розглянутих координат, проте їх можна визначити тільки у випадку лінійної системи. Відповідно, виникає необхідність лінеаризації математичної моделі динаміки екіпажу. Оскільки розглянуті випадкові коливальні процеси екіпажу, можна виконати методами статистичної лінеаризації для кубічної системи характеристики [24].

Враховуючи факт, що коливання з нульовим математичним очікуванням, можна визначити наступні коефіцієнти статистичної лінеаризації:

– для мінімуму математичного очікування квадрату різності між вихідними лінеаризованим випадковим процесом:

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$k_1 = 3a_3\sigma_z^2 ; \quad (3.2)$$

– для рівності математичного очікування і дисперсії випадкових процесів:

$$k_2 = \sqrt{15}a_3\sigma_z^2 . \quad (3.3)$$

Відповідно, після виконання статистичної лінеаризації жорсткість буксової ступені, яка для типового підвішування є постійною величиною (вона рівна 200,4 тс/м) стає динамічним і залежить від середньоквадратичного відхилення динамічного прогину ресорного підвішування (рис. 3.5):

$$ж_6 = k(\sigma_z) + a_1 . \quad (3.4)$$

Для оцінки ефективності проведеної лінеаризації з технічної точки зору потрібно провести розрахунки і вирахувати необхідні показники динамічних якостей. Для цього вирішимо отриману систему з лінеаризованим диференціальним рівнянням методами статистичної динаміки. По відомим передавальним функціям координат отримаємо відповідні вирази для спектральної щільності, які можна підставити в інтеграл для обчислення середньоквадратичного відхилення прискорень вертикальних коливань елементів екіпажної частини локомотива, які використовуються. В цьому випадку вийде рівняння, яке не вирішене відносно шуканого значення середньоквадратичного відхилення, аналогічне виразу 3.4.

Використовуючи знайдені розв'язки, вирахуємо максимальне прискорення кузова, візка і осей колісних пар в залежності від швидкості руху для локомотива з модернізованим ресорним підвішуванням і порівняємо отримані результати з характеристиками, розрахованими для екіпажу з типовим ресорним підвішуванням (рис. 3.8).

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

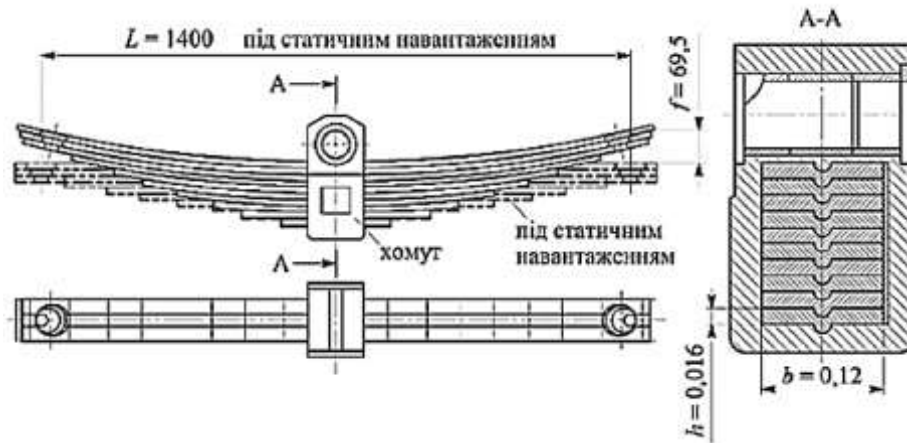


Рисунок 3.5 – Листова ресора

Аналіз отриманих результатів показує, що для суттєвих величин динамічних прогинів ресорного підвішування його жорсткість становиться в декілька разів меншим, що суттєво підвищує динамічні властивості модернізованої екіпажної частини локомотива серії ВЛ82М. Це зв'язано головним чином з тим, що при зменшенні жорсткості буксового підвішування зменшується і власна частота коливань надресорної будови екіпажу, відповідно по своїм характеристикам модернізоване ресорне підвішування являє собою в деякому сенсі частотний фільтр, який дозволяє зробити екіпажну частину локомотива менш сприйнятливою до високого частотного напруження зі сторони колії.

Таким чином, отримані показники динамічних якостей модернізованого екіпажу (рис.3.8) відображають ефективність запропонованого технічного рішення.

Зокрема, по своїй ефективності зменшення сил взаємодії колії і рухомого складу така конструкція ресорного підвішування поступається характеристиками ресорного підвішування локомотива нової серії (ЗП2К) зовсім мало, а по ефективності віброзахисту надресорної будови - суттєво переважає їх.

Крім цього, варто відмітити, реалізація принципу компенсації збурення дозволяє дещо зменшити прискорення елементів, безпосередньо взаємодіючих з залізничною колією і їх сили інерції, що важливо для локомотива з більшою не обресореною масою. Досліджуючи характеристики динамічних складових сил взаємодії екіпажу і колії, можна відмітити, що модернізація ресорного

									Арк.
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180009.000.03.КР.ПЗ				

підвищення дозволяє стабілізувати ці сили при малих швидкостях руху (їх зменшення досягає 20%) тим самим покращуючи тягові властивості локомотива.

### 3.2. Зміна параметрів листової ресори локомотива

Листова ресора представлена пакетом металевих листів із різною довжиною, які виготовлені з полосової сталі (рис. 3.5). Всередині цей пакет дуже щільно охоплений хомутом.

При роботі листова ресора зазнає різних напружень, які наближаються до границі текучості до того матеріалу, з якого та ресора виготовлена, а також пред'являються високі вимоги до термічної обробки. Ресори виготовляють з марок сталі 55С2 і 60С2. Всі полоси, з яких виготовляють ресорні листи підлягають термічній обробці: загартування в маслі при температурі 880°C і відпуск при вторинному нагріві до 400 - 500°C. У середній частині полоси виштамповуються повздовжній виступ, при якому листи, коли складають ресори фіксуються один відносно одного. Цей виступ збільшує жорсткість листа. Всі ресорні листи перевіряють визначенням твердості для їх природності і вона має складати НВ 363 - 432. На середню частину надівається в гарячому стані хомут із м'якої сталі Ст3 (або Ст10, Ст15), який після всього цього обжимають на пресі.

Листи при складанні завжди ретельно змащують машинним маслом (25%), солідолу (25%) та графіту (50%). Це зменшує знос листів і чутливість ресори, коли змінюється навантаження.

Після ремонту ресор або при їх виготовленні їх випробовують на згин під статичним навантаженням, яке виникає в листах напруження 1000 Н/мм.

Ресора теоретично повинна мати форму балки (бруса) рівного опору для того, щоб ці листи ресори працювали з однаковим напруженням. Таку балку змінюють комплектом листів, які збільшуються ступіньчасто по довжині.

Головними характеристиками листової ресори є:

– прогин – вертикальне зміщення будь-якої точки, які розташовані по осі хомута, під статичним навантаженням ресори, які прикладені до осі хомута;

– жорсткість – величина статичного навантаження, що спричиняє прогин

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресори на одиницю довжини;

– гнучкість – величина, зворотна жорсткості.

Ресору перевіряють по допустимому навантаженні згину при динамічному навантаженні  $P_{дин}$  з врахуванням впливу хомути по формулі:

$$\sigma = \frac{3P_{дин}l}{2bh^2(n+1)}, \quad (3.5)$$

де  $b$  – ширина листа ресори, м;

$l$  – довжина ресори, м;

$h$  – товщина листа ресори, м;

$n$  – кількість листів ресори.

Динамічне навантаження  $P_{дин}$ , Н, визначається за формулою:

$$P_{дин} = P_{ст}(1 + K_{\delta}). \quad (3.6)$$

Коефіцієнт вертикальної динаміки визначається за відомою формулою:

$$K_{\delta} = 0,1 + 0,2 \frac{v}{f_{ст}}, \quad (3.7)$$

де  $v$  – конструктивна швидкість локомотиву, км/год;

$f_{ст}$  – статичний прогин ресорного підвішування, мм;  $f_{ст} = 0,135$  мм.

В таблиці 3.1 наведені дані допустимого навантаження при згині при нормативних параметрах ресорного підвішування.

Таблиця 3.1 – Допустимі навантаження при згині при нормативних параметрах ресорного підвішування

Назва параметру	Величина
-----------------	----------

Швидкість, км/год	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Навантаження, МПа	578	609	639	669	699	730	760	790	820	851	881

Для того, щоб покращити показники навантаження було запропоновано змінити параметри ресорного підвішування, а саме змінюючи значення довжини, ширини, товщини і товщини ресорних листів, а також збільшуючи і зменшуючи кількість листів. Результати розрахунків показано в таблиці 3.2 і на рисунку 3.6.

