

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

*Кафедра «Локомотиви»*

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

М. І. Капіца

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня *«магістр»*

Галузь знань *27 Транспорт*

Спеціальність *273 Залізничний транспорт*

Освітньо-професійна програма *Локомотиви та локомотивне господарство*

Тема **КОМПЛЕКСНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ  
ДЕПО Д**

Theme **COMPLEX MODERNIZATION OF LOCOMOTIVE PARK DEPOT D**

Керівник дипломної  
роботи

М. І. Капіца

Нормоконтролер

Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1921

О. В. Каліновський

Student

Kalinovsky Oleg

Дніпро, 2020

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Комплексна модернізація локомотивного парку депо Д» у загальному обсязі 6 креслень і 113 аркушів розрахунково-пояснювальної записки та складається з 4 частин.

Робота містить 15 ілюстрацій, 19 таблиць та список літературних джерел з 15 найменувань.

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі виступає локомотивний парк, а метою – його модернізація.

Проаналізовані потреба в оновленні парку локомотивів та основні напрями його модернізації.

Розглянутий світовий досвід застосування гібридного приводу та альтернативних джерел енергії на локомотивах.

Проаналізовані характеристики накопичувачів енергії та їх придатність для застосування на локомотивах.

Запропонована схема гібридного приводу для маневрового тепловоза.

Виконаний розрахунок основних характеристик модернізованого тепловоза 2ТЭ116 та модернізованого тепловоза ЧМЭЗ з гібридною силовою установкою.

Розглянуті основні аспекти техніко-економічного обґрунтування доцільності комплексної модернізації локомотивного парку.

Ключовими словами в дипломній магістерській роботі являються: ТЕПЛОВОЗ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ГІБРИДНИЙ ПРИВОД, НАКОПИЧУВАЧ ЕНЕРГІЇ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, СУПЕРКОНДЕНСАТОР, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ЕЛЕКТРОТЯГОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, ТЯГОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА, РОЗВАЖУВАННЯ ТЕПЛОВОЗА.

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ В НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛОКОМОТИВІВ	8
1.1 Аналіз потреби в оновленні парку локомотивів України	8
1.2 Аналіз основних напрямків модернізації тепловозів	10
1.3 Огляд закордонного досвіду застосування гібридного приводу та альтернативних джерел енергії на локомотивах	18
1.4 Обґрунтування теми магістерської дипломної роботи	28
2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЗА СЕРІЇ ЧМЭЗ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ	29
2.1 Аналіз характеристик накопичувачів енергії та їх придатності для використання на тяговому рухомому складі	29
2.2 Розробка принципової схеми гібридного локомотива	41
2.3 Визначення необхідної потужності силової установки	45
2.4 Вибір дизеля проектного тепловоза	48
2.5 Визначення основних параметрів тягового генератора та тягових електродвигунів	52
2.6 Розрахунок накопичувача енергії	53
2.7 Визначення параметрів тягового осьового редуктора	56
2.8 Розрахунок і побудова електромеханічних характеристик ТЕД	60
2.9 Розрахунок і побудова електротягових характеристик колісно-моторного блоку	62
2.10 Розрахунок і побудова тягової характеристики тепловоза	66
2.11 Розрахунок і побудова техніко-економічних характеристик тепловоза	71

					0032.150183.000.03MP.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комплексна модернізація локомотивного парку депо Д	Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.		<i>Каліновський</i>						4	113
Перевір.		<i>Каліца</i>							
Реценз.									
Н. Контр.		<i>Колодій</i>				ДНУЗТ, гр. ЛГ1921			
Затверд.		<i>Каліца</i>							

2.12 Розміщення обладнання тепловоза та його розважування	75
2.13 Порівняння базового та проектного тепловозу	86
3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЗА СЕРІЇ 2ТЭ116	88
3.1 Визначення необхідної потужності силової установки	88
3.2 Вибір дизеля проектного тепловоза	89
3.3 Визначення основних параметрів тягового генератора та тягових електродвигунів	90
3.4 Визначення параметрів тягового осьового редуктора	91
3.5 Розрахунок і побудова електромеханічних характеристик ТЕД	93
3.6 Розрахунок і побудова електротягових характеристик колісно-моторного блоку	93
3.7 Розрахунок і побудова тягової характеристики тепловоза	98
3.8 Розрахунок і побудова техніко-економічних характеристик тепловоза	101
3.9 Подовжнє розважування проектного локомотива	103
3.10 Порівняння базового та проектного тепловозу	106
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ	107
ВИСНОВКИ	110
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	112

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

На даний момент на перше місце серед вимог споживачів залізничної техніки виходить якість тепловозів з поліпшеними експлуатаційними характеристиками і доступна вартість. В умовах зростаючої конкуренції, що вимагає підвищення рівня автономних тепловозів задоволення вимог споживачів залізничної техніки можливо на основі науково обґрунтованих рішень.

При цьому на даний час парк тепловозів в Україні за своїм фізичним та моральним станом знаходиться на межі використання, що потребує його часткового або повного оновлення.

Проблему оновлення парку тепловозів можна вирішувати або за рахунок придбання за кордоном нових сучасних локомотивів, або шляхом відновлення їх ресурсу під час проведення капітального з продовженням терміну служби або капітально-відновлювального ремонту з модернізацією та продовженням терміну служби.

В цей час у світі триває процес оновлення, заміни застарілого парку і модернізації раніше випущених серій тепловозів шляхом впровадження прогресивних видів автономної тяги. Затребувані більш ефективні, економічні, екологічні конструкції.

Створення гібридних маневрових тепловозів з рекуперацією енергії може дати великий економічний ефект і допомогти у вирішенні комплексу завдань, пов'язаних зі скороченням витрат палива автономними тепловозами, підвищенням такого показника якості, як екологічність залізничного транспорту, зниження шумового забруднення і вібрацій, збільшення надійності забезпечення тепловоза тягової потужністю при пікових випадкових навантаженнях і ін.

Вибір конструктивного виконання і джерел енергії для тепловоза, розробка алгоритмів керування силовою установкою при наявності додаткових джерел енергії, що забезпечують раціональні режими експлуатації тепловоза в характерних умовах, є необхідною і складним завданням, пов'язаною з оцінкою

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективності та паливної економічності.

На повну заміну тепловозного парку України необхідне значне фінансування, якого в теперішній економічній ситуації немає.

Одним із можливих варіантів для країни є залучення вітчизняних підприємства, які займаються ремонтом тягового рухомого складу, до сучасної модернізації локомотивів з можливістю в подальшому виробництва нових локомотивів.

Саме тому для моєї дипломної магістерської роботи і була обрана тема: «Комплексна модернізація локомотивного парку Д».

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ В НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛОКОМОТИВІВ

## 1.1 Аналіз потреби в оновленні парку локомотивів України

За останні більш ніж 20 років капіталовкладення в оновлення основних засобів відбувались виключно за рахунок власних коштів залізниць, які не дозволяли забезпечити навіть просте відтворення основних засобів через високі темпи зростання цін на споживану продукцію, що значно перевищували темпи зростання тарифів на перевезення. До недавнього часу залізницям вдавалося забезпечити заявлений до перевезення обсяг вантажів. На сучасному етапі, за умов спаду економіки та зменшення обсягів перевезень, галузь ще більшою мірою відчуває дефіцит рухомого складу, що виступає стримуючим чинником розвитку залізничного транспорту. Тому однією з найгостріших проблем залізниць є фізичний та моральний знос рухомого складу, невідповідність його техніко-економічних характеристик сучасним вимогам та зношеність інфраструктури.

Оновленням тягового рухомого складу сьогодні потребує негайного вирішення зважаючи на практично повну зношеність їхнього парку. Ступінь зношення локомотивів перевищує 91 %, середній вік тепловозів – 33 роки, а електровозів – 42 роки. Найбільший ступінь зносу магістральних та маневрових тепловозів – 99% та 96% відповідно.

Основна проблема промислового залізничного транспорту і магістральних українських залізниць – недостатня кількість наявних тепловозів в експлуатаційному парку. За оцінками Українського інституту майбутнього, перевищення попиту над пропозицією на локомотивну тягу складе 11 раз в перспективі до 2021 року [1].

У 2018 році проявилися ознаки проходження точки неповернення в локомотивній тематиці. Багато підприємств не змогли вивезти в повному обсязі вироблену продукцію.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому на даний час парк тепловозів в Україні за своїм фізичним та моральним станом знаходиться на межі використання (тобто більшість тепловозів вичерпали свій призначений термін експлуатації, який складає 15 – 25 років), що потребує його часткового або повного оновлення.

Проблему оновлення парку тепловозів можна вирішувати або за рахунок придбання за кордоном нових сучасних локомотивів (в Україні на даний час локомотиви не виготовляються), або шляхом відновлення їх ресурсу під час проведення капітального (далі – КР) з продовженням терміну служби або капітально-відновлювального ремонту (далі – КВР) з модернізацією та продовженням терміну служби.

За даними з відкритих інформаційних джерел [2], станом на 01.09.2018 р. В інвентарному парку промислових підприємств України знаходилось майже 3500 тепловозів і 1938 тепловозів в інвентарному парку АТ «Українська залізниця» з яких 609 одиниць - це магістральні вантажні тепловози (тільки 202 знаходяться в експлуатації), 71 одиниця – пасажирські тепловози (тільки 28 знаходяться в експлуатації) та 1258 одиниць – маневрові тепловози.

При цьому не враховані локомотиви, що знаходяться на тимчасово непідконтрольній території. На даний час свіжа інформація відносно структури парку тепловозів промислового залізничного транспорту України та АТ «Українська залізниця» відсутня, але є всі підстави вважати, що проблема залишилась незмінною. Справжня причина проблеми – несвоєчасне оновлення парку тепловозів, порушення умов експлуатації, термінів проведення технічного обслуговування, капітальних ремонтів наявного парку та небажання займатися питаннями його модернізації.

Парк тепловозів промислового залізничного транспорту України та АТ «Українська залізниця» на сьогоднішній день є морально та фізично застарілим, а знос становить 98,3 %. До складу 1,7 % входять: 4 тепловоза ТЭП150, 30 тепловозів ТЭЗЗАС придбаних АТ «Українська залізниця» та одного тепловоза ТЭЗЗА придбаного ПрАТ «Івано-Франківськцемент».

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На повну заміну тепловозного парку України та придбання додаткової необхідної кількості сучасних тепловозів для задоволення попиту тепловозної тяги необхідне значне фінансування. Оцінюючи економічну ситуацію в нашій державі та орієнтовну вартість нового тепловоза на світовому ринку, потрібно відверто констатувати, що навіть протягом наступних 10 років всі промислові підприємства України різних форм власності, які мають власний тепловозний парк, разом з АТ «Українська залізниця», не спроможні виділити такі кошти. Тому дані підприємства, в тому числі АТ «Українська залізниця», будуть змушені балансувати між оновленням, модернізацією, переоснащенням, капітальними та поточними ремонтами тепловозів.

Безумовно, державна політика в цій галузі має бути спрямована на те, щоб промислові підприємства підтримували вітчизняних виробників, які займаються ремонтом тягового рухомого складу та протягом 2020-2025 років вирішували питаннями придбання на найкращих умовах нових локомотивів іноземного виробництва з подальшою суттєвою локалізацією їхнього виробництва на вітчизняних підприємствах.

При цьому стратегічно важливим завданням є максимальне використання провідними міжнародними виробниками локомотивів українських виробничих потужностей, запасних частин та послуг. Але також і наші підприємства, які займаються ремонтом тягового рухомого складу, виготовленням запчастин та нових комплектуючих теж мають бути зацікавлені у спільній співпраці з міжнародними виробниками для перейняття їхнього досвіду щодо сучасної модернізації локомотивів з можливістю в подальшому виробництва нових локомотивів [3].

## 1.2 Аналіз основних напрямків модернізації тепловозів

Як відомо з відкритих інформаційних джерел [4], між АТ «Українська залізниця» та компанія GE Transportation 23 лютого 2018 р. був підписаний

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рамочний договір стосовно 15-річного партнерства щодо оновлення та модернізації тягового рухомого складу українських залізниць. Відповідно до умов договору до 2034 року передбачається поставка в Україну 225 тепловозів ТЭЗЗАС (тепловоз з електропередачею модель 33 з асинхронним приводом) виробництва GE Transportation.

Згідно з договором, виробництво тепловозів ТЭЗЗАС для України на підприємстві компанія GE Transportation (сьогодні це вже Corporation Wabtec) розташованого в м. Erie, штат Pennsylvania, USA, розпочато на початку 2018 р. Восени 2018 р. та у першому кварталі 2019 р. в Україну доставлені перші 30 тепловозів зазначеної серії, які на даний час успішно експлуатуються на українських залізницях. Варто зазначити, що на першому етапі виконання контракту на постачання 30 тепловозів ТЕЗЗАС всі вони виготовлені в США. Більше того навіть їх обслуговування і ремонт скоріше за все буде виконувати GE Transportation або їх дочірня компанія, а не АТ «Українська залізниця».

В Україні на теперішній час є мережа малих та великих спеціалізованих тепловозоремонтних підприємств різних форм власності, які можуть виконувати капітальні ремонти тепловозам різних типів та моделей. На жаль, не всі тепловозоремонтні підприємства, навіть за умови відповідного фінансування, спроможні вже сьогодні виконувати сучасну модернізацію тепловозів а в перспективі будувати нові сучасні тепловози.

Ось перелік підприємств, які за інфраструктурою, технічними можливостями та своїм досвідом (за умови вирішенні власних певних поточних фінансових та кадрових питань) теоретично спроможні в найближчій перспективі налагодити виробництво нових тепловозів:

- ПрАТ «Дніпропетровський тепловозоремонтний завод» (спеціалізується на капітальних ремонтах магістральних тепловозів серії ТЭ10, 2ТЭ116 та маневрових тепловозах серії ЧМЭЗ, ТЭМ2), який входить в структуру АТ «Українська залізниця»;

- ТОВ «Полтавський тепловозоремонтний завод» (проводить капітальний

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ремонт тепловозів серій ТЭП70, 2ТЭ116, ТЭМ7, капітально-відновлювальний ремонт тепловозів із заміною силової установки серій М62 і 2М62, ТЭМ2в/і, ТГМ6в/і, ТГМ4в/і та комплексну модернізацію тепловозів серії ТЭ10в/і, ЧМЭ3);

- ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод» (спеціалізується на виконанні капітальний ремонт та модернізації тепловозів серії ТГМ4в/і, ТГМ6в/і, ТЭМ2в/і, ТЭМ7, ЧМЭ3, М62, 2ТЭ10в/і).

Крім того, в Україні є таке підприємство, як ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», який будує сучасні вантажні та пасажирські вагони, дизель-та електропоїзди і при цьому має дефіцит замовлень всередині країни та проблеми з оплатою за випущену продукцію. За своїми технічними можливостями ПАТ «КВБЗ» спроможний в найкоротший термін освоїти виробництво рам візків тепловозів (одних з головних складових частин локомотива) та зварювання самих несівних рам тепловозів.

Останній тепловоз, який був виготовлений та придбаний у вітчизняного виробника ХК «Луганськтепловоз» АТ «Українська залізниця» це пасажирський тепловоз ТЭП-150 № 004, але він укомплектований російським дизелем типу Д49.

Єдина спроба почати виробництво українських дизелів для тепловозів на ДП «Заводі ім. Малишева» завершилася невдачею. Експериментальне використання на Південній залізниці харківських дизелів типу Д-80 на тепловозах 2ТЭ116 та ЧМЭ3 завершилося тим, що підприємство-виробник не усунуло виявлені недоліки в конструкції дизеля, які були виявлені під час дослідної експлуатації.

За інформацією [1], залізниці Прибалтики та Угорщини для модернізації старих тепловозів типу М62 (які експлуатуються і в Україні) укладають контракти з компанією Caterpillar на встановлення нових потужних тягових систем. В Чехії на тепловози 2М62 встановлюють дизелі MTU (Німеччина) та здійснюють зміну дизайну кузова тепловоза та кабін машиністів. В Польщі старі М62 переобладнають в сучасний рухомий склад з повною заміною внутрішнього обладнання.

Вищевикладене свідчить про те, що для України у її важкому економічному

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стані оновлення тепловозів – це не придбання зарубіжного рухомого складу, а покупка передових зарубіжних і вітчизняних технологій і створення на цій базі власного виробництва рухомого складу, у тісній міжнародній кооперації.

Що стосується модернізації тепловозів в Україні, то зазначений вид робіт для тепловозоремонтних підприємств не є новим.

Найбільш вдалим прикладом позитивного досвіду з модернізації тепловозів в Україні є позитивний досвід ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод».

З реалізованих за останні роки проектів модернізації зазначеного підприємства можна відмітити наступні.

У 2017 р. був реалізований проект модернізації тепловоза ТГМ4 для ПАТ «Запоріжсталь» (МЕТІНВЕСТ) з установкою дизеля Cummins QST-30 (США) та компресорного агрегату. На початку 2018 р. після глибокої модернізації був введений в експлуатацію перший тепловоз ТГМ6 з дизелем QST-30. Під час модернізації також був встановлений новий роторно-пластинчатий компресорний агрегат АКЛ 4,5PM111J, кондиціонер, електродвигун приводу вентилятору охолодження, мікропроцесорний блок управління допоміжними агрегатами, модернізована УГП-750.

У 2019 р. реалізований проект глибокої модернізації тепловоза ТЭМ7 з заміною всього штатного обладнання: новий двигун виробництва Anglo Belgian Corporation (ABC), новий роторно-пластинчатий компресорний агрегат АКЛ спільного виробництва з компанією Mattei (Італія), нова система управління, інвертор, кондиціонер.

Також у 2019 р. реалізований проект глибокої модернізації тепловоза 2ТЭ10М, на якому були встановлені наступні агрегати: новий двигун виробництва Anglo Belgian Corporation (ABC), новий роторно-пластинчатий компресорний агрегат АКЛ-6 спільного виробництва з компанією Mattei (Італія), нова мікропроцесорна система управління, сучасний тяговий агрегат змінного струму виробництва ДП «Електротяжмаш», система клімат-контролю кабіни машиніста, швидкостемір «Вектор», система електронного моніторингу всіх систем тепловоза.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заслужує уваги успішний приклад спільної комплексної модернізації 6-ти американських шестивісних тепловозів С30, виробництва GE естонським оператором вантажних залізничних перевезень Operail та чеською компанією CZ Loko [4].

За умовами контракту 2020 р. Operail придбає у CZ Loko шість комплектів обладнання для проведення вказаної модернізації. Комплектуючі для модернізації 6-ти тепловозів мають бути поставлені в Естонію до початку 2021 року. Елементи конструкції тепловозів (блок циліндрів, капот, кабіна, блок управління, система охолодження, гальмівна система) виробляються на заводі CZ Loko в Йиглаві (Чехія). В цехах компанії Operail у місті Тапа (Естонія) старі тепловози розбирають, виконують капітальний ремонт візків та головної рами, відбувається фінальна збірка. Згаданий контракт – це не перший досвід плідної співпраці Operail та CZ Loko. У 2019 р. був реалізований контракт з модернізації 4-х таких тепловозів, раніше – ще 3-х.

Модернізовані тепловози С30-М призначені для важких маневрових робіт на залізничних коліях 1520 мм. В конструкції використаний дизель САТ 3512С потужністю 1550 кВт. Конструкція тепловоза С30-М на відміну від конструкції тепловоза С30 є капотною, вага тепловоза 138 т, навантаження на вісь – 23 т, передача електрична змінно/постійного струму.

За інформацією [4], у 2019 р. один з модернізованих тепловозів Operail був поставлений в Україну для виконання робіт на внутрішніх коліях підприємства «ДТЕК «Павлоградвугілля».

Є також цікавим досвід естонської компанії Skinest Rail [5], яка займається ремонтом та модернізацією локомотивів, а також здачею їх в оренду. Зазначена компанія співпрацює як з приватними власниками, так і з державними компаніями, наприклад з німецькою Deutsche Bahn.

В рамках такої співпраці у 2017 році Даугавпилський локомотиворемонтний завод (входить до структури Skinest Rail) підписав договір про співробітництво з Deutsche Bahn в частині виконання КР тепловозам серії BR233 (виготовлялись

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПАТ «Луганськтепловоз» у 1970 роках як тепловози серії ТЭ109 – попередник тепловоза ТЭП150). Тепловоз серії BR233 – магістральний вантажопасажирський односекційний 6-вісний тепловоз потужністю 3000 к.с. до даного часу вважається в Польщі та Німеччині одним з самих надійних та дешевих в експлуатації.

Протягом останніх двох років Даугавпилський локомотиворемонтний завод виконав КР з модернізацією майже 20 тепловозам зазначеної серії з продовженням експлуатації на 6 – 8 років.

Незважаючи на складність проекту в цілому (тепловози потрібно везти з Західної Європи, здійснювати перестановку на іншу колію в пункті переходу) він виявився для замовника (Deutsche Bahn) економічно вигідним.

Варто зазначити, що тепловози серії 2ТЭ116, середній вік яких перевищує 30 років, це 50% всього парку дизельних магістральних тепловозів України. Якщо «заможна» УЗ планує до 2025 року виключити з інвентарю 450 локомотивів [6], то «бідна» Deutsche Bahn до даного часу продовжує життя своїм 40-річним тепловозам, та вважає це економічно доцільним.

У західних країнах колишнього соціалістичного табору експлуатується досить багато локомотивів, віком понад 40 років. У країнах ЄС експлуатується близько 10 000 маневрових локомотивів віком понад 40 років. Вони продовжують працювати і користуються популярністю через свою простоту. Вказана техніка підтримується в хорошому стані шляхом правильної експлуатації, своєчасного технічного обслуговування і модернізацій. Ця робота організована на промислових підприємствах і депо, в рамках залізничних компаній кожної країни.

За інформацією [1], в Україні виробляються всі ключові компоненти локомотивів, крім дизельних двигунів і тягових перетворювачів. Але і це питання часу та бажання. За кошти, витрачені на придбання одного тепловоза GE TE33AC, можна провести глибоку модернізацію трьох найбільш затребуваних на залізницях магістральних тепловозів 2ТЭ116. Крім того, немає необхідності закуповувати обладнання, інструмент та оснащення для ТО і КР, використаємо наявну інфраструктуру. Роботи з модернізації можна організувати паралельно на

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

декількох ремонтних заводах за єдиним проектом або однотипними проектами. При цьому питання магістральних тепловозів закривається за два – три роки. Засоби для проведення таких робіт пропонував Німецький банк KfW ще у 2016 році в розмірі 60 млн. євро. При цьому, заходи з контролю за цільовим використанням фінансів були досить жорсткі. Але, нажаль, профільне міністерство та керівництво УЗ у той час відхилили цю пропозицію.