Перш ніж аналізувати отримані значення, повинна виконуватись умова  $1,6 < K < 1,9$  – умова достатньої міцності листової ресори

Таблиця 3.2 – Навантаження при згині при різних значеннях параметрів ресорного підвішування

Швидкість, км/год		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Навантаження при, МПа	збільшенні довжини	620	652	684	717	749	782	814	847	879	911	944
	зменшенні довжини	537	565	593	621	649	677	706	734	762	790	818
	збільшенні ширини	534	562	590	618	646	673	701	729	757	785	813
	зменшенні ширини	631	664	697	730	763	796	829	862	895	928	961
	збільшенні товщини	457	481	505	529	553	576	600	624	648	672	696
	зменшенні товщини	755	795	834	874	913	953	992	1032	1072	1111	1151
	більшій кількості листів	530	558	586	613	641	669	697	724	752	780	807
	меншій кількості листів	636	669	703	736	769	803	836	869	902	936	969

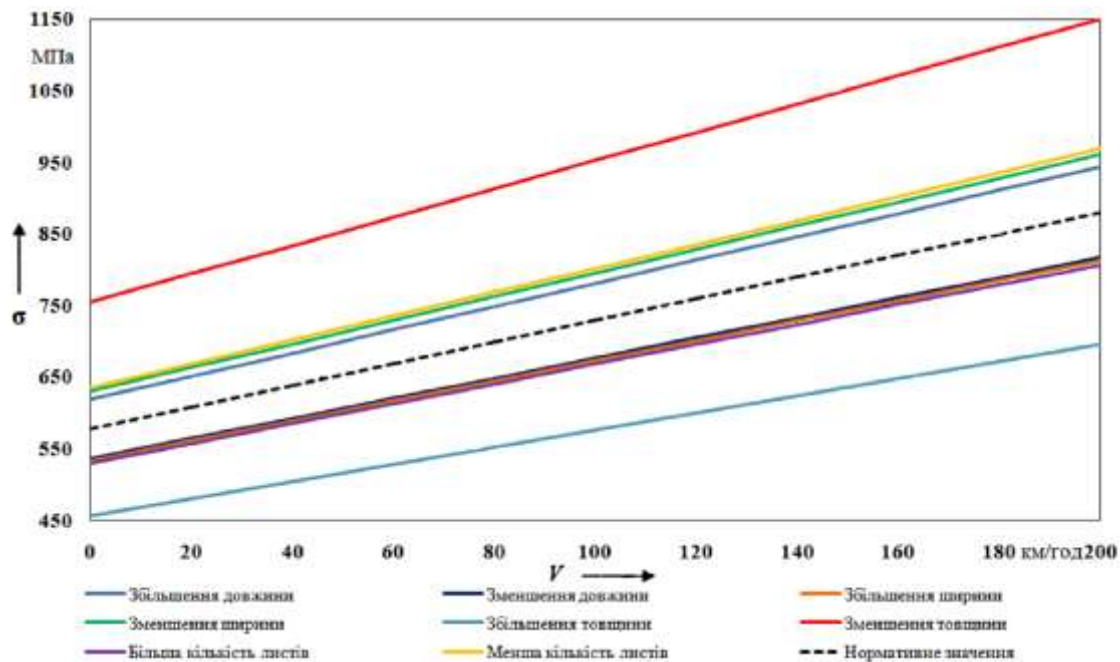


Рисунок 3.6 – Навантаження при згині при різних значеннях параметрів ресорного підвищування

Коефіцієнт запасу статичної міцності для листової ресори, яка рахується за формулою:

$$K_p = \frac{[\sigma]}{\sigma}, \quad (3.8)$$

де  $[\sigma]$  – допустиме навантаження по умові міцності при розрахунку на листові ресори,  $[\sigma]=1050$  МПа.

Як видно із таблиці 3.3 в умову достатньої міцності входять зміна таких параметрів листової ресори, як збільшення її довжини, зменшення ширини і зменшення кількості листів. Порівнюючи із коефіцієнтом запасу при номінальних значеннях листової ресори  $K_p = 1,82$ , то можна дійти до висновку, що всі ці три параметра краще задовольняють умову, ніж при номінальних значеннях.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти запасу статичної міцності для різних параметрах листової ресори

Параметр листової ресори при	Коефіцієнт запасу

збільшенні довжини	1,69
зменшенні довжини	1,96
збільшенні ширини	1,97
зменшенні ширини	1,66
збільшенні товщини	2,30
зменшенні товщини	1,39
більшій кількості листів	1,98
меншій кількості листів	1,65

Статичний прогин листової ресори визначається за формулою:

$$f_p = \frac{6P_{cm} \left( \frac{l}{2} + \frac{a}{6} \right)^3}{Ebh^3(3n_k + 2n_c)}, \quad (3.9)$$

де  $E$  – модуль пружності сталі, Па;  $E=2,05 \cdot 10^{11}$  Па;

$a$  – ширина хомути ресори, м;  $a=0,11$  м;

$n_k$  – кількість корінних листів ресори;

$n_c$  – кількість листів ступінчатої частини.

Для покращення показників статичного прогину було запропоновано змінювати деякі параметри листової ресори, а саме змінюючи довжину, товщину і ширину, і також змінювати кількість листів корінної і ступінчатої частини. Результати розрахунків були показані в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Значення статичного прогину при змінених деяких параметрів листової ресори

Параметр листової ресори при	Значення статичного прогину
------------------------------	-----------------------------

збільшенні довжини	0,086
зменшенні довжини	0,055
збільшенні ширини	0,064
зменшенні ширини	0,076
збільшенні товщини	0,049
зменшенні товщини	0,104
збільшенні корінних листів, зменшенні листів ступінчатої частини	0,073
зменшенні корінних листів, збільшенні листів ступінчатої частини	0,066

Щоб оцінити покращення динамічних показників із зміною статичного прогину, потрібно знайти коефіцієнт вертикальної динаміки із формули (3.7). Так як конструкційна швидкість локомотива серії ВЛ82<sup>М</sup> 100 км/год, то обмеження буде саме до такої швидкості. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт вертикальної динаміки

Швидкість, км/год		0	20	40	60	80	100
Коефіцієнт вертикальної динаміки	Збільшення довжини	0,10	0,15	0,19	0,24	0,29	0,33
	Зменшення довжини	0,10	0,17	0,24	0,32	0,39	0,46
	Збільшення ширини	0,10	0,16	0,22	0,29	0,35	0,41
	Зменшення ширини	0,10	0,15	0,21	0,26	0,31	0,36
	Збільшення товщини	0,10	0,18	0,26	0,35	0,43	0,51
	Зменшення товщини	0,10	0,14	0,18	0,22	0,25	0,29

Збільшення корінних листів, збільшення листів ступінчатої частини	0,10	0,16	0,21	0,27	0,32	0,38
Зменшення корінних листів, збільшення листів ступінчатої частини	0,10	0,16	0,22	0,28	0,34	0,40

Тепер порівнюючи результати із значенням яке є в ГОСТ 55513-2013, а саме для пасажирського і вантажопасажирського локомотива з конструкційною швидкістю 160 км/год і менше  $K_{\partial} = 0,35$ , можна дійти до висновку, що збільшенням довжини, зменшенням ширини і зменшенням товщини листової ресори можна досягти покращення динамічних показників локомотива ВЛ82<sup>М</sup>.

Однією з найважливіших характеристик ресори є її жорсткість. Як відомо, жорсткістю називається навантаження, що викликає прогин в 1мм.

Теоретична жорсткість ресори визначається за формулою:

$$f_P = \frac{6P_{cm} \left( \frac{l+a}{2} \right)^3}{Ebh^3(3n_k + 2n_c)}, \quad (3.10)$$

На відміну від умов в яких відбуваються стендові випробування, в реальному процесі руху локомотива, крім статичної сили  $P_{cm}$ , на ресору діє і динамічне навантаження  $P_{\partial}$ , причому:

$$P_{\partial} = P_{cm} \cdot K_{\partial}. \quad (3.11)$$

Прогин ресори під динамічним навантаженням буде:

$$f_{\partial} = \frac{P_{\partial} - P_m}{\mathcal{K}_m} \quad (3.12)$$

де  $P_m$  – середня сила тертя ресори, що віднесена до хомута. З припущенням буде визначена за формулою:

$$P_m = P_{cm} \cdot \varphi. \quad (3.13)$$

Коефіцієнт відносного тертя ресори  $\varphi$  можна визначити теоретично по формулі:

$$\varphi = 2\mu(n-1) \frac{h}{l} \left( 1 + \frac{n_k}{2n} \right), \quad (3.14)$$

де  $\mu = 0,25$  - коефіцієнт внутрішнього тертя між листами ресори.

Якщо в формулу (13) підставити значення  $P_{\partial}$  і  $P_m$  з формул (12) і (14), то отримаємо:

$$f_{\partial} = \frac{P_{cm}(K_{\partial} - \varphi)}{\mathcal{K}_m}, \quad (3.15)$$

звідси динамічна жорсткість ресори  $\mathcal{K}_{\partial}$  буде:

$$\mathcal{K}_{\partial} = \frac{P_{\partial}}{f_{\partial}} = \frac{P_{cm} \cdot K_{\partial}}{\frac{P_{cm} \cdot (K_{\partial} - \varphi)}{\mathcal{K}_m}} = \mathcal{K}_m \frac{K_{\partial}}{K_{\partial} - \varphi} = \mathcal{K}_m \frac{1}{1 - \frac{\varphi}{K_{\partial}}} \quad (3.16)$$

З виразу (16) випливає, що при значенні  $K_{\partial} = \varphi \cdot \mathcal{K}_{\partial} = \infty$  ресора починає працювати при  $K_{\partial} > \varphi$ . Фізичний зміст цього положення полягає в тому, що поки динамічне навантаження  $P_{\partial}$  менше сили тертя  $P_m$ , ресора не прогинається і її жорсткість дуже велика.

Для зменшення жорсткості пропонується змінити певні параметри листової ресори, а саме змінюючи довжину, товщину і ширину, а також змінювати кількість

листів корінної і ступінчатої частини. Результати показані в таблиці 3.6.