Варто зазначити, що навіть часткова модернізація старих локомотивів все ж є невідворотною, так як наразі, наприклад, АТ «Укрзалізниця» необхідний парк тепловозів в кількості 1200-1500 одиниць. І контракт GE Transportation на постачання 225 тепловозів до 2034 року явно не вирішує цю проблему. До того ж односекційні ТЕ33АС потужністю 4500 к.с. не є аналогом двосекційних 2ТЭ116 потужністю 6000 к.с. Тож часткове зменшення потужності доведеться перекривати збільшенням кількості одиниць рухомого складу. Досвід експлуатації тепловозів на дільниці Волноваха-Федорівка показав, що для переміщення вантажних поїздів вагою більше 5000 т на даній дільниці АТ «Укрзалізниця» використовує ТЕ33АС по системі двох одиниць.

В ряді публікацій у відкритих джерелах інформації [1] простежується думка про те, що за рахунок модернізації тепловозів на ремонтних підприємствах гостроту проблеми з тепловозною тягою можна зняти протягом двох-трьох років. Це дасть можливість за 10–15 років відновити платоспроможність підприємств, які мають тепловозний парк та організувати випуск нових локомотивів в Україні з локалізацією понад 80 %.

При цьому необхідно враховувати, що стосовно способу відновлення різних серій тепловозів під час модернізації однозначної відповіді бути не може. Все залежить не тільки від віку рухомого складу, але і від його фактичного технічного стану, від його технічних характеристик. Тому потрібні економічні розрахунки доцільності модернізації відносно її глибини та експлуатаційних витрат після модернізації.

При цьому в першу чергу слід звернути увагу на фактичний залишковий

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресурс основних несучих елементів конструкції тепловозів: металоконструкцій рам тепловозів та рам їх візків, який оцінюється за результатами спеціальних науково-експериментальних досліджень. Зазначені дослідження у загальному випадку повинні включати:

- обстеження технічного стану основних несучих металоконструкції кузова кожного тепловоза та його візків (рама кузова тепловоза та рами його візків) з використанням методів та засобів неруйнівного контролю;

- проведення контрольних випробувань зразків кузовів тепловозів та їх візків.

Завданням обстеження технічного стану рам тепловозів та рам їх візків є виявлення пошкоджень та несправностей металоконструкцій зазначених елементів, а також визначення фактичних значень товщин їх основних несучих елементів. Завданням контрольних випробувань є дослідження міцності рами кузова тепловоза та рам його візків для оцінки залишкового ресурсу зазначених вузлів. Обсяг контрольних випробувань визначає організація, що проводить зазначені науково-експериментальні дослідження та акредитована в Національному агентстві з акредитації України на право проведення таких випробувань.

Обстеження технічного стану рам тепловозів та рам їх візків включає:

- обстеження технічного стану металоконструкцій візуально-оптичним методом з метою визначення місць механічних пошкоджень, їх характеру та геометричних параметрів;

- виявлення дефектів в елементах металоконструкцій, які неможливо виявити візуально-оптичним методом, іншими методами неруйнівного контролю (магнітопорошковим, капілярним або іншими);

- визначення ступеня корозійного пошкодження основних несучих елементів металоконструкцій.

За результатами обстеження технічного стану металоконструкцій кожного тепловоза визначають ступінь корозійного пошкодження його елементів шляхом порівняння фактичних та номінальних товщин, проводять аналіз виявлених

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

несправностей з метою визначення виду ремонту, при якому виявлені несправності можуть бути усунуті. Аналіз проводять відповідно до вимог чинних нормативних документів, керівництв та правил поточного та капітального ремонтів.

Оцінку залишкового ресурсу рами кузова тепловоза конкретної серії та років побудови виконують експертним методом з урахуванням наступного:

- відсутність (або наявність) пошкоджень рам кузовів обстежених тепловозів, за наявності яких вони підлягають виключенню з інвентарного парку;
- можливість усунення виявлених пошкоджень під час ремонту;
- напружений стан та міцність металоконструкції рами зразка кузова тепловоза даної серії та років побудови за результатами контрольних випробувань;
- залишковий ресурс кузовів тепловозів за ступенем корозійних пошкоджень.

Аналогічно оцінюють залишковий ресурс візків, але замість напруженого стану та міцності конструкції рами зразка кузова до уваги приймають втомну міцність рам візків.

Визначений залишковий ресурс кузова тепловоза конкретної серії та років побудови та його візків є підставою для продовження терміну експлуатації таких тепловозів та призначення їм нового терміну служби, а також вирішення питання доцільності та глибини запланованої модернізації. Наприклад, недоцільно проводити модернізацію тепловозам конкретної серії та років побудови взагалі, якщо визначений за результатами проведених науково-експериментальних досліджень залишковий ресурс металоконструкцій їх рам кузовів не перевищує 3-5 років. При більшому залишковому ресурсі доцільність та глибина модернізації мають бути підтверджені економічними розрахунками [3].

### **1.3 Огляд закордонного досвіду застосування гібридного приводу та альтернативних джерел енергії на локомотивах**

Інтерес до використання накопичувачів енергії для тяги поїздів виникає в зв'язку з можливістю істотно поліпшити як енергетичні, так і експлуатаційні (маса

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поїздів, технічна швидкість) показники тяги маневрових локомотивів.

Створення акумуляторного електрорухомого складу відноситься до початкового періоду розвитку електричної тяги. Автономне живлення тягових електродвигунів почало успішно застосовуватися на автомотрисах і маневрових локомотивах на початку століття, коли питома енергоємність свинцевих тягових батарей досягла 5-10 Вт-год/кг.

У 1910 р. на залізницях Німеччини експлуатувалося більше 60, а в 1932 р – 180 акумуляторних вагонів. За період з 1900 по 1952 рр. питома енергоємність свинцевих тягових акумуляторів підвищилася з 4,5 до 25 Вт-год/кг. Збільшилися їхні експлуатаційна надійність і термін служби. До 1966 р. парк акумуляторного рухомого складу Німеччини налічував 238 моторних і 224 причіпних вагони, загальний пробіг яких у 1973 р. досяг 22 млн. км на рік.

Розрахунки й експлуатаційні випробування на залізницях Європи показали, що експлуатація акумуляторного рухомого складу в деяких випадках може дати відчутний економічний ефект. Так, наприклад, реальний досвід експлуатації акумуляторної електромотриси в Шотландії довів, що її показники краще дизельних автомотрис, що працюють там же. В Англії розгорнулися широкі дослідження зі створення сірчано-натрієвих тягових акумуляторів, теоретична енергоємність яких становить 1000 Вт-год/кг. На практиці вона досягла рівня 200-300 Вт-год/кг. Розробляються нові типи акумуляторного електрорухомого складу з тяговими батареями цього типу.

Питома витрата енергії контактено-акумуляторними поїздами, віднесена до повного пробігу на електрифікованих і неелектрифікованих ділянках, з урахуванням ККД батареї, майже не відрізнялася від витрати звичайних електропоїздів і становила близько 30 Вт-год/т-км брутто. Дальність пробігу в автономному режимі живлення досягала 56 км.

Можливість застосування різних акумуляторів енергії з метою підвищення напруги в контактній мережі при піках навантаження розглядається як альтернатива будівництву додаткових підстанцій на залізницях Японії, Німеччини,

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швеції, Норвегії та інших європейських країн.

Свинцеві батареї з малим внутрішнім опором знайшли застосування в системі електропостачання залізниць Німеччини. Вони рекомендуються для використання на гірській залізниці у Венделиптайне. При зіставленні розрахункових витрат і одержуваної вигоди від застосування такого накопичувача виявилось, що оптимальне значення енергії, що акумулюється накопичувачем, дорівнює 800 кВт-год при потужності 800 кВт. Очікувана економія 125,5 тис. нім. марок на рік.

У США в 2000-му році була створена модель, відома тепер під назвою «GreenKid». MT Railpower GG10K Greenkid являє собою маневровий локомотив з гібридним приводом. За ним було випущено великий MT Railpower GG20B GreenGoat. За прототип канадські інженери використовували звичайні серійні локомотиви.

Переробляти зношене виявилось і простіше, і дешевше, ніж будувати нове. І переробляти доводиться не так уже й багато: переважна більшість маневрових локомотивів є не тепловозами в чистому вигляді, а дизель-електровозами.

Фахівці компанії «Railpower» замінюють дизель-генераторну установку (ДГУ) на менш потужну і монтують на місце, що звільнилося, додаткові акумуляторні батареї (АКБ), а також установлюють нову систему керування (СК). Досвід експлуатації цих локомотивів показує, що економія дизельного палива на них становить від 40 до 60 %. Компанія «Railpower» знайшла в особі шведської фірми «STT SvenskTågtechnik AB» партнера, готового просувати цю передову гібридну технологію на європейський ринок.

Перший шведський локомотив із таким гібридним приводом у 2006 році успішно пройшов випробування. Канадські розробники розширюють сферу застосування своєї гібридної технології: вона використовується тепер і в конструкції портових кранів, які виконують завантаження й розвантаження контейнерів у морських портах. Також вони розробили локомотиви з трьома дизелями різної потужності. Там, де багато потужності не потрібно, більш потужні

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуни й не вмикаються, оскільки малопотужного цілком достатньо.

А якщо виникає необхідність, то вмикаються більш потужні двигуни. Така концепція також дозволяє заощадити паливо. Гібридний МТ серії ТА 436.05 був виготовлений компанією «ŠKD Praha» в 1986 році. Тепловоз обладнаний трифазним тяговим генератором (ТГ) серії ТА610. Тягові електродвигуни (ТЕД) постійного струму серії ТЕ015С чотириполюсні з допоміжними полюсами (того ж типу використовуються на машинах серії 704, 731). Два ТЕД завжди з'єднані послідовно й отримують живлення від власних імпульсних перетворювачів (ІП), оснащених ГТО тиристорами. Імпульсні ІП, паливний бак і АКБ бортової мережі підвішені під раму локомотива між візками. Тягова батарея складається з 480 нікель-кадмієвих батарей типу NKS 300 і ємністю 300 А·год. У дизельному режимі взаємодія дизеля і тягового генератора регулюється електронним центральним регулятором. Електродинамічні гальма працюють у діапазоні швидкостей від 65 до 2 км/год у генераторному режимі, в якому енергія, що виробляється при гальмуванні ТЕД, використовується для заряджання тягових АКБ, які також можна заряджати від мережі напругою 380 В. Джерелом енергії для бортової мережі є нікель-кадмієві батареї 75 NKS 150 з ємністю 150 А·год і живленням від бортової мережі постійного струму з напругою 110 В. Компанією «GE TransportationSystems» було створено тепловоз серії ES44AC із гібридним тяговим приводом, у концепції якого закладено отримання електроенергії при електродинамічному гальмуванні і її збереження в АКБ для використання під час наступного розгону. Після презентації локомотива в 2007 році компанія здійснила з ним кілька дослідних рейсів. За підсумками поїздок, технологія виявилася досить ефективною, а ємність АКБ, а, відповідно, й кількість енергії, що запасається, – меншими, ніж очікувалось. По завершенні поїздок дослідного локомотива батареї з нього були зняті, і подальші дослідження продовжилися з використанням батареї більшої ємності.

Прагнення цієї компанії розробляти економічні технології для потреб залізничної індустрії привело до створення прототипу тепловоза з гібридним

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приводом «EvolutionHybrid». У конструкції гібридного локомотива із повною потужністю 4400 к. с. застосовуються інноваційні елементи живлення, здатні використовувати й зберігати енергію, що виділяється під час гальмування. Накопичена енергія може використовуватися машиністом по необхідності. За оцінками спеціалістів компанії, застосування батарей дозволяє знизити витрати палива на 15%, а рівень викидів на 50% у порівнянні з більшістю вантажних тепловозів, що експлуатуються сьогодні, а також рівень викидів до 10% у порівнянні з нинішнім поколінням локомотивів серії Evolution.

Інженери німецької філії міжнародного концерну «Alstom» розробили свою модель гібридного маневрового локомотива шляхом переобладнання тепловоза з гідравлічною передачею серії V100 (BR 203). Локомотив був представлений на виставці «InnoTrans-2006» у м. Берліні (Німеччина). Він оснащений системою електричної тяги, яка містить АКБ, ДГУ, ПР електроенергії, ТЕД і механічну трансмісію. Дизель потужністю 200 кВт обертає тяговий генератор, який заряджає нікель-кадмієву АКБ. Від цього ж генератора через ПР отримують живлення два ТЕД. Локомотив може використовувати живлення від генератора або від АКБ, чи від двох джерел одночасно, при цьому потужність буде становити 500 кВт. У комбінованому режимі роботи відбувається підзаряд АКБ, яка потім використовується в якості резервного (пікового) джерела живлення, забезпечуючи додаткову потужність під час експлуатації в режимі тяги з максимальним навантаженням. За результатами випробувальних поїздок в м. Регенсбург (Германія) протягом десяти днів з важкими вантажними потягами була отримана економія палива 35%, а в м. Нюрнберг (Германія) під час сортування пасажирських вагонів протягом десяти днів економія палива склала 60%.

У 2009 р. компанія «Alstom» почала розробку абсолютно нового типу локомотива, в результаті чого було створено чотирохвісний локомотив серії H3 з чотирьома обмотореними осями.

Дослідження, проведені компанією, дозволили спроектувати тривісний локомотив, здатний розвивати швидкість до 100 км/год і проходженням кривих

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ділянок колії радіусом 60 м. Висока вартість гібридного локомотива компенсується значно більш низькими експлуатаційними витратами. У залежності від планів використання компанії-оператори можуть обирати один із чотирьох варіантів локомотивів цього сімейства: локомотив, що працює тільки на АКБ; гібридний локомотив потужністю 700 кВт із ДГУ і АКБ; локомотив потужністю 700 кВт із двома ДГУ; локомотив потужністю 1000 кВт із однією ДГУ. У липні 2012 р. керівники компаній «Alstom» і «Volkswagen» підписали документ про наміри щодо постачання чотирьох гібридних локомотивів НЗ.

У Нідерландах компанія StruktonRailEquipment, дочірня компанія – оператор інфраструктури StruktonEquipment, почала експерименти із застосування сонячної енергії на ТРС залізничного транспорту. Для проведення випробувань було обрано побудований у 1963 році компанією Deutz чотиривісний тепловоз серії 1200ВВМ, який отримав назву Janine, потужністю 808 кВт із кабіною керування, розміщеною в центральній частині капотного кузова. Сонячна батарея встановлена на капоті тепловоза таким чином, щоб дим із вихлопної труби не закривав сонячне світло, що може вплинути на її роботу. Розмір сонячної батареї 1920x990x50 мм, потужність – 280 Вт при напрузі 24 В. Локомотив застосовується для виконання робіт за поточним утриманням інфраструктури, тобто нерегулярно. Це означає, що в період часу, коли локомотив не використовується, АКБ розряджаються. За наявності сонячних батарей, АКБ можуть постійно підзаряджатись.

Випробування були початі в холодних умовах, і з тих пір, незважаючи на низькі температури, не було необхідності в заміні батарей. АКБ необхідні не тільки для пуску локомотива, але й для живлення допоміжного обладнання.

Потужність навантаження, яке підключене до батареї, може бути збільшена при вимкненому дизелі. У більшості випадків застосування сонячних батарей дозволяє швидко підзаряджати АКБ.

Підвищення надійності сприяє скороченню експлуатаційних витрат, через що відпадає необхідність витрачати робочий час персоналу на виїзд до локомотива і заміну на ньому АКБ після того, як він протягом деякого часу не

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовувався. Із початком дослідницької експлуатації сонячних батарей потребу в нових АКБ було знижено.

Для північноамериканських залізниць був спроектований пасажирський гібридний локомотив ALP-45DP, розроблений компанією «Bombardier» і представлений на виставці InnoTrans 2010 р. Це «теплоелектровоз» – гібридний локомотив, який являє собою тепловоз і електровоз в єдиному конструкційному виконанні. У кузові гібридного локомотива, крім електровозного обладнання, розміщено дві ДГУ сумарною потужністю 3134 кВт. В автономному режимі локомотив може водити пасажирські поїзди з 12-ти двоповерхових вагонів зі швидкостями до 160 км/год, а в електровозному – реалізовувати велику номінальну потужність – 4000 кВт. Такі «теплоелектровози» призначені для обслуговування човникових поїздів як на електрифікованих, так і на неелектрифікованих ділянках.

На виставці InnoTrans 2012 р. було продемонстровано маневровий локомотив із комбінованим тяговим приводом серії Eem 923, який було виконано на конструкційній базі двовісного двосистемного маневрового електровоза серії Eem 922 і доповнено дизелем. Локомотив може використовуватись як на ділянках, електрифікованих змінним струмом 15 кВ, 16,7 Гц і 25 кВ, 50 Гц за рахунок використання електричного тягового привода потужністю 1500 кВт, а також неелектрифікованих ділянках за рахунок використання встановленого на ньому ДГУ потужністю 290 кВт. Використання подібних локомотивів дозволить компанії вантажних перевезень залізниць Швейцарії SBB Cargo, яка вже їх експлуатує, скоротити витрати вуглекислого газу. Конструкційна швидкість локомотива складає 100 км/год.

На Ярославському електровозоремонтному заводі в 2010 р. на екіпажній базі тепловоза ЧМЭЗ було виготовлено локомотив із дводизельною силовою установкою на базі двох модульних ДГУ із дизелями ЯМЗ-Е8502 потужністю по 478 кВт кожний. Порівняльні випробування показали, що цей тепловоз забезпечує зниження витрат палива до 9,5%, екологічні показники нових дизелів значно кращі за штатний двигун К6S310DR. Наступним етапом підвищення експлуатаційних

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристик маневрових локомотивів стало створення в 2011 році на Ярославському електровозоремонтному заводі МТ із трьома дизельними силовими установками на базі ЧМЭЗ. Це пов'язано з тим, що при виконанні маневрової роботи до 60% часу силова установка локомотива працює на холостих обертах. На цьому тепловозі, крім двох основних ДГУ, як на дводизельному тепловозі, розглянутому вище, встановлено ще одну допоміжну ДГУ виробництва фірми Cummins потужністю 24 кВт, яка забезпечує прогрів тягових дизелів, кабіни машиніста і власні потреби тепловоза в електроенергії. Зниження витрат палива в порівнянні із ЧМЭЗ склали 17,8 – 21,3 %.

На Людинівському тепловозобудівному заводі виготовили маневровий газотурбовоз ТЭМ18Г для роботи на стиснутому газі. Для пуску двигуна та частковій рекуперації енергії гальмування на локомотиві встановлений електричний накопичувач енергії виробництва «Еконд» з енергетичною ємністю 8 МДж. Електронна система діагностування та управління ТОВ «ПП Дизельавтоматика» виконує процес пуску, задавання режимів роботи двигуна, керування тягою та допоміжними агрегатами і системами. Вартість життєвого циклу маневрового газотурбовоза складає 53,3 млн руб., що в 1,45 рази менше, ніж тепловоза ТЭМ18.

Промислова група Vossloh (Германія) на виставці InnoTrans 2012 представила тривісний МТ типу G6 ME, який було оснащено двома дизелями потужністю 350 кВт з електричною передачею. Його службова маса складає 60 – 67,5 т, сила тяги при русанні з місця – 220 кН, конструкційна швидкість – 80 км/год. Локомотив характеризується низькою питомою витратою палива, в тому числі в режимі холостого ходу. Менше зношування деталей приводить до збільшення строку служби, скорочення витрат на технічне обслуговування, а тому й до зниження витрат життєвого циклу.

Компанія «NorfolkSouthern» у 2009 році побудувала акумуляторний локомотив NS 999 на базі тепловоза EMD GP38. Усередині цього локомотива потужністю 1500 к.с. розташовано 1080 АКБ напругою 12 В кожна. Також його

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкція передбачає систему рекуперації електричної енергії. Повного заряду АКБ достатньо для роботи локомотива протягом трьох змін. Система АКБ побудована таким чином, що повне зарядження проводиться всього за дві години. СК тягою і електродинамічним гальмуванням для локомотива була поставлена корпорацією BrookvilleEquipment. Заміна традиційної силової ДГУ установки на АКБ й електродвигун зовсім не позначилася на ціні цього локомотива. NorfolkSouthern стверджують, що ціна електричного локомотива повністю дорівнює ціні звичайного, з ДВЗ. Завдяки новому електричному приводу цей локомотив створює набагато менший рівень шуму й не робить шкідливих викидів у навколишнє середовище.

На НПП «Політ» у м. Обнінську було створено перший у Росії гібридний МТЛГМ 1 із комбінованою силовою установкою, яка містить у собі модуль тягових АКБ і ДГУ, призначений для виконання легких маневрових і господарських робіт на ділянках колії 1520 мм промислових підприємств і залізничних станцій. Ходова частина тепловоза використана із серійного тепловоза ТЭМ18Д. Конструкція рами і капотів локомотива передбачає мінімум два варіанти силової установки: ДГУ потужністю 60 кВт і 100 кВт і модуля АКБ від 143 кВт до 286 Вт. Локомотив відповідає основним вимогам, пропонованим до сучасних маневрових локомотивів, у тому числі в частині екології й ергономіки. Його застосування забезпечить зниження витрат палива не менш ніж на 40%, керування проводиться одним машиністом за допомогою пульта.

Конструкторами ТОВ «Центр інноваційного розвитку СТМ» було розроблено МТ серії ТЕМ9Н SinaraHybrid з гібридною силовою установкою. Чотиривісний локомотив потужністю 882 кВт має електричну передачу потужності змінно-змінного струму, індивідуальний привід колісних пар (КП), ДГУ потужністю 630 кВт і блок електричних НЕ потужністю 252 кВт.

Енергія рекуперації накопичується в літій-іонних АКБ і суперконденсаторах. У порівнянні із попередньою базовою моделлю локомотива ТЕМ9 у тепловоза ТЕМ9Н SinaraHybrid знижено витрати палива на 30%, а показники викидів

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відпрацьованих газів у навколишнє середовище зменшено на 55%. На замовлення Московської дороги фахівцями Всеросійського науково-дослідного й конструкторсько-технологічного інституту рухомого складу (ВНДКТІ, м. Коломна) було розроблено й виготовлено маневровий акумуляторний локомотив ЛАМ-01. Його створено на базі екіпажної частини й кузова тепловоза ЧМЭЗ, призначений він для експлуатації в екологічно чистій зоні з можливістю заходу у виробничі приміщення. Технічні характеристики дозволяють йому виконувати всі види маневрів з пасажирськими поїздами масою до 1000 т на станційних і деповських коліях, що мають ухил не більш 5%. Завдяки екологічній чистоті локомотив може працювати в закритих приміщеннях ремонтно-екіпірувального депо й за встановленим циклом у вагономийному цеху. Гідромеханічний редуктор привода компресора замінено електродвигуном постійного струму. Силу установку з усіма системами (охолодження, паливною тощо), які відносяться до дизеля, і частину електроустаткування з тепловоза демонтовано. Залишено те штатне електроустаткування, яке використовують у схемі акумуляторного локомотива: чотири тягові двигуни, реверсор, контролер машиніста, прилади освітлення, захисту, сигналізації й зв'язку. На місці, що звільнилося, розміщено п'ять АКБ (чотири тягові й одна власних потреб). Нова тягова одиниця може працювати в трьох режимах, які задаються положенням режимного перемикача на передній панелі високовольтної камери: рух, мийка, заряд. Загальне керування системами здійснює уніфікована мікропроцесорна СК електропередачею (УСТА).