Порівнюючи значення теоретичної жорсткості в таблиці із нормативним  $J_m=1,219$  Па·м і динамічної жорсткості  $J_0=2,985$  Па·м зміна довжини і товщини також згубно впливають на динамічні показники локомотива серії ВЛ82<sup>М</sup>. Із більшою жорсткістю колювання будуть передаватись на кузов, тобто ресорне підвішування буде ефективне і може відбутись явище заклинювання листової ресори. При відносно меншій жорсткості, то амплітуда коливань буде дуже велика і це погіршує динамічні показники тягового рухомого складу.

Близько 82% вантажних та 70% пасажирських перевезень у прямому та місцевому сполученнях здійснюються магістральними електровозами, тому їх наявність у відповідній кількості та технічний стан відіграють важливу роль у перевізному процесі [3]. На жаль, щорічно збільшується кількість позапланових ремонтів електровозів, головним чином через неякісне виконання ремонтних робіт та передчасне зношування вузлів і агрегатів.

Таблиця 3.6 – Значення теоретичної і динамічної жорсткості із зміненими параметрами листової ресори

Зміна параметрів листової ресори при	Теоретична жорсткість, Па·м	Динамічна жорсткість, Па·м
збільшенні довжини	0,986	2,414
зменшенні довжини	1,533	3,751
збільшенні ширини	1,321	3,233
зменшенні ширини	1,118	2,736
збільшенні товщини	1,736	4,250
зменшенні товщини	0,817	1,999
збільшенні корінних листів, зменшенні листів ступінчатої частини	1,166	2,855
зменшенні корінних листів, збільшенні листів ступінчатої частини	1,272	3,114

Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві показує, що найбільше непланових ремонтів стосується електровозів, у яких виникають несправності у механічній частині, зокрема у колісних парах та іншому механічному обладнанні. Тому є актуальною розробка заходів, спрямованих на збільшення терміну служби елементів механічної частини локомотива. Однією з основних причин, які призводять до видалення колісних пар електровозів з експлуатації, є інтенсивне зношування гребеня бандажа - товщина гребеня та вертикальний підріз гребеня перевищують норми, встановлені Правилами технічної експлуатації залізниць України [5].

Для виявлення небезпечних форм гребеня необхідно проводити перевірку за допомогою універсального гребневимірювача (рис. 3.7) під час технічного обслуговування, планових ремонтів і щомісячних вимірювань колісних пар [6].

Багато вчених і спеціалістів здійснили дослідження щодо механізму зношування, аналізу видів пошкодження коліс і рейок, а також вивчення шляхів підвищення їх довговічності. Згідно з їх висновками, інтенсивне зношування гребенів бандажів колісних пар електровозів може бути викликане наступними причинами [7].

- 1) Зменшення ширини колії до 1520 мм.
- 2) Порушення норм утримання рейкової колії щодо ширини, рівня і напрямку в плані.
- 3) Зміна жорсткості рейкового шляху за рахунок переходу на рейки важчого типу Р65, Р75, які мають підвищену жорсткість та змінену геометрію.
- 4) Використання залізобетонних шпал.
- 5) Використання об'ємно-загартованих рейок, які мають вищу твердість на 1,5 рази порівняно із твердістю коліс.
- 6) Зміна конструкції локомотивів, механічної частини та збільшення їх потужності.
- 7) Погіршення стану рухомого складу.
- 8) Низька якість мастила, яке використовується для лубрикації.
- 9) Низька якість металу рейок і бандажів коліс.
- 10) Зношування і частота обточування бандажів колісних пар.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

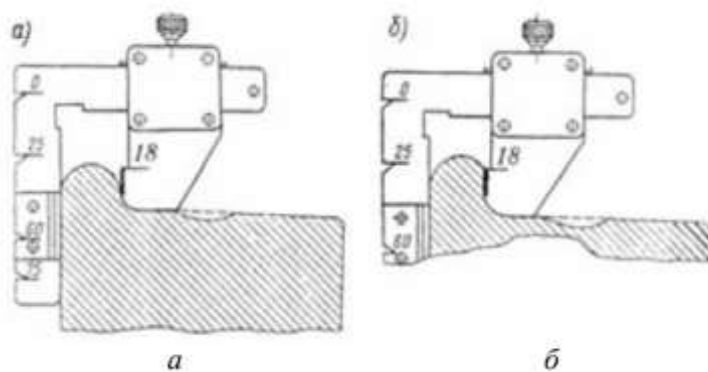


Рисунок 3.7 – Виявлення вертикального підрізу гребеня:

а – гребінь не бракується; б – гребінь бракується

Не завжди вдається забезпечити належний стан механічної частини електровозів у процесі експлуатації. Наприклад, на ділянках колії з високим рівнем зношування гребеня, слід звертати особливу увагу на обслуговування протилежних пристроїв та коліскового підвішування (рис. 3.10), оскільки порушення норм їх утримання може погіршити умови руху колісних пар у кривих ділянках колії і, відповідно, спричинити зношування гребеня бандажа. Візок електровозів серій ВЛ10, ВЛ11м, ВЛ80 наведено на рисунку 3.11.

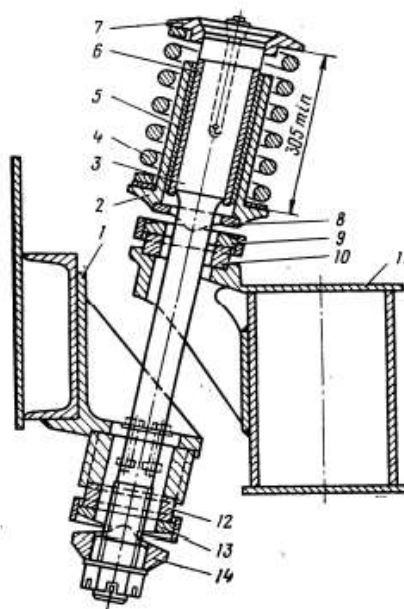


Рисунок 3.10 – Коліскове підвішування кузова електровозів серій

ВЛ11<sup>м</sup>, ВЛ80, ВЛ82<sup>м</sup> :

1 – кронштейн рами кузова; 2 – направляючий стакан; 3 – стержень підвішування; 4 – пружина;

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

5 – захисна втулка стакану; 6 – облицювальна втулка стержня; 7 – грибоподібна верхня опора пружини; 8 – опора верхнього шарніра; 9 – прокладка верхнього шарніра; 10 – нижня опора верхнього шарніра; 11 – боковина рами візка; 12, 14 – опори нижнього шарніра; 13 – прокладка нижнього шарніра

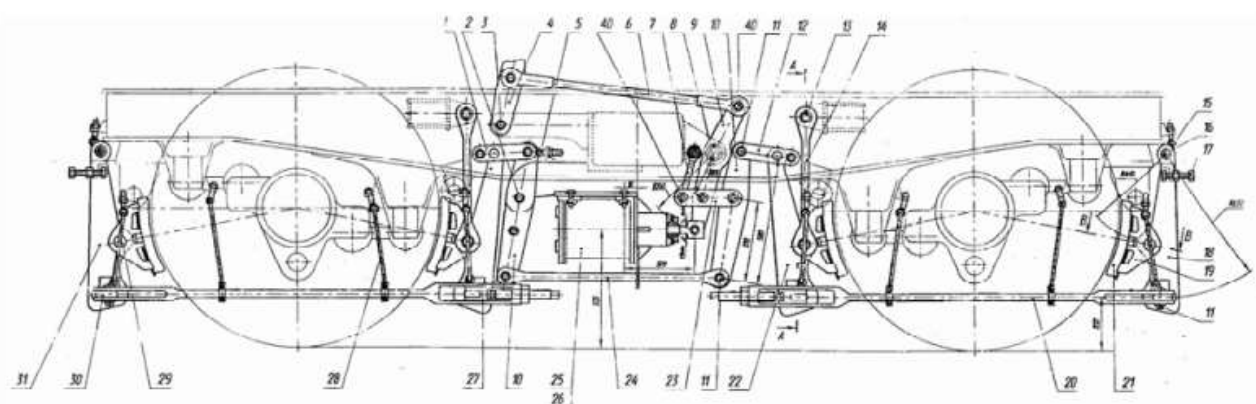


Рисунок 3.11 – Візок електровозів серій ВЛ10, ВЛ11<sup>м</sup>, ВЛ80

Вироблені з високомарганцевистої зносостійкої сталі 110Г13Л (відомої як сталь Гадфільда), елементи вузлів механічної частини електровозів серій ВЛ10, ВЛ11<sup>м</sup> і ВЛ80, такі як втулки шарнірів важільногальмової передачі (див. рис. 3.12), втулки колискового підвішування (див. рис. 3.13), втулки маятникової підвіски ТЕД, втулки стійок ресорного підвішування, втулки корпусів букс для кріплення валика ресорного підвішування, демонструють високу в'язкість і одночасно здатність до зміцнення. Ці властивості забезпечують сталі стійкість проти зношування, що відповідає вимогам надійності в експлуатації. Відсутність втулок із сталі 110Г13Л в локомотивних депо допускає виготовлення втулок з листів ресорної сталі 55С2, 60С2, 60С2А згідно з ГОСТ 14959-79. Ці листи після нагріву згинають і зварюють стиковим швом, після чого піддаються механічній обробці до досягнення розмірів, вказаних у кресленнях. Також можливе виготовлення втулок із сталі 45 з подальшою механічною обробкою.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

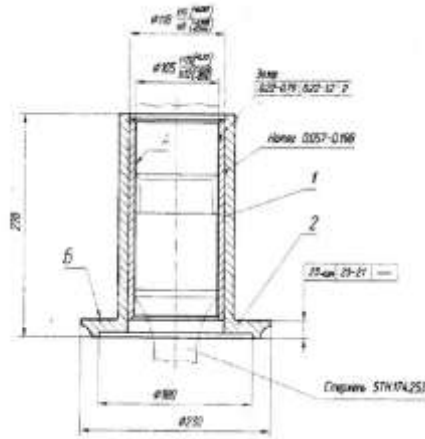


Рисунок 3.12 – Елементи вузла коліскового підвішування кузова електровозів серій ВЛ11м, ВЛ80: 1 – стакан; 2 – втулка

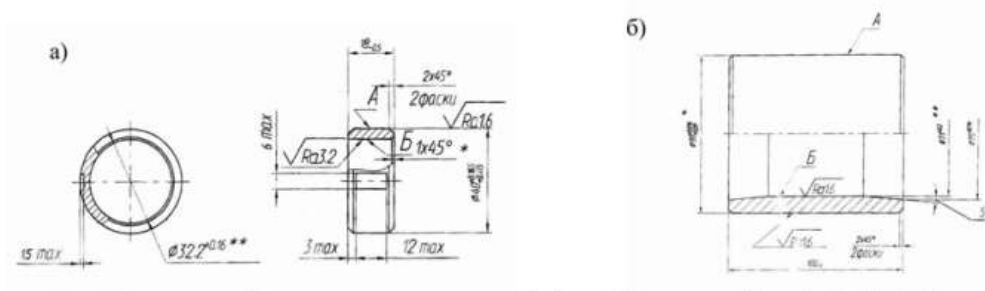


Рисунок 3.13 – Втулки гальмівної системи, маятникової підвіски ТЕД електровозів серій ВЛ11, ВЛ80:  
а – втулка 8ТН.210.457; б – втулка 8ТН.210.247

Використання втулок (рис. 3.13) з вказаних сталей не може гарантувати повну експлуатаційну надійність електровозів, через їх високий рівень зношування. Це веде до збільшення числа електровозів, які потребують непланових ремонтів, збільшення відсотку браку під час ремонту ПР-3 і, відповідно, зростання витрат часу та матеріалів на відновлення. Перспективним рішенням може бути використання в експлуатації втулок, які виготовлені із полімерних антифрикційних композитних матеріалів, що включають у себе скловолокно та/або вуглецеве волокно в якості волокнистого наповнювача [9]. Це дозволить знизити коефіцієнт тертя та зменшити знос поверхонь тертя, що в свою чергу продовжить термін служби втулок.

Під час експлуатації необхідно уважно підбирати антифрикційні матеріали з достатнім запасом міцності, стійкості до зношування, високою контактною витривалістю і відмінною корозійною стійкістю, а також забезпечити мінімальне

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

початкове зміщення поверхонь тертя під час монтажу. Підсилення поверхонь втулок, змащування елементів тертя, правильна настройка підвішування з дотриманням зазорів і використання нових типів матеріалів можуть призвести до збільшення терміну служби вузлів. Ми розробили рекомендації щодо підвищення експлуатаційних характеристик і надійності механічної частини електровозів серій ВЛ10, ВЛ11<sup>М</sup>, ВЛ80 на основі відомих патентів та власного досвіду роботи. Ці рекомендації дозволять підвищити рівень безпеки під час руху поїздів.

Результати розрахунків і порівняння ресорного підвішування наведені на рисунках 3.14...3.16.



Рисунок 3.14 - Силова характеристика типового і модернізованого ресорного підвішування локомотива



Рисунок 3.15 – Динамічна жорсткість модернізованого ресорного підвішування локомотива ВЛ82

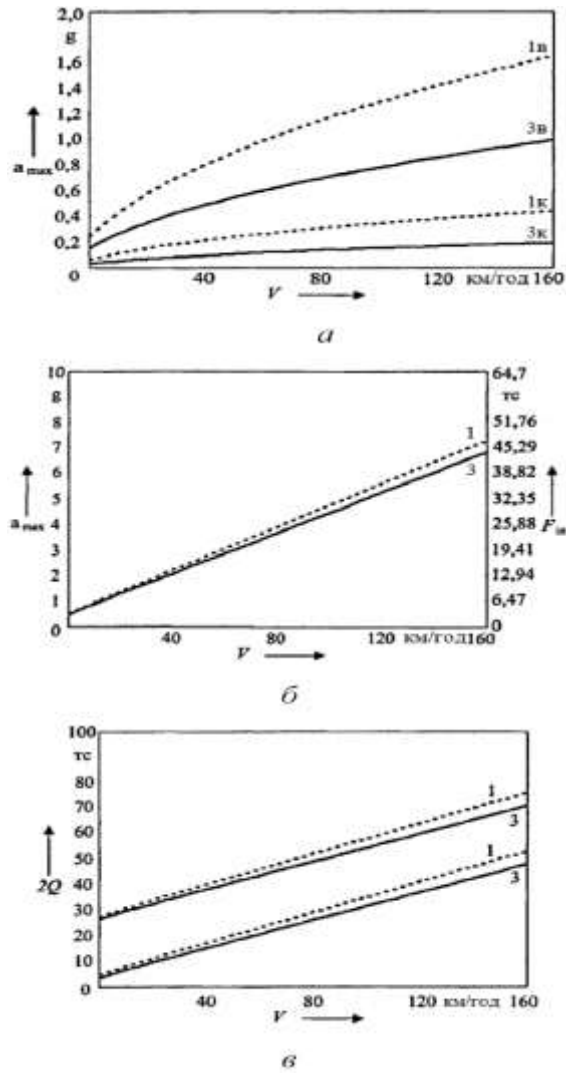


Рисунок 3.16 – Порівняльні характеристики показників динамічних якостей локомотива ВЛ82<sup>М</sup> з типовим і модернізованим ресорним підвішуванням: для максимальних прискорень кузова і візків (*a*), прискорення осей колісних пар і їх сил інерції (*б*), динамічні добавки і максимальне натиснення колісної пари на рейки (*в*)

### 3.3 Удосконалення економічних характеристик

Економічні характеристики електровоза ВЛ82 можна поліпшити за рахунок наступних заходів:

Зменшення споживання електроенергії. Це можна зробити за рахунок установки нових тягових двигунів з більш високим ККД, а також за рахунок впровадження систем рекуперативного гальмування.

Зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт. Це можна зробити за рахунок застосування сучасних матеріалів і технологій, а також за рахунок автоматизації процесів ТО і Р.

Заходи щодо зменшення споживання електроенергії:

Встановлення нових тягових двигунів з більш високим ККД. На сьогоднішній день існують тягові двигуни з ККД до 97%, що на 5-10% вище ККД тягових двигунів електровоза ВЛ82.

Впровадження систем рекуперативного гальмування. Системи рекуперативного гальмування дозволяють повертати в мережу частину енергії, яка витрачається на гальмування. Це дозволяє значно зменшити споживання електроенергії на тягу поїзда.

Заходи щодо зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт:

1) Застосування сучасних матеріалів і технологій. Сучасні матеріали і технології дозволяють значно збільшити ресурс і надійність електровоза.

2) Автоматизація процесів ТО і Р. Автоматизація процесів ТО і Р дозволяє скоротити час і витрати на їх проведення.

3) Очікувані результати удосконалення економічних характеристик електровоза ВЛ82:

4) Зменшення витрат на електроенергію. Це дозволить Укрзалізниці заощадити значні кошти.

5) Зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт. Це дозволить Укрзалізниці зменшити витрати на ТО і Р.

Підвищення ефективності роботи електровоза. Це дозволить Укрзалізниці перевозити більше вантажів і пасажирів.

На сьогоднішній день в Україні вже проводяться роботи по удосконаленню економічних характеристик електровозів ВЛ82. Зокрема, на деяких електровозах встановлені нові тягові двигуни з більш високим ККД. Також розробляються системи рекуперативного гальмування для електровозів ВЛ82.

Заходи по удосконаленню економічних характеристик електровозів ВЛ82<sup>м</sup> є одними з найважливіших завдань для Укрзалізниці. Вони дозволять поліпшити фінансові результати компанії і підвищити її конкурентоспроможність.

Таким чином, можна зробити висновок електрорухомий склад є основним засобом тяги на залізницях України. Його стан і характеристики мають вирішальний вплив на ефективність і конкурентоспроможність залізничного

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

транспорту.

Удосконалення електрорухомого складу є одним із пріоритетних напрямів розвитку залізниць України. Для досягнення цієї мети необхідно впроваджувати сучасні технології та розробки, спрямовані на підвищення.

Енергоефективності: зниження витрат палива та електроенергії на тягу поїздів.

Надійності: підвищення терміну служби та зменшення кількості технічних відмов.

Безпеки: забезпечення високої безпеки руху.

Екологічності: зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Для реалізації цих завдань необхідно:

Розробити і впровадити нові типи електровозів і вагонів, що відповідають сучасним вимогам. Це передбачає використання вискоелективних тягових двигунів, сучасних систем керування і електрообладнання, а також впровадження нових технологій виробництва.

Модернізувати існуючий електрорухомий склад. Це дозволить продовжити його термін служби і підвищити технічні характеристики.

Створити ефективну систему технічного обслуговування і ремонту електрорухомого складу. Це забезпечить його безперебійну експлуатацію і високу надійність.

Впровадження цих заходів дозволить підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту України і забезпечити його розвиток на довгострокову перспективу.

Основні напрямки удосконалення електрорухомого складу України:

Розробка і впровадження нових типів електровозів і вагонів з підвищеною енергоефективністю, надійністю, безпекою і екологічністю.