Маневровий акумуляторний локомотив може працювати як у нормальному режимі з керуванням від системи УСТА, так і в резервному (ручному), коли електронні блоки відключені з різних причин.

Компанія VoithTurbo розробила для залізничного дизельного ТРС системи паралельного гібридного привода, які вона випускає в трьох варіантах: гідростатична система рекуперації (Hidrobrid), електрична система рекуперації енергії (DIWArailHybrid), система для використання теплових втрат (SteamDrive/SteamTrac) [5].

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.4 Обґрунтування теми магістерської дипломної роботи

Як видно з проведеного аналізу, на теперішній час локомотивний парк можна вважати повністю зношеним, адже старіння локомотивного парку Укрзалізниці значно перевищує темпи придбання нового тягового рухомого складу. Особливо найбільш катастрофічна ситуація в парку тепловозів. На повну заміну тепловозного парку необхідне значне фінансування. Враховуючи економічну ситуацію в нашій державі підприємства України не спроможні виділити такі кошти.

Водночас підвищується інтерес до використання накопичувачів енергії для тяги поїздів, що дозволить істотно поліпшити як енергетичні, так і експлуатаційні (маса показники роботи локомотивів, особливо маневрових).

Тому проблема комплексної модернізації парку локомотивів є особливо актуальною в сучасних умовах.

**Висновки до розділу.** Була проаналізована проблема оновлення парку тепловозів, яку можна вирішувати або за рахунок придбання за кордоном нових сучасних локомотивів, або шляхом відновлення їх ресурсу під час проведення капітального з продовженням терміну служби або капітально-відновлювального ремонту з модернізацією та продовженням терміну служби.

Проаналізовані основні напрямки модернізації тепловозів, в яких простежується думка про те, що за рахунок модернізації тепловозів на ремонтних вітчизняних підприємствах гостроту проблеми з тепловозною тягою можна зняти протягом двох-трьох років.

Розглянутий досвід закордонних держав по застосуванню гібридного приводу та альтернативних джерел енергії на локомотивах.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЗА СЕРІЇ ЧМЭЗ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

### 2.1 Аналіз характеристик накопичувачів енергії та їх придатності для використання на тяговому рухомому складі

Вибір того чи іншого типу накопичувача енергії ґрунтується на порівняльному аналізі таких основних характеристик:

- енергоємність на одиницю маси й об'єму;
- потужність циклу на одиницю маси й об'єму;
- ефективність зарядно-розрядного циклу;
- віддача акумулятора – співвідношення між значенням повної енергоємності і тією її частиною, яка може бути корисно використана в режимі розряду;
- питома вартість;
- надійність і безпека в експлуатації.

Перші чотири показники прямим або непрямым чином характеризують кількісний рівень прийнятої і відданої енергії, а також швидкість заряду-розряду при заданих обмеженнях на масу й об'єм. Ці показники визначають можливість і ефективність застосування накопичувача енергії на локомотиві. Їх рівень залежить від типу і конструкції акумулятора. За типом накопичувачі енергії поділяються на електрохімічні, ємнісні, індуктивні, механічні, електромеханічні й електродинамічні.

Як тягові акумулятори найбільш широке поширення отримали накопичувачі різних електрохімічних систем, головним чином свинцеві і нікель-залізні. За кордоном також розглядається можливість застосування з цією метою нікель-кадмієвих акумуляторів.

За своїми габаритними характеристиками найбільш прийнятні для застосування в комбінованих джерелах енергії автономної тяги перспективні електрохімічні акумулятори, де реагентами виступають лужні метали, галоїди,

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сірка.

Роботи зі створення тягових акумуляторів ведуться як у напрямі вдосконалення конструкції і технології виготовлення, так і шляхом освоєння накопичувачів енергії принципово нового типу. Так, наприклад, індуктивні кріогенні накопичувачі, показники яких безперервно удосконалюються, досить перспективні за умови зниження вартості їх виготовлення. Нині ведуться дослідження із застосування індуктивних надпровідних накопичувачів у системах тягового електропостачання залізниць, а також вивчається можливість їх застосування у складі бортових акумуляторних установок локомотивів.

Електрохімічні, інерційні, ємнісні і гідрогазові акумулятори вже знайшли, хоч і обмежене, застосування на тягових засобах малої і середньої потужності, зокрема на автомотрисах, моторвагонних поїздах і маневрово-промислових локомотивах. Відомі шляхи підвищення їхньої питомої енергоємності за рахунок застосування нових конструкційних матеріалів, хімічних реагентів і технологій виготовлення роблять застосування цих накопичувачів економічно виправданим. Нині ці накопичувачі вже починають використовуватися для згладжування пікових навантажень, що виникають в експлуатації різних енергосистем.

Зокрема молекулярні ємнісні накопичувачі знаходять деяке застосування в системах запуску дизелів тепловозів, а також розглядаються як перспективні для використання в системі тягового електропостачання.

Ведуться дослідження із застосування індуктивних надпровідних накопичувачів у складі бортових акумуляторних установок.

Маховики підвищеної енергоємності і створені на їх базі компактні інерційні накопичувачі енергії доцільно використовувати там, де дозволяють умови експлуатації, для стабілізації режиму роботи дизеля і підвищення ККД силової установки.

Масогабаритні показники накопичувачів енергії тісно пов'язані з аналогічними показниками решти силового обладнання локомотива, а також з його потужністю. Потужні локомотиви мають високу щільність компонування, і у них

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

практично відсутній резерв маси у зв'язку з гранично досягнутими значеннями допустимих осьових навантажень. Крім того, чим більше потужність локомотива, тим вище реалізовані ними швидкості руху і більша маса обслуговуваних поїздів, для чого потрібна велика енергоємність накопичувача.

У зв'язку з цим найбільшу актуальність набуває оцінка можливості та ефективності використання накопичувачів енергії на локомотивах порівняно невеликої потужності з явно вираженими змінними експлуатаційними режимами. Це маневрові локомотиви і моторні вагони поїздів, що використовуються в приміському та регіональному сполученнях.

Електрохімічні накопичувачі (ЕХН) мають низьку питому потужність.

Щоб забезпечити прийнятну швидкість заряду-розряду, необхідно збільшувати кількість акумуляторів приблизно в 10 разів у порівнянні з необхідною їх кількістю за умовами забезпечення прийнятної величини енергоємності.

За електрохімічні накопичувачі можуть застосовуватися паливні елементи (ПЕ), які мають високий ККД і значно вищу енергоємність, ніж акумуляторні батареї, крім того водень-кисневі ПЕ не токсичні. Як кінцевий продукт реакції такі ЕХН виробляють пари води. Лише літєві АБ здатні конкурувати за енергоємністю з ТЕ, однак їхній ресурс невеликий через високу корозійну активність Li.

Суттєве значення стосовно автономних об'єктів має безшумність роботи, відсутність деталей, які механічно переміщаються, і частин, що зношуються.

Ресурс ПЕ більше 10 тис. годин, тобто досить великий. Перспективні розробки напівпаливних елементів (з підведенням тільки окислювача) на основі вбудованого в елемент твердотілого пального (металів Zi, Al, Li та ін.).

Підвищення потужності циклу акумуляторних батарей супроводжується зниженням віддачі і ресурсу і, крім того, вимагає розробки спеціальних заходів щодо зниження їхнього внутрішнього опору, поліпшення тепловіддачі і підвищення перевантажувальної здатності. Електрохімічні накопичувачі застосовні тільки на локомотивах з електричною передачею. Проте сірчано-натрієві і сірчано-літєві акумулятори, що володіють найбільш задовільними

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

масогабаритними показниками серед порівнюваних електрохімічних систем, мають певну перспективу застосування як тягових.

Електрохімічні накопичувачі володіють низькою питомою потужністю.

Лише літєві АБ здатні конкурувати за енергоємністю з іншими накопичувачами, однак їх ресурс невеликий через високу корозійну активність І. Час заряду АБ занадто великий.

Більш прийнятними в плані відсутності зазначених недоліків електрохімічних акумуляторів виявляються інерційні накопичувачі підвищеної енергоємності, потужність циклу яких обмежена лише параметрами силової передачі тепловоза і міцністю матеріалу, з якого виготовлений маховик.

Найбільшою питомою міцністю володіють композитні полімерні матеріали. Однак вони дуже дорогі і до того ж мають низьку щільність. Тому, володіючи високою питомою енергоємністю на одиницю маси, вони мають недостатньо високу щільність енергії на одиницю об'єму. Таким чином, їх застосування виправдане в тих випадках, коли вирішальним з обмежуючих факторів є маса установки. Призначені для створення маховиків з особливо великими питомими енергіями тонковолокнисті матеріали можуть забезпечити такі рівні показника ЕЄ: скляні нитки – 650 Дж/г, кварцові нитки – 5000 Дж/г, карбон – 15000 Дж/г (430 кВт-год/кг).

Варто згадати також про супермаховик із навитих вуглецевих нанотрубок. Згідно з розрахунками, максимальна окружна швидкість подібних маховиків складе до 100 км/с, а питома енергоємність такого накопичувача може досягати 1000 кВт-год/кг. Створення подібних акумуляторів енергії пов'язане з такими труднощами, вирішити які в цей момент неможливо.

У випадках реального застосування інерційних накопичувачів доцільнішим є використання більш дешевих сталевих маховиків, що мають високу щільність енергії при меншій масовій енергоємності.

Однак у монолітних маховиків небезпечна форма руйнування у вигляді масивних осколків, в зв'язку з чим потрібен підвищений запас міцності, а це

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбивається на зниженні питомої енергоємності накопичувача. Крім того, вони вимагають посиленого захисного кожуха, що збільшує масу установки.

З метою підвищення питомої енергоємності Г. Г. Поповим запропонована конструкція маховика, набраного з тонкостінних концентричних циліндрів, зовнішня група яких попередньо стиснута, а внутрішня – попередньо розтягнута. Напруга розтягування першої групи циліндрів врівноважена напругою стиснення другої групи циліндрів. Завдяки такій конструкції руйнування маховиків у разі перевищення частоти обертання або через інші причини відбувається пошарово і є відносно безпечним. За рахунок цього можна застосовувати не дуже товсті і важкі корпуси. Коефіцієнт віддачі для співвідношення максимальної і мінімальної частот обертання колінчастого вала дизеля 1500/700 дорівнює 0,75-0,78 залежно від схеми підключення накопичувача. Коефіцієнт форми описаної конструкції маховика становить 0,5.

Таким чином, питома енергоємність на одиницю маси описаного інерційного накопичувача енергії складе 26 Вт-год/кг. Маса такого накопичувача дорівнює 960 кг при енергоємності 80 кВт-год - 3т і 150 кВт год - 5,7 т.

Ще одним видом акумуляторів енергії є індуктивні накопичувачі (ІН).

Енергія в них акумулюється у вигляді магнітного поля. ІН має котушку з індуктивністю  $L$ , по якій тече струм і завдяки чому створюється магнітне поле, яке накопичує енергію.

Зазвичай реалізуються режими, коли час розряду менший за час заряду, завдяки чому потужність ІН при розряді істотно більше потужності зарядного циклу. Тому ІН, подібно до інших типів накопичувачів, може використовуватися як трансформатор потужності – він забезпечує короткочасне живлення потужних споживачів електроенергії при розряді після відносно тривалого періоду запасання енергії при заряді.

Крім процесів, пов'язаних із накопиченням і виділенням енергії, в ІН велику роль відіграють електромагнітні сили і створювані ними механічні напруження, оскільки в ІН протікають значні струми при сильних магнітних полях. Також через

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

велике значення струмів необхідна правильна організація процесів охолодження котушок.

Таким чином, аналіз ІН повинен охоплювати спільний розгляд електромагнітних і теплових процесів з урахуванням міцності котушок і конструктивних елементів ІН.

Перевагами ІН є: простота і статичність конструкції, хороші енергетичні і масогабаритні показники (при рівні енергії, що запасається 105 – 106 Дж характерні значення питомої енергії ІН можуть досягати 5-10 Дж/год і більше), висока надійність.

До недоліків ІН можна віднести необхідність використання швидкодіючих комутаторів, великі електродинамічні зусилля в активній зоні і відповідно наявність міцності елементів, ускладнені системи охолодження.

ККД зарядно-розрядного циклу становить 0,65-0,7.

Більш складними, але більш ефективними акумуляторами енергії на базі ІН є надпровідникові і кріопровідникові ІН.

Надпровідникові ІН (СПІН) в загальному випадку дозволяють отримати граничні значення щільності струму в активній зоні і тому мають найкращі масогабаритні показники. СПІН можуть використовуватися як в автономних установках, так і в великих енергосистемах, оскільки вони здатні зберігати енергію тривалий час. Обмотка надпровідникових ІН виконується з надпровідників другого роду (NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn, V<sub>3</sub>Ga та ін.), поміщених у кріостат із рідким гелієм. Провідник, з якого виготовляються котушки СПІН, має композитну структуру: тонкі жили надпровідника з діаметром 1 – 10 мкм, вкраплені в металеву матрицю несучого проводу (мідну, мідно-нікелеву, алюмінієву та ін.), яка забезпечує теплову стабілізацію надпровідникових дротів і механічну міцність провідника.

Несучий дріт зазвичай має круговий або прямокутний перетин із характерними розмірами приблизно 0,5-10 мм. Число над провідникових дротів в одному проводі може обчислюватися тисячами. У кабелі зазвичай об'єднуються кілька проводів. Завдяки високим значенням струмів СПІН є найбільш

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоємними порівняно з іншими типами ІН. Крім того, в надпровідному кабелі відсутні омичні втрати (при стаціонарних або квазістаціонарних процесах), і ККД СПН досягають високих значень.

Втрати в СПН виникають при швидкій зміні струму (в основному при розряді) через виникнення вихрових струмів у матриці проводів, конструктивних елементах і т. п. При високих значеннях  $di/dt$  можливий короточасний перехід надпровідникових дротів у нормальний стан із відповідними втратами. Якщо в СПН виникає стійка втрата надпровідного стану, то через великі значення струмів відбувається швидкий перехід накопиченої енергії в омичні втрати, що може призвести до серйозних аварійних режимів. Для запобігання їм використовуються спеціальні види захисту, засновані, наприклад, на підключенні до котушки СПН зовнішніх шунтувальних опорів, у яких за необхідності виділяється основна частина накопиченої енергії.

До втрат у номінальних режимах СПН відносяться також втрати в струмопроводі і теплопритоки через стінки кріостату. Перший вид втрат проявляється тим сильніше, чим більше струми СПН, тому для їх зменшення раціонально збільшувати число витків СПН (знижувати струм). Другий вид втрат знижується при зменшенні обсягу НППН і, відповідно, поверхні кріостату.

Таким чином, СПН вимагають складного кріогенного забезпечення і мають високу вартість. Тому їх використання раціональне при великих рівнях енергії.

Тепер активно розробляються надпровідникові матеріали, що працюють при підвищених температурах (понад 70-80 К) і мають прості і дешеві системи охолодження (наприклад, із використанням рідкого азоту). Однак такі матеріали мають низькі значення щільності струму і їх реалізація в енергетичних установках, у тому числі в ІН, є справою майбутнього.

Основна специфіка СПН, крім конструктивного виконання, проявляється в тому, що щільності струму  $I$  та магнітні індукції  $B$  не повинні перевищувати взаємозалежних критичних значень, що відповідають переходу надпровідника в нормальний стан. Для кожного типу надпровідника існує залежність допустимих

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочих значень  $I$  від магнітної індукції  $B$ .

Для створення високоефективних ІН, крім надпровідників, можуть використовуватися гіперпровідники, що називають також кріопровідниками. Одним із них є, наприклад, надчистий алюміній (99,999%), охолоджений до температури  $T = 20-30$  К (наприклад, рідким воднем або неоном). Опір проводу з гіперпровідника зменшується в тисячі разів у порівнянні з опором при нормальній температурі, що дозволяє мати щільності струму того ж порядку, що і в надпровідниках. Однак кріогенне забезпечення гіперпровідникових систем повинно бути досить потужним, оскільки на відміну від надпровідника гіперпровідник зберігає кінцевий опір і при великій щільності струму необхідно відводити істотні омичні втрати. Особливості кріопровідників пов'язані також і з магніторезистивним ефектом – збільшенням опору в присутності магнітних полів, і з розмірним ефектом – збільшенням питомого опору при зменшенні розмірів провідника.

Кріопровідникові пристрої успішно використовуються з різною метою. Особливо раціональне їх застосування в автономних енергоустановках, де наявний готовий холодоагент, призначений для вирішення основних завдань, попередньо використовуються в системі охолодження кріопровідників (наприклад, на літальних апаратах, маршові двигуни яких працюють на водневому паливі).

Загальним недоліком індуктивних систем накопичення енергії є необхідність застосування додаткового обладнання, що забезпечує їх працездатність. Тому розміщення таких накопичувачів на наявних локомотивах викликає певні труднощі.

В останні роки значного поширення набули конденсаторні системи акумулювання енергії, оскільки вони мають низку переваг над іншими видами накопичувачів. Ємнісні накопичувачі (ЄН) запасують енергію електричного поля.

Джерело електроживлення ЄН може бути як постійного, так і змінного струму у вигляді електромашинних генераторів або статичних пристроїв.

Якщо час заряду набагато перевищує час розряду, відбувається багаторазове

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшення потужності по відношенню до середньої, споживаної від джерела живлення на інтервалі часу заряду. Між зарядом і розрядом у загальному випадку існує післязарядна пауза, а після розряду перед повторенням наступного циклу – післярозрядна пауза.

Очевидно, що ефективність ЄН тим вище, чим більше ємність і напруга перед розрядом. Тому конденсатори ЄН виконують високоємніми. У деяких випадках зарядний процес ЄН є керованим. Управління процесом здійснюється за допомогою автоматичного регулятора (АР), а цілі регулювання визначаються призначенням ЄН. В основному регулювання застосовують для отримання максимального ККД зарядного процесу або рівномірного навантаження джерела живлення в процесі зарядного циклу.

Регулюванням зарядних процесів за допомогою АР можна домогтися рівня нерівномірності потужності в процесі заряду. Питомі характеристики конденсаторів ЄН оцінюють по відношенню до обсягу або маси. Найкращими питомими характеристиками володіють конденсатори ЄП з плівковим і комбінованим діелектриком. Такі конденсатори мають питому енергію по масі 0,105-0,15 кДж/кг (до 42 Вт-год).

З електролітичних конденсаторів найбільшою стабільністю і найкращими питомими характеристиками володіє вдосконалений конденсатор із застосуванням свинцево-олов'яної фольги, у якого питома енергія по масі складає 0,34-0,37 кДж/кг.

Перспективи підвищення питомої енергії, зниження масогабаритних показників і розширення області раціонального застосування ЄН пов'язані з можливостями розробок конденсаторів із подвійним хімічним шаром. На сучасному рівні технології в конденсаторах цього типу досягнуті значення питомої енергії по масі більше 10 кДж/кг.

Суперконденсатори (іоністори) – це новий тип джерел струму, що динамічно розвивається і займає проміжне положення між акумуляторами і традиційними конденсаторами. У порівнянні з традиційними акумуляторами він має більш

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високу питому потужність, але низьку питому енергію.

Порівняно з конденсаторами – більш високу питому енергію при рівні питомої потужності однакового з ними порядку. Іоністори відносяться до класу конденсаторів, що використовують енергію заряду, зосередженого в подвійному електричному шарі. Номінальна ємність одного суперконденсатора до 5000 Ф. У процесі експлуатації і зберігання іоністори не вимагають обслуговування, працездатні в широкому інтервалі температур (від мінус 40 до плюс 70 °С). Суперконденсатори можуть експлуатуватися протягом тривалого часу. Більшість іоністорів мають низький саморозряд і малу величину внутрішнього опору (менше 1 МОм). Енергія, яка запасається іоністорами, може досягати 50-60 кДж/кг, а потужність – десятки кВт/кг (при використанні графена – до 300 кДж/кг і до 250 кВт/кг відповідно). Суперконденсатори можуть широко застосовуватися як короткочасно перезаряджувані джерела струму з дуже великою кількістю циклів у режимі «заряд-розряд». Кількість циклів – до двох мільйонів. Робочі струми іоністорів – до 1000 А.

На рисунку 2.1 показано області застосування різних видів накопичувачів у залежності від їх потужності і часу розряду накопиченої енергії [5]. Характерні показники накопичувачів енергії та технічні характеристики накопичувачів, що застосовуються на тяговому рухомому складі, зведені в таблиці 2.1.

Акумуляторні батареї на основі ЛІА мають найбільш високу питому енергоємність серед статичних джерел електричної енергії: 0,4 МДж/кг при питомій потужності промислових зразків 0,2 кВт/кг, із перспективою збільшення її до 2 ... 4 кВт/кг. Таким чином, використання тільки акумуляторів як джерел енергії недоцільно тому що АБ мають великий час заряду та розряду. Іншим істотним недоліком акумуляторів є термін служби, обмежений 5...15 тисячами циклів заряду-розряду, що призводить до необхідності заміни батарей. Суперконденсатори (іоністри), навпаки, мають високу питому потужність до 10 кВт/кг і допускають більше мільйона циклів заряду-розряду, маючи малу питому енергоємність – близько 0,05 МДж / кг.