Модернізація існуючого електрорухомого складу.

Створення ефективної системи технічного обслуговування і ремонту електрорухомого складу.

Реалізація цих напрямків дозволить забезпечити високий рівень безпеки, надійності і ефективності електрорухомого складу України, а також підвищити

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

його конкурентоспроможність на світовому ринку.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

### 4.1 Рекомендації щодо впровадження інноваційних рішень

Електровоз ВЛ82<sup>М</sup> є одним із найпоширеніших типів електровозів в Україні. Він був розроблений у 1970-х роках і досі використовується для тяги вантажних і пасажирських поїздів на вітчизняних залізницях.

Для підвищення ефективності і конкурентоспроможності електровозу ВЛ82М необхідно впровадити ряд інноваційних рішень. До них можна віднести:

Використання сучасних тягових двигунів з підвищеною ефективністю. Це дозволить зменшити витрати електроенергії і підвищити тягові характеристики електровоза.

Впровадження систем керування тягою, що забезпечують оптимальне використання енергії. Це дозволить додатково зменшити витрати електроенергії і підвищити економічність електровоза.

Впровадження систем дистанційного контролю та управління електровозом. Це дозволить підвищити ефективність експлуатації електровоза і знизити витрати на його технічне обслуговування.

Впровадження систем безпеки, що підвищують рівень захисту пасажирів і персоналу. Це дозволить підвищити безпеку руху електровоза.

Конкретні рекомендації щодо впровадження інноваційних рішень електровозу ВЛ82<sup>М</sup>.

Використання тягових двигунів з асинхронним приводом. Асинхронні тягові двигуни мають більш високу ефективність, ніж двигуни постійного струму, що застосовуються в електровозі ВЛ82<sup>М</sup>.

Впровадження системи керування тягою на основі інтелектуальних систем. Такі системи забезпечують оптимальне використання енергії в різних умовах експлуатації електровоза.

Впровадження системи дистанційного контролю та управління електровозом на основі GSM-R. Це дозволить дистанційно контролювати стан електровоза і

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

управляти ним з центрального пункту управління.

Впровадження системи безпеки, що включає в себе систему екстреного гальмування, систему охоронної сигналізації і систему відеоспостереження.

Впровадження цих інноваційних рішень дозволить підвищити ефективність і конкурентоспроможність електровозу ВЛ82, а також забезпечити його відповідність сучасним вимогам безпеки і екології.

#### Оцінка економічної ефективності

Впровадження інноваційних рішень електровозу ВЛ82 дозволить досягти наступних економічних ефектів:

Зменшення витрат електроенергії на тягу поїздів. Це дозволить заощадити кошти на електроенергію і підвищити економічність електровоза.

Підвищення терміну служби електровоза. Це дозволить зменшити витрати на капітальний ремонт електровоза.

Підвищення рівня безпеки руху. Це дозволить зменшити витрати на страховку електровоза і підвищити його конкурентоспроможність.

Загальний економічний ефект від впровадження інноваційних рішень електровозу ВЛ82М може становити близько 10% від вартості електровоза. Це дозволить окупити витрати на впровадження інновацій протягом 5-7 років.

## 4.2 Розрахунок експлуатаційних показників локомотивного парку

### 4.2.1 Постановка задачі

Згідно аналізу та висновків зроблених в попередніх розділах дипломної магістерської роботи, одним з ефективних методів та напрямків удосконалення електровозної тяги в Україні, це використання двосистемних електровозів, оскільки в залізниця електрифікована в різних регіонах змінним чи постійним струмом.

Тому, для обґрунтування зміни експлуатаційного електровозного парку на двосистемні обрані наступні вхідні дані (табл. 4.1): дві ділянки АВ (постійного струму довжиною 120 км, експлуатація електровозів ВЛ8) та АБ (змінного струму довжиною 320 км, експлуатація електровозів ВЛ80), в якості двосистемного електровоза пропонується експлуатація ВЛ82 (рис. 4.1).

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Завданням є довести перевагу експлуатації двосистемного електровоза в порівнянні з двома серіями електровозів змінного і постійного струму.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані для розрахунку експлуатаційних показників

Параметр	Електровози		
	Односистемні електровози		Двосистемний електровоз
	ВЛ8 (постійного струму)	ВЛ80 (змінного струму)	ВЛ82
Середня маса поїзда, т	4500		
Довжина ділянок, км:			
– АВ;			120
– АБ;	120	320	320
Ділянкова швидкість, на всіх ділянках в усіх напрямках, км/год:	38	38	38
Кількість пар поїздів на добу	20		

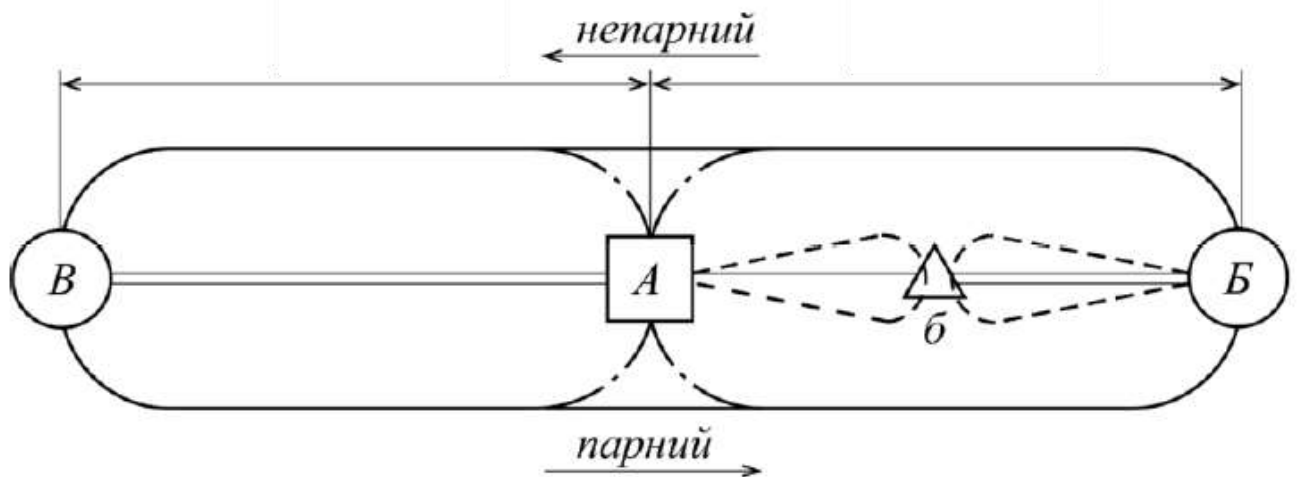


Рисунок 5.1 – Схема обслуговування дільниць локомотивами та локомотивними бригадами

#### 4.2.2 Розрахунок обороту локомотивів

Час простою локомотивів на станції А, можна прийняти 30 хв. в кожному напрямку для зміни локомотива при переході на живлення іншим струмом. У випадку руху двосистемного локомотива, зупинка в пункті а, відстня. В пунктах обороту Б та В в залежності від того виконується в них ТО-2 та екіпіровка чи ні, час простою складає 8...10 год. Час повного обороту залежить також від способу обслуговування поїздів локомотивами.

Час повного обороту локомотива на дільниці обслуговування визначаємо за формулою:

$$T_{\Pi} = t_{дв} + t_{oc} + t_{об} , \quad (4.1)$$

де  $t_{дв}$  – час в дорозі на дільниці з двосистемним локомотивом  $t_{об.д.с}$  та двома односистемними  $t_{об.о.с}$  відповідно ;

$t_{oc}, t_{об}$  – час простою на станціях основного та оборотного депо.

Час в дорозі на дільниці в парному та непарному напрямках:

$$t_{дв} = (t_{AB} + t_{BA}) \cdot 2 , \quad (4.2)$$

де  $t_{AB}; t_{BA}$  – час руху поїзда в напрямках АВ та АБ.

Час руху поїзда в напрямках АВ та АБ приймаємо однаковим для двох схем обслуговування через те що приймаємо однакові технічні швидкості і визначаємо за формулою, год:

$$t = \frac{L_{д}}{V_{д}} , \quad (4.3)$$

де  $L_{д}$  – довжина дільниці, км;

$V_{д}$  – дільнична швидкість, км/год.

$$t_{BA} = \frac{120}{38} = 3,16 , \text{ год};$$

$$t_{AB} = \frac{320}{38} = 8,42 , \text{ год};$$

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{AB} = \frac{120}{38} = 3,16, \text{ год};$$

$$t_{BA} = \frac{320}{38} = 8,42, \text{ год}.$$

Для випадку використання двох локомотивів розрахунок виконуємо окремо для кожного локомотива на ділянці АВ та АБ, тоді як для двосистемного рахуємо оборот разом для двох ділянок. Тоді:

$$t_{\text{дв.д.с}} = (3,16 + 8,42) \cdot 2 = 23,16, \text{ год};$$

$$t_{\text{дв.о.с}}^{AB} = 3,16 \cdot 2 = 6,32, \text{ год};$$

$$t_{\text{дв.о.с}}^{AB} = 38,42 \cdot 2 = 16,84, \text{ год}.$$

Час повного обороту локомотива на дільниці обслуговування, год:

$$T_{n.д.с} = 23,16 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 8 = 39,16, \text{ год};$$

$$, \text{ год } T_{n.о.с}^{AB} = 6,32 + 2 \cdot 8 = 22,32;$$

$$T_{n.о.с}^{AB} = 16,84 + 2 \cdot 8 = 32,84, \text{ год}.$$

Оскільки час повного обороту на ділянці не перевищує 48 годин, що є нормою пробігу між ТО-2, то ТО-2 буде виконуватися після кожного повного обороту локомотива.