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

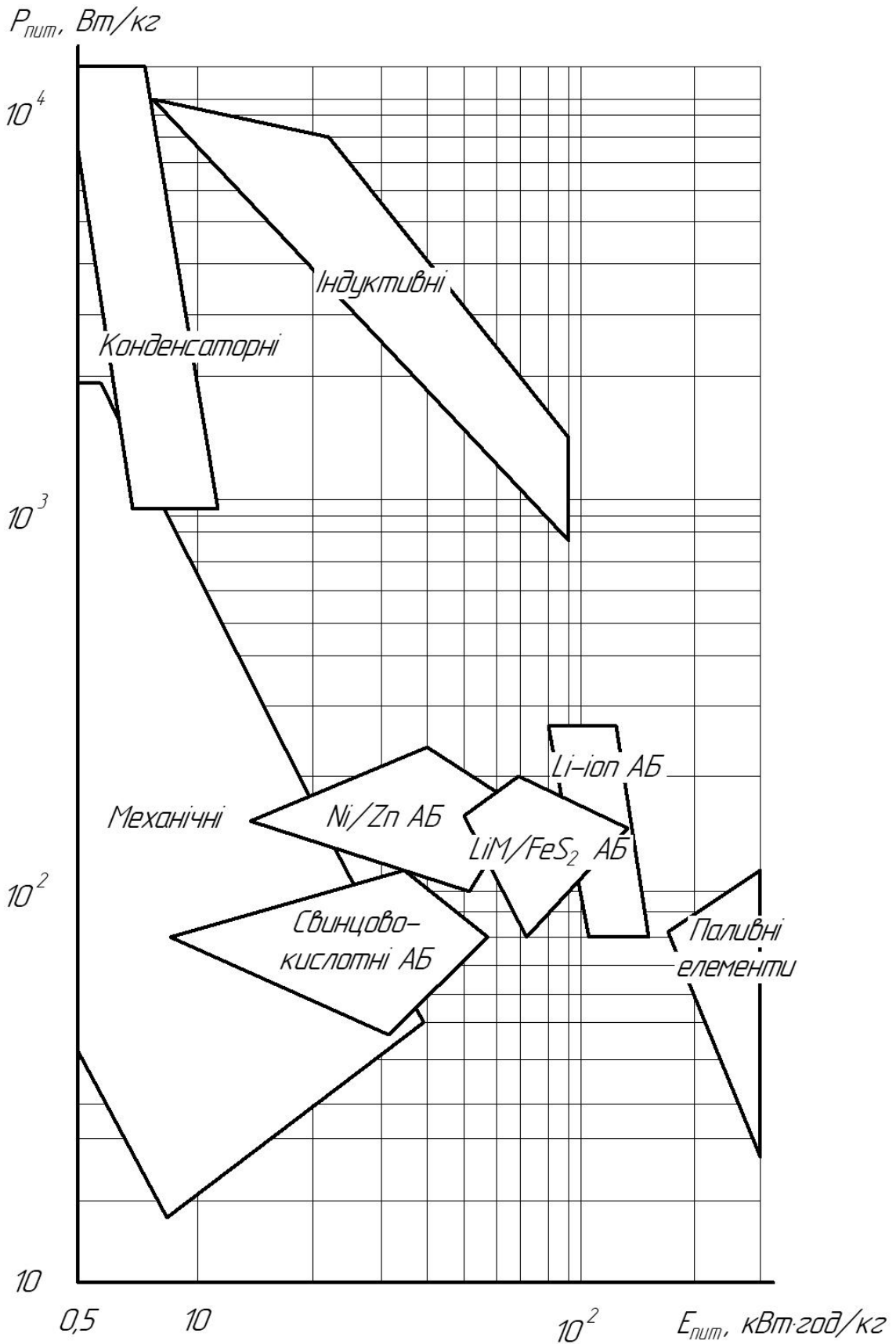


Рисунок 2.1 – Питомі характеристики різних джерел енергії

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проаналізувавши вищевикладене, можна зробити висновок про те, що найбільш прийнятними накопичувачами енергії для потреб автономної тяги є хімічні і ємнісні (зокрема суперконденсатори) [5].

## 2.2 Розробка принципової схеми гібридного локомотива

Основним цільовим станом силової установки будь-якого транспортного засобу (ТЗ) є стан, що відповідає режиму тяги з потужністю, близькою до номінальної. Проте у більшості випадків спостерігаються дещо інші режими. Так, аналіз розшифрувань БІС-Р для тепловозів показав, що фактична витрата палива звичайно перевищує витрату, зазначену у техпаспорті локомотива. Це пов'язано насамперед із тривалим простоем локомотива, частою зміною позиції контролера машиніста, роботою на низьких позиціях і т.д. При виконанні маневрів локомотив по більшій частині працює на перехідних режимах, при цьому 50 – 60% часу він працює в режимі холостого ходу, 45 – 70% на низьких навантаженнях і лише 2 – 5% на номінальних навантаженнях [6].

Одним із способів підвищення ефективності експлуатації ТЗ є заміна існуючої дизель-генераторної установки на ДГУ меншої потужності з накопичувачем енергії (НЕ). У якості можливих НЕ можуть бути використані акумуляторні батареї, конденсатори високої ємності, гіроскопічні апарати [7].

При модернізації ТЗ гібридною передачею потужності його робота на середніх навантаженнях буде забезпечуватися роботою двигуна малої потужності; при роботі на холостому ході та низьких навантаженнях двигун малої потужності буде поповнювати запас енергії у НЕ і здійснювати роботу засобу; на високих навантаженнях робота ТЗ буде здійснюватися за рахунок енергії НЕ і за рахунок роботи двигуна малої потужності. Окрім економічної сторони, скорочення витрати палива, дана модернізація дозволить значно поліпшити екологічні показники ТЗ.

В усьому світі впроваджують гібридну передачу потужності на залізничному і морському транспорті. Проте, усі судна і локомотиви, що експлуатуються в

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Україні, мають передачу без НЕ. [8]

Визначенню та обґрунтуванню основних показників ТЗ присвячено багато наукових досліджень. Вони в багатьох випадках є спільними для всіх видів ТЗ. Основні методи вибору параметрів силової установки і НЕ наведено на рисунку 2.2.

В результаті аналізу праць вчених методи вибору параметрів силової установки і НЕ було розбито на п'ять категорій: методи на основі середніх показників роботи локомотивів; методи на основі порівняльної оцінки різних варіантів із сумарною потужністю, обраною за прототипом; вибір в залежності від заданого режиму роботи локомотива (з урахуванням рекуперації і без урахування рекуперації); методи на основі завантаження силових установок, при їх роботі на конкретних ділянках (СУ обирається за середньою потужністю, НЕ – за дефіцитом енергії); методи, в яких вибір НЕ проводиться на основі показників ефективності його використання.

З огляду методів та моделей виходить, що різні вчені із різних країн протягом багатьох років проводили дослідження, спрямовані на визначення техніко-економічних параметрів ТЗ. Деякі з яких підходять і до гібридних, але вони мають ряд недоліків. В цих методах не враховано або вартісні показники, або реальні умови експлуатації, або габарити і масові показники накопичувача енергії і силової установки, або комплекс них параметрів. Тому виникає наукова проблема удосконалення методів та моделей визначення параметрів гібридної передачі ТЗ для роботи його на транспортних шляхах України з урахуванням цих недоліків.

Для вирішення задачі визначення техніко-економічних показників гібридних ТЗ необхідно використовувати комплексний підхід, який повинен пов'язувати між собою технічні параметри ТЗ, показники експлуатації і вартісні показники.

Як показує статистика, більше 40% маневрової роботи приходить на простій з двигуном, що працює, а 10-15% часу приходить на пересування без вагонів [9]. Розподілення режимів роботи маневрового локомотива показане на рисунку 2.3. Також тепловози ЧМЭЗ використовуються у легкій поїзній роботі із невеликою кількістю вагонів.

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

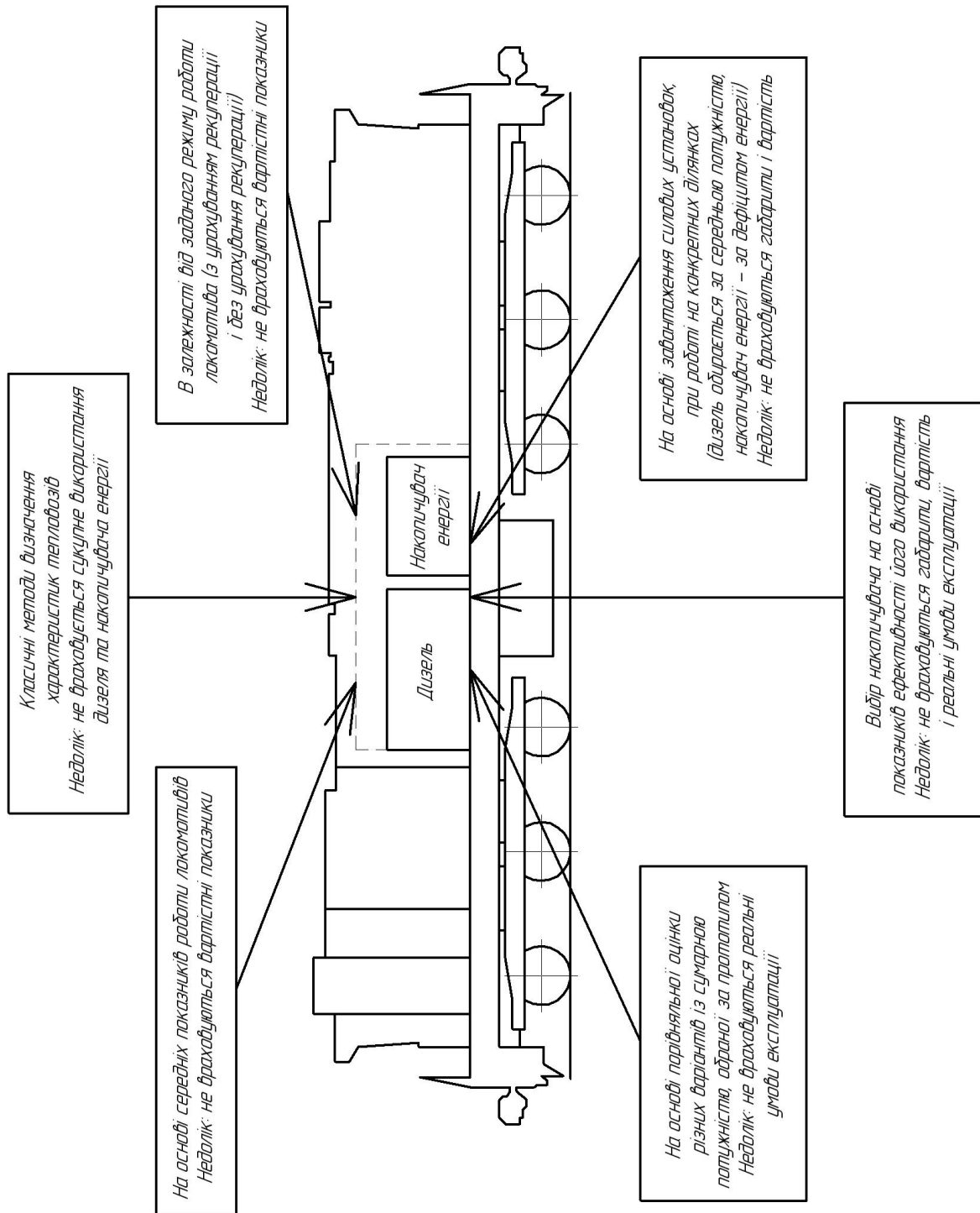


Рисунок 2.2 – Методи вибору параметрів силової установки і накопичувача енергії для локомотива

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

0032.150183.000.03MP.ПЗ

Арк.