#### 4.2.3 Визначення кількості поїзних локомотивів для заданих розмірів руху

Розрахунок кількості локомотивів парку експлуатації при встановленій кількості пар поїздів, дільничих швидкостях руху, довжині дільниць обслуговування пропонується виконувати за коефіцієнтом потреби.

У випадку використання двох типів локомотивів, розрахунок проводимо для кожного плеча окремо.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Для визначення кількості поїзних локомотивів необхідно розрахувати коефіцієнт потреби локомотивів

$$k_n = \frac{T_{об}}{24}, \quad (4.4)$$

де  $T_{об}$  – час повного обороту локомотива.

$$k_n^{d.c} = \frac{39,16}{24} = 1,63;$$

$$k_{n.AB}^{o.c} = \frac{22,32}{24} = 0,93;$$

$$k_{n.AB}^{o.c} = \frac{32,84}{24} = 1,37.$$

Кількість локомотивів парку експлуатації розраховується за формулою:

$$M_e = k_n \cdot N_n, \quad (4.5)$$

$$M_n^{d.c} = 1,63 \cdot 20 = 33, \text{ од};$$

$$M_{n.AB}^{o.c} = 0,93 \cdot 20 = 19, \text{ од};$$

$$M_{n.AB}^{o.c} = 1,37 \cdot 20 = 27, \text{ од};$$

$$\sum M_n^{o.c} = 19 + 27 = 47, \text{ од}.$$

Отже, для обслуговування ділянок двома локомотивами, необхідно 47 електровозів, а одним двосистемним – 33 електровоза

#### 4.2.4 Визначення штату локомотивних бригад для обслуговування локомотивів

До явочного контингенту відносяться локомотивні бригади, які зайняті на роботі, беруть участь в процесі приймання–здавання, технічного обслуговування локомотивів, та які знаходяться на відпочинку після роботи.

Потрібна кількість локомотивних бригад  $Ч_{бр}$  для заданих розмірів руху на дільниці обертання при змінному обслуговуванні локомотивів визначається за

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формулою:

$$C_{бр}^{яв} = \frac{30,4 \cdot \sum T_{бр}}{168,9}, \quad (4.6)$$

де  $\sum T_{бр}$  – добова сумарна кількість бригадо-годин;

30,4 – середньорічна кількість діб в місяці;

168,9 – середній місячний фонд робочого часу однієї бригади, год.

Добова сумарна кількість бригадо-годин:

$$\sum T_{бр} = \sum t_1 + \sum t_3 + \sum t_5 + \sum t_7 + \sum t_{одд}, \quad (4.7)$$

де  $\sum t_{одд}$  – додатковий час роботи бригад на приймання та здавання локомотивів на станціях відповідних станціях;

$\sum t_1$  – сумарний час у дорозі від станції основного депо А до станції обороту В;

$\sum t_3$  – сумарний час у дорозі від станції обороту В до станції основного депо А;

$\sum t_5$  – сумарний час у дорозі від станції основного депо А до станції обороту Б;

$\sum t_7$  – сумарний час у дорозі від станції обороту Б до станції основного депо А.

На приймання та здавання локомотивів встановлюється час не більше 30 хвилин на станції основного депо та в пунктах обороту локомотивів, а в проміжних пунктах зміни локомотивних бригад не більше 20 хвилин (при цьому враховуємо, що працюють дві бригади – одна здає локомотив, друга приймає локомотив).

$$\sum t_{одд} = (0,5 \cdot 2 \cdot r + 0,33 \cdot 2 \cdot k) N, \quad (4.8)$$

де  $N$  – розміри руху, пар поїздів в добу;

$r$  – кількість разів зміни бригад по станціях основного та оборотних депо (згідно рис. 1.2);

$k$  – кількість разів зміни бригад в пунктах їх зміни (згідно рис. 1.2).

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum t_{\text{доо}}^{\text{д.с}} = (0,5 \cdot 2 \cdot 0 + 0,33 \cdot 2 \cdot 2) \cdot 20 = 26,4, \text{ год};$$

$$\sum t_{\text{доо}}^{\text{о.с}} = (0,5 \cdot 2 \cdot 2 + 0,33 \cdot 2 \cdot 2) \cdot 20 = 66,4, \text{ год.}$$

Отже, добова сумарна кількість бригадо-годин:

$$\sum T_{\text{бр}}^{\text{д.с}} = 20 \cdot (3,16 + 3,16 + 8,42 + 8,42) + 26,4 = 489,6, \text{ бриг-год};$$

$$\sum T_{\text{бр}}^{\text{о.с}} = 20 \cdot (3,16 + 3,16 + 8,42 + 8,42) + 66,4 = 529,6, \text{ бриг-год.}$$

Потрібна кількість локомотивних бригад:

$$Ч_{\text{бр}}^{\text{яв.д.с}} = \frac{30,4 \cdot 489,6}{168,9} = 89;$$

$$Ч_{\text{бр}}^{\text{яв.о.с}} = \frac{30,4 \cdot 529,6}{168,9} = 96.$$

Середньогодинна продуктивність локомотивної бригади в т·км брутто/год:

$$m_{\text{бр}} = \frac{2(l_1 + l_2) \cdot N \cdot Q_{\text{бр}}}{\sum T_{\text{бр}}}, \quad (4.9)$$

$$m_{\text{бр}}^{\text{д.с}} = \frac{2(120 + 320) \cdot 20 \cdot 4500}{489,6} = 161764,7, \text{ т·км брутто/год};$$

$$m_{\text{бр}}^{\text{о.с}} = \frac{2(120 + 320) \cdot 20 \cdot 4500}{529,6} = 149546,8, \text{ т·км брутто/год.}$$

Оскільки кількість пар поїздів за добу це досить динамічний показник який змінюється в залежності від пори року, сезону, політичної ситуації в країні та іншого, тому було також розраховано експлуатаційні показники для діапазону кількості пар поїздів за добу 5...30. Результати розрахунку (залежність кількості локомотивів та кількості локомотивних бригад для двох способів обслуговування в залежності від кількості пар поїздів) представлені у вигляді графіку на рисунку 4.2.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

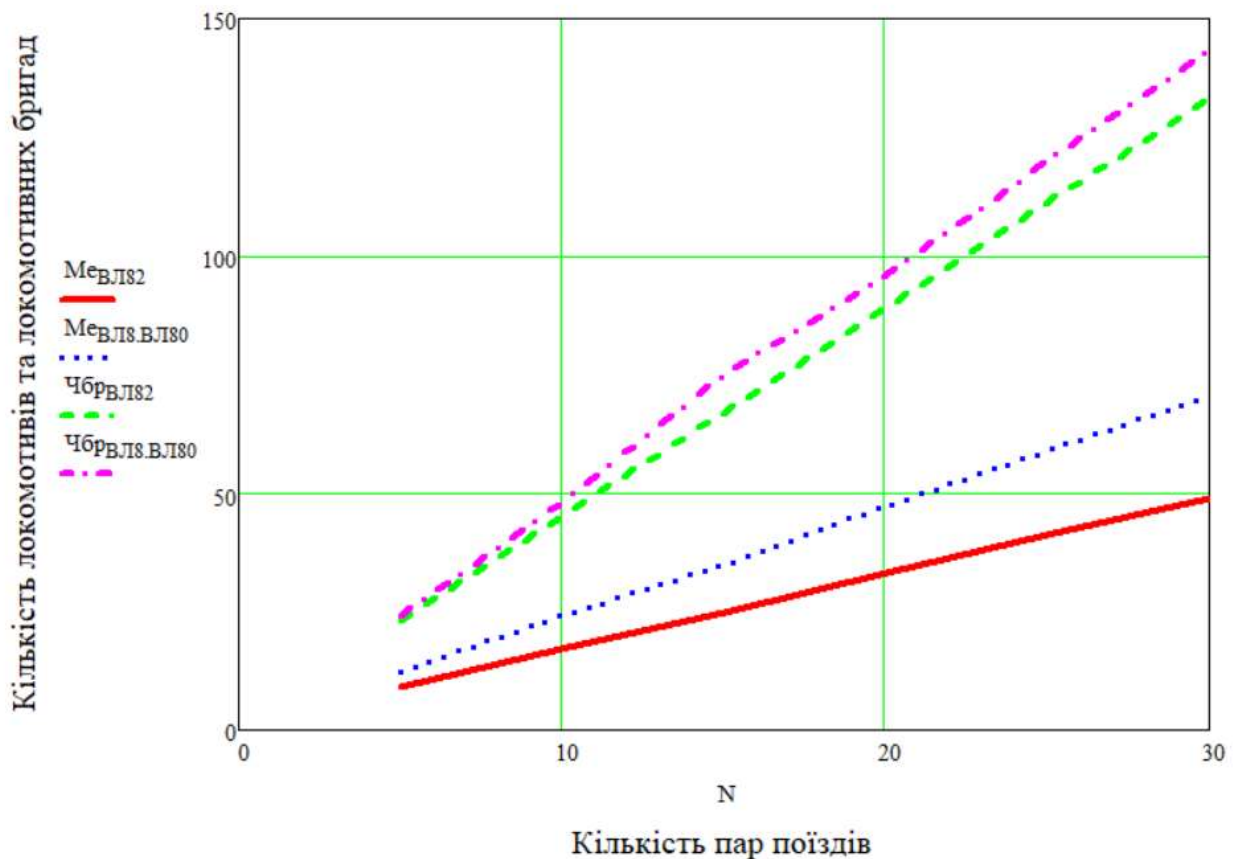


Рисунок 4.2 – Залежність кількості локомотивів та кількості локомотивних бригад для двох способів обслуговування в залежності від кількості пар поїздів

#### 4.1.1. Визначення показників роботи основного локомотивного депо

##### Кількісні показники

Оскільки обсяги перевезення, технічні швидкості та довжини ділянок не змінюються для обох варіантів розрахунків, тому кількісні показники будуть однакові.

Річний пробіг локомотивів, км:

$$MS_{річ} = 2L_{діл} \cdot N \cdot 365, \quad (4.10)$$

$$MS_{річ} = 2(120 + 320) \cdot 20 \cdot 365 = 6424000 ;$$

Місячний пробіг, км:

$$MS_{міс} = \frac{2L_{діл} \cdot N \cdot 365}{12}, \quad (4.11)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$MS_{mic} = \frac{2(120 + 320) \cdot 20 \cdot 365}{12} = 535333, \text{ км.}$$

Добовий пробіг, км:

$$MS_{oob} = 2L_{dil} \cdot N, \quad (4.12)$$

$$MS_{oob} = 2(120 + 320) \cdot 16 = 17600, \text{ км.}$$

### **Якісні показники**

Середньодобовий пробіг одного локомотива, км:

$$S_{cp} = \frac{2L_{dil} \cdot N}{M_e}, \quad (4.13)$$

$$S_{cp}^{\partial.c} = \frac{2(120 + 320) \cdot 20}{33} = 533,3, \text{ км,}$$

$$S_{cp}^{o.c} = \frac{2(120 + 320) \cdot 20}{47} = 374,6, \text{ км.}$$

Добовий бюджет корисного часу роботи локомотива є відношення часу, що локомотив був у русі з поїздом за один повний оборот до часу повного обороту за добу:

$$t_{кор} = \frac{\Sigma tx}{T_{об}^n} \cdot 24, \quad (4.14)$$

де  $\Sigma tx$  – час руху локомотива з поїздом за один повний оборот, год;

$T_{об}^n$  – час повного обороту, год.

$$t_{кор}^{\partial.c} = \frac{23,16}{39,16} \cdot 24 = 14,2, \text{ год;}$$

$$t_{кор}^{o.c} = \frac{13,24}{40,16} \cdot 24 = 13,8, \text{ год.}$$

Обсяг перевезень в тонно-кілометрах бруто вважається одним із найважливіших показників, що характеризує перевізну роботу яку виконує депо. Робота локомотива за добу (в середньому) визначається за формулою:

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_{\text{доб}} = S_{\text{cp}} \cdot Q, \quad (4.15)$$

де  $S_{\text{cp}}$  – середньодобовий пробіг одного локомотиво-км;

$Q$  – маса складу брутто, т.

$$A_{\text{доб}}^{\text{д.с}} = 533,3 \cdot 4500 = 2400000 \text{ т-км брутто};$$

$$A_{\text{доб}}^{\text{о.с}} = 374,5 \cdot 4500 = 1685106,4 \text{ т-км брутто}.$$

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

## Висновок до розділу

Експлуатаційні показники доводять значну ефективність використання двосистемних електровозів по відношень до використання одночасно електровозів і змінного і постійного струмів. Результати розрахунків наведені в таблиці 5.2. З результатів помітно, що при використанні двосистемних локомотивів зменшується кількість локомотивних бригад, за рахунок більшого часу їх роботи та зменшилася кількість потрібних локомотивів при збільшенні їх корисного часу роботи. В залежності від кількості плеч та довжини ділянок можливий приріст обсягу перевезень до 30% за рахунок більш ефективного використання локомотивів та зменшення експлуатаційних витрат на перевезення.

Таблиця 5.2 – Порівняння експлуатаційних показників

Параметр	Односистемні електровози ВЛ8 і ВЛ80	Двосистемний електровоз ВЛ82
Кількість локомотивів парку експлуатації	47	33
Потрібна кількість локомотивних бригад	96	89
Середньодобовий пробіг одного локомотива , км	374,6	533,3
Добовий бюджет корисного часу роботи локомотива	18,8	14,2
Обсяг перевезень в тонно-кілометрах брутто	1685106,4	2400000

## ВИСНОВКИ

Електрорухомий склад є основним засобом тяги на залізницях України. Його стан і характеристики мають вирішальний вплив на ефективність і конкурентоспроможність залізничного транспорту.

Удосконалення електрорухомого складу є одним із пріоритетних напрямів розвитку залізниць України. Для досягнення цієї мети необхідно впроваджувати сучасні технології та розробки, спрямовані на підвищення.

Енергоефективності: зниження витрат палива та електроенергії на тягу поїздів.

Надійності: підвищення терміну служби та зменшення кількості технічних відмов.

Безпеки: забезпечення високої безпеки руху.

Екологічності: зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Для реалізації цих завдань необхідно:

Розробити і впровадити нові типи електровозів і вагонів, що відповідають сучасним вимогам. Це передбачає використання високоефективних тягових двигунів, сучасних систем керування і електрообладнання, а також впровадження нових технологій виробництва.

Модернізувати існуючий електрорухомий склад. Це дозволить продовжити його термін служби і підвищити технічні характеристики.

Створити ефективну систему технічного обслуговування і ремонту електрорухомого складу. Це забезпечить його безперебійну експлуатацію і високу надійність.

Впровадження цих заходів дозволить підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту України і забезпечити його розвиток на довгострокову перспективу.

Основні напрямки удосконалення електрорухомого складу України.

- Розробка і впровадження нових типів електровозів і вагонів з підвищеною енергоефективністю, надійністю, безпекою і екологічністю.
- Модернізація існуючого електрорухомого складу.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

- Створення ефективної системи технічного обслуговування і ремонту електрорухомого складу.

- Реалізація цих напрямків дозволить забезпечити високий рівень безпеки, надійності і ефективності електрорухомого складу України, а також підвищити його конкурентоспроможність на світовому ринку.

Також були розраховані експлуатаційні показники локомотивного парку, що доводять значну ефективність використання двосистемних електровозів по відношень до використання одночасно електровозів і змінного і постійного струмів. В залежності від кількості плеч та довжини ділянок можливий приріст обсягу перевезень до 30% за рахунок більш ефективного використання локомотивів та зменшення експлуатаційних витрат на перевезення.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розпорядження кабінет міністрів України «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» від 30 травня 2018 р. № 430-р Київ. - [Електронний ресурс]. -Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
2. Жалкін Д. С., Жалкін С. Г., Пузир В. Г., Анацький О. О. Локомотивні експлуатаційні матеріали: Навч. посібник. Ч. 3. Вода, пісок, полімерні матеріали / Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін, В. Г. Пузир, О. О. Анацький. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 161 с.
3. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навчальний посібник/ В.М. Безрученко, В.К. Варченко, В.В. Чумак – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна - 2003. – 252 с.
4. 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.
5. Гончаров, О. М. Вибір раціональних міжремонтних періодів маневрових локомотивів з урахуванням їх експлуатаційного завантаження : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / О. М. Гончаров ; Дніпропетр. держ. техн. у-т залізн. трансп. — Дніпропетровськ, 1997. — 20 с. Захист — 4 липня 1997 р.
6. Бабанін О.Б., Жалкін С.Г. Локомотивне господарство: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Ч. 1. – 33 с.
7. Бабанін О.Б., Жалкін С.Г. Організація та технологія експлуатації локомотивів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – 54 с.
8. Карпов В.М. Проблеми модернізації залізничного транспорту на інноваційній основі // Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті – ЕКУЗТ 2009: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, К. : ДЕТУТ. – 2009.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

9. Бобирь Д. В., Грищенко М. А., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги : підручник / Під ред. к-та техн. наук, доц. В. Н. Сердюка; УДУНТ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2022. – 385 с.
10. Ейтутіс Г.Д. Проблема організації міських пасажирських перевезень залізничним транспортом у м. Києві / Г.Д. Ейтутіс, О.І. Никифорчук, Д.Г. Ейтутіс // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління». – 2012. – № 20. С. – 183–194.
11. Організація пасажирських перевезень у міжнародному залізничному сполученні: Навч. посібник / Т. В. Бутько, П. В. Долгополов, Д. В. Константінов та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 205 с.
12. Теорія локомотивної тяги. Технічне обслуговування транспортних засобів: Методичні вказівки до виконання курсової роботи / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.; Уклад.: Д. В. Бобирь, О. М. Гончаров, М. І. Капіца, В. Н. Сердюк. – Д., 2003. – 62 с.
13. Розпорядження кабінет міністрів України «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» від 30 травня 2018 р. № 430-р Київ. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
14. Щербак Я. В. Аналіз варіантів вибору критерію оптимізації енерговитрат на тягові потреби рухомого складу залізниць / Я. В. Щербак, В. П. Нерубацький // Харків: Зб. наук. праць УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 137-142.
15. Щербак Я. В. Вибір раціональних режимів ведення поїздів з метою зниження витрат електроенергії на тягу / Я. В. Щербак, В. П. Нерубацький // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 5. – С. 16-19.
16. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу: навч. посібник для вузів [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Марченко, В. В. Чумак. - Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. - 252 с.
17. Тягові електричні машини: методичні вказівки до виконання лабораторних і учбово-дослідницьких робіт / уклад.: В. М. Безрученко, С. Л. Марікуца. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. - 43 с.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

18. Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України. Наказ Міністерства Інфраструктури України від 01.04.2011 N 27.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11#Text>
19. Теорія електричної тяги [Текст]: підручник: у 2 т. / Г. К. Гетьман. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. – Т. 1. – 2014. – 578 с.
20. Теорія електричної тяги : підручник: у 2 т. / Г. К. Гетьман. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – Т. 2. – 2015. – 490 с.
21. Конструкція електричних машин електропоїздів залізниць України : монографія / В. І. Данилевський, В. М. Тарасюк ; Держ. економіко-технол. унт трансп. Київ : Видавництво ДЕТУТ, 2014.92 с.
22. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу: навч. посібник для вузів [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Марченко, В. В. Чумак. - Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. - 252 с.
23. Далека В. Х., Будниченко В. Б., Карпушин Е. І., Коваленко В. І. Технічна експлуатація міського електричного транспорту: навч.посібник. Харк. нац.унт міськ. госпва ім. О.М. Бекетова. Х.: ХНУМГ, 2014. 236 с.
24. Укрзалізниця - <https://www.uz.gov.ua>
25. Панченко С. В., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Нерубацький В. П. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник / С. В. Панченко, М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Ч. 1. – 280 с., рис. 100, табл. 14.

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

# ДОДАТОК А

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

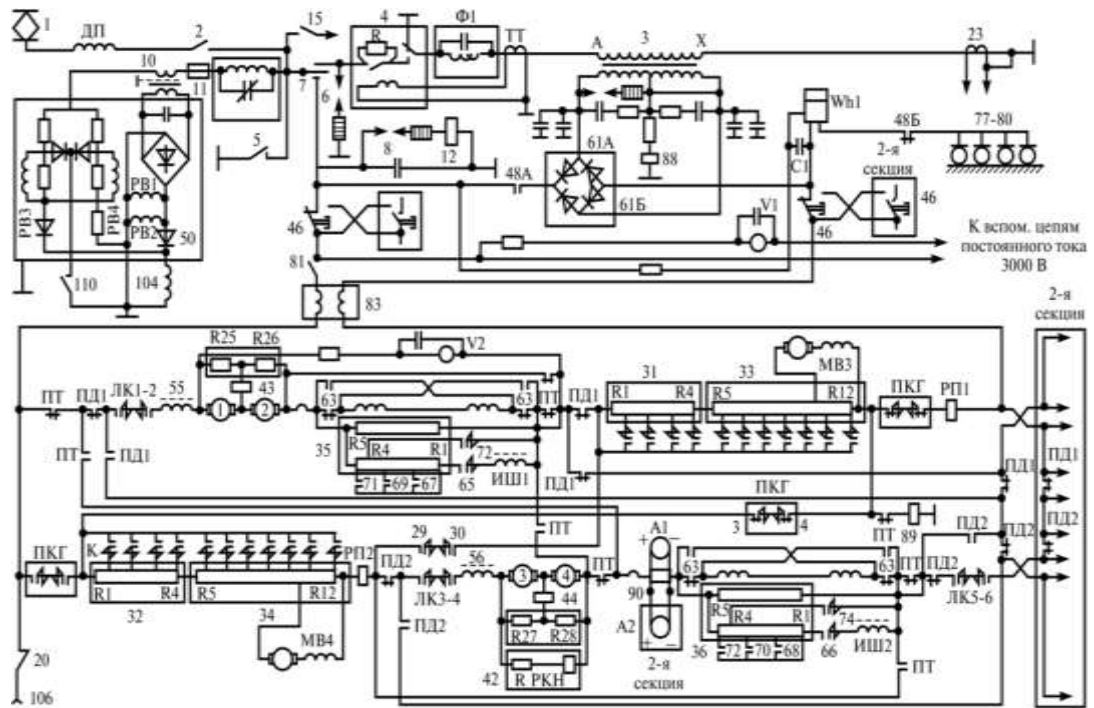


Рисунок А.1 – Силові ланцюги електровоза ВЛ82<sup>М</sup>

Електроустаткування ланцюгів 25 кВ (рис. 3.1) включає наступні електричні апарати:

1 - струмоприймач типу П5; ДП - дросель типу Д-142, що обмежує спільно з фільтром Ф1 типу Ф6 (на змінному струмі) та Ф2 типу Ф2 (на постійному струмі) рівень радіоперешкод;

2 - роз'єднувач РВН-12, для відключення пошкодженого струмоприймача;

3 - первинна обмотка тягового трансформатора ОДЦЕ-4000/25Б, що перетворює спільно з випрямлячем 61 змінний струм 25 кВ частотою 50 Гц випрямлений пульсуючий з номінальною напругою 3 кВ;

4 - головний вимикач ВВВ-25-4М, що забезпечує захист усіх силових ланцюгів від струмів коротких замикань під час роботи електровоза на змінному струмі;

5 - заземлювач ЕВ2, що забезпечує можливість заземлення ланцюгів високої напруги на час виконання робіт у високовольтній камері;

6 - розрядник РВЕ-25М ланцюгів напругою 25 кВ;

7 - перемикач роду струму ПРТ-71, що підключає до струмоприймача пристрою контролю роду струму 50;

10 - трансформатор напруги ТОС-41, 25 000/160 В, що здійснює живлення

									Арк.
									86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.180009.000.03.КР.ПЗ				

пристрою контролю роду струму;

50 - пристрій контролю роду струму УРТЗ, що управляє за допомогою реле РВ1, РВ2 (на змінному струмі) та РВ3, РВ4 (на постійному струмі) приводом перемикача 7 роду струму;

23 - трансформатор струму ТК-40 живлення струмової обмотки лічильника електроенергії Ф-404.

Силові ланцюги вторинної обмотки тягового трансформатора містять наступне електрообладнання:

9 - розрядник РВМК-V1;

61 (А, Б) - випрямлювальна установка ВУК-6700М;

88 - реле заземлення РЗ-576, що забезпечує захист електрообладнання під час проби ізоляції на корпус у режимі змінного струму;

48 - перемикач ПКД-175, що підключає ланцюги тягових двигунів до висновків випрямної установки 61 у режимі змінного струму, відключаючи одночасно цей ланцюг від пристроїв струмознімання 77-80, змонтованих у буксах колісних пар.

Ланцюги тягових двигунів мають такі електричні апарати:

8 - розрядник РВМУ-3,3;

46 - перемикач РАР-16, що забезпечує можливість живлення ланцюгів тягових двигунів від випрямної установки 61 другої секції при пошкодженні ВУК першої секції;

81 - швидкодіючий вимикач БВП-5А, що здійснює захист ланцюгів від коротких замикань та перевантажень;

• 83 — диференціальне реле РДЗ-222, що забезпечує захист ланцюгів під час проби ізоляції будь-якої ділянки ланцюга;

Wh1 - лічильник електроенергії СКВТ-Д-600М;

1, 2, 3, 4 - тягові двигуни НБ-407Б;

ПКГ - перемикач груповий ПКГ-159, який здійснює перемикання в ланцюгах при перегрупуванні тягових двигунів з послідовного на паралельне з'єднання;

ПТ - гальмівний перемикач ПКГ-167, що виконує перемикання в ланцюгах під час переходу з тягового в гальмівний режим;

ПД1, ПД2 — перемикачі двигунів ПД-168, що забезпечують можливість

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

роботи електровоза після відключення будь-якої пари пошкоджених тягових двигунів при послідовному з'єднанні шести двигунів, а також відключення на одній із пошкоджених секцій швидкодіючого вимикача 81 або гальмівних пуско-резисторів 31-34 при послідовно восьми тягових двигунів;

ЛК1-ЛК6 - лінійні контактори електропневматичні ПК-340;

31-34 (R1-R12) - пуско-гальмівні резистори;

К - реостатні електропневматичні контактори ПК-342, що вимикають секції пуско-гальмівних резисторів у послідовності, певною розгорткою кулачкових шайб контролера машиніста в процесі розгону електровоза та реостатного гальмування;

55, 56 - згладжувальні реактори РС-56, що знижують пульсації випрямленого струму тягових двигунів в режимі змінного струму;

63 - реверсивний кулачковий перемикач ПКЛ192;

РП1, РП2 - реле струмове РТ-465 для захисту тягових двигунів від навантаження;

43, 44 - датчики боксування ДБ-18;

ІШ1, ІШ2 - індуктивні шунти марки ІШ-143;

R5 - резистор постійного шунтування для зниження пульсацій струму збудження тягових двигунів при їх живленні від ВУК;

35, 36 (R1-R4) - резистори ослаблення збудження тягових двигунів;

65-74 - електропневматичні контактори ПК340, ПК341, що включають та перемикають секції резисторів 35, 36 для отримання чотирьох додаткових тягових характеристик ОП1 (70%), ОП2 (56%), ОП3 (46%), ОП4 (39%);

42 - реле РКН-447 контролю напруги на тягових двигунах, що забезпечує їх захист у режимі реостатного гальмування;

20 — роз'єднається РТД-89 для підключення ланцюгів тягових двигунів до джерела низької напруги депо;

МВ3, МВ4 - електродвигуни НБ-107 приводу вентиляторів охолодження пуско-гальмівних резисторів, що працюють від падіння напруги на секціях резисторів R1 1-R12, що вимикаються в останню чергу на ходових позиціях (продуктивність вентиляторів пропорційна пусковому або гальмівному).

					0032.180009.000.03.КР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88