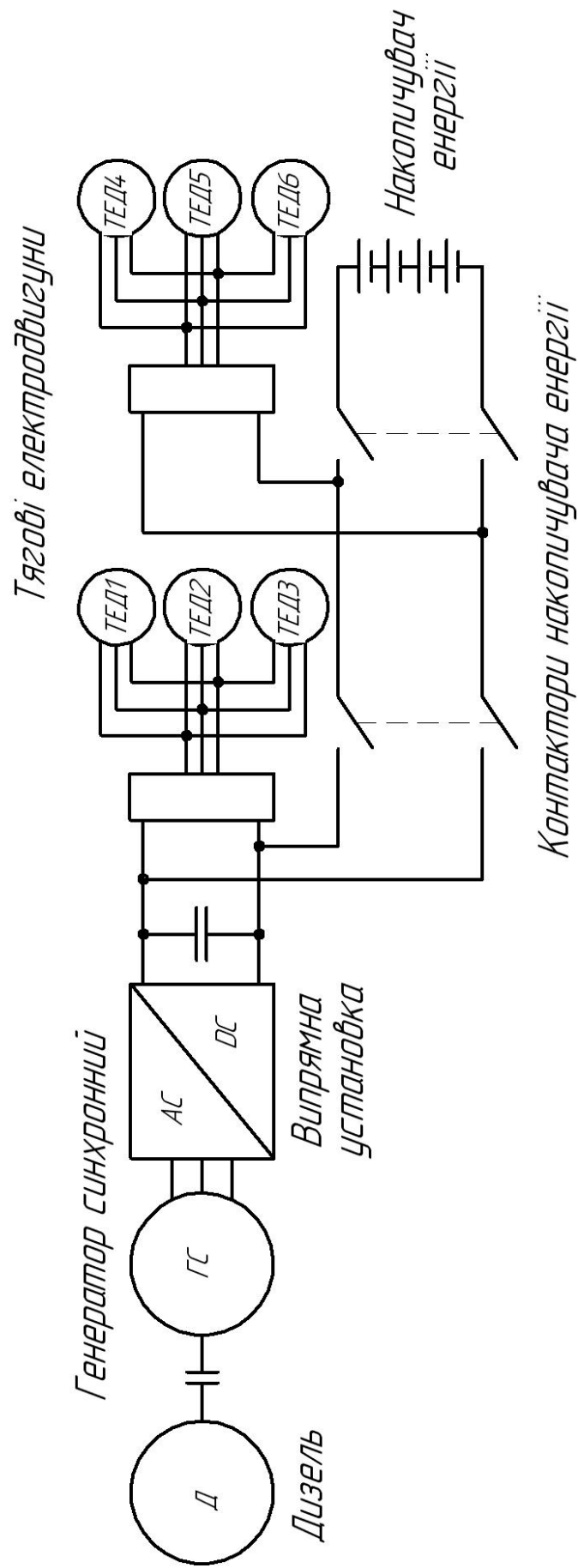


Рисунок 2.4 – Принципова схема модернізованого тепловозу ЧМЕЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.150183.000.03MP.ПЗ

Арк.

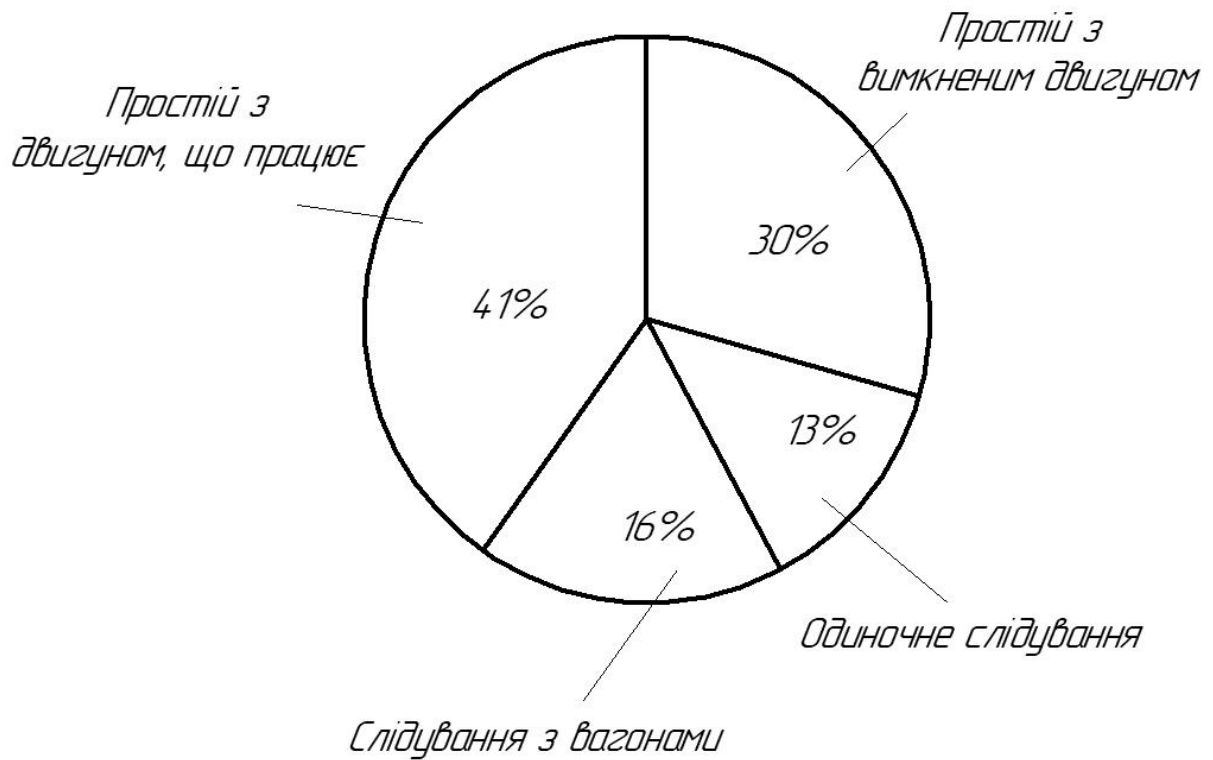


Рисунок 2.3 – Розподілення режимів роботи маневрового локомотива

У модернізованому варіанті пропонується встановлення дизель-генераторної установки із синхронним генератором меншої потужності, яка працює на зарядку накопичувача енергії.

Від накопичувача енергії живляться тягові електродвигуни постійного струму двигуни.

Принципова схема модернізованого тепловозу наведена на рисунку 2.4.

### 2.3 Визначення необхідної потужності силової установки

Потужність на ободі рухаючих коліс тепловозу, тобто розрахункову дотичну потужність  $P_{др}$  можна визначити з умови, що на керівному підйомі з крутизною  $i_p$  при розрахунковій швидкості руху  $V_p$  дотична сила тяги тепловоза  $F_{др}$  повинна бути по можливості максимальною і відповідати силі зчеплення  $F_{зч}$  його рухаючих коліс з рейками. Як відомо, ця умова виражається наступним рівнянням:

						0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$F_{op} = F_{зч} = 9810 \cdot m_{л} \cdot \psi_{op}, \quad (2.1)$$

де  $F_{op}$ ,  $F_{зч}$  – відповідно розрахункова сила тяги і сила зчеплення коліс з рейками, Н;

$m_{л}$  – зчїпна маса локомотива, т;

$\psi_{op}$  – коефіцієнт зчеплення коліс з рейками.

Для модернізованого тепловозу з гібридною силовою установкою приймемо масу локомотива  $m_{л}=126$  т та розрахунковою швидкістю  $V_p=11,4$  км/год.

Коефіцієнт зчеплення коліс з рейками для тепловоза з електричною передачею приймаємо  $\psi_{op}=0,17$ .

$$F_{op} = F_{зч} = 9810 \cdot 126 \cdot 0,17 = 210130 \text{ Н.}$$

Розрахункова дотична потужність тепловоза визначається за формулою:

$$P_{op} = \frac{F_{op} \cdot V_p}{3600}, \quad (2.2)$$

де  $V_p$  – розрахункова швидкість, км/год.

$$P_{op} = \frac{210130 \cdot 11,4}{3600} = 665 \text{ кВт,}$$

ККД передачі визначається за формулою:

$$\eta_{п} = \eta_{г} \cdot \eta_{тд} \cdot \eta_{зп} \cdot \eta_{вч}, \quad (2.3)$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\eta_{\Gamma} = 0,93 - 0,95$  – ККД генератора;

$\eta_{\GammaД} = 0,91 - 0,93$  – ККД тягових двигунів;

$\eta_{зП} = 0,985$  – ККД зубчатої передачі від тягового двигуна до рушійних осей;

$\eta_{ВУ} = 0,98$  – ККД випрямної установки.

$$\eta_{\Pi} = (0,93 \div 0,95) \cdot (0,91 \div 0,93) \cdot 0,985 \cdot 0,98 = 0,817 \div 0,852,$$

Приймаємо  $\eta_{\Pi} = 0,84$ .

Визначимо, яку тягову потужність  $P_p$  тепловоз має в своєму розпорядженні:

$$P_p = \frac{P_{op}}{\eta_{\Pi}}, \quad (2.4)$$

$$P_p = \frac{665}{0,84} = 792 \text{ кВт.}$$

На тепловозах частина потужності дизеля витрачається на привід допоміжних агрегатів тепловоза. Якщо врахувати величину відбору потужності, то отримаємо ефективну потужність дизеля  $P_e$  :

$$P_e = \frac{P_p}{1 - K_p}, \quad (2.5)$$

де  $K_p$  – доля відбору потужності на привід допоміжних агрегатів тепловоза; приймаємо 0,1.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P'_e = \frac{792}{1 - 0,1} = 880 \text{ кВт.}$$

Виходячи з проведених розрахунків для модернізованого маневрового тепловоза необхідна силова установка потужністю 880 кВт.

## 2.4 Вибір дизеля проектного тепловоза

Технічні параметри і конструкція дизелів для тепловозів повинні забезпечувати:

- зниження витрат життєвого циклу;
- підвищення надійності;
- поліпшення споживчих властивостей (продуктивність, швидкість, сила тяги);
- підвищення безпеки при роботі і обслуговуванні тепловоза;
- підвищення ергономічних якостей відповідно до перспективними вимогами;
- мінімізацію шкідливого впливу локомотивів і дизелів на навколишнє середовище;
- контролепридатність, збільшення міжремонтних термінів, мінімізацію трудомісткості обслуговування і ремонту.

Конструкція дизелів повинна передбачати створення ряду модифікацій, що розрізняються числом циліндрів, але містять максимум однакових вузлів і деталей. Модифікації ряду повинні задовольняти потреби залізничного транспорту в різних за потужністю і габаритами силових установках.

Кожна з модифікацій ряду повинна забезпечувати задану потужність при масогабаритних показниках, прийнятних для локомотивів, і можливість її підвищення в перспективі на 10-20% без збільшення габаритів двигуна.

Найбільша економічність тепловоза характеристики дизеля повинна

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідати економічності кращих світових зразків і реалізовуватися на найбільш частих режимах роботи тепловоза. конструкція дизеля повинна передбачати можливість відповідної настройки робочого процесу дизелів, включаючи системи подачі палива, турбонаддува і газообміну, а також зменшення механічних і теплових втрат з метою зниження витрат палива і дизельного масла тепловозами в якомога ширшому діапазоні робочих режимів на 10 і більше відсотків щодо вихідного рівня.

Системи регулювання дизеля і діагностування його вузлів і систем повинні бути пристосовані для поєднання і спільної роботи з автоматизованою комплексною системою управління, захистом і діагностуванням тепловоза. Системи запуску, прогріву і підтримки теплового стану дизелів повинні забезпечувати безвідмовний запуск в умовах заданих температур навколишнього середовища, економічність і надійність підтримки необхідного теплового стану дизеля. Конструкція дизелів повинна бути модульної, забезпечувати проведення агрегатного ремонту, вільний доступ до вузлів і системам, які потребують обслуговуванні.

Врівноваженість дизеля і конструкція вузлів його установки повинні виключати передачу динамічних впливів на раму тепловоза. Удосконалення конструкцій вузлів тертя, систем змащення, теплового режиму, застосування перспективних матеріалів і технологій повинні бути спрямовані на збільшення міжремонтних пробігів дизелів до 1,5 раз і на підвищення їх надійності.

Істотним вимогою до дизелів нового покоління є оптимізація лінійних розмірів для розміщення силової установки в кузовах тепловозів вагонного та капотного типів, що відповідають установленим габаритам рухомого складу. Для тепловозів з кузовами вагонного типу обмеження ширини дизель-генератора визначено необхідністю забезпечення встановленої нормативними документами ширини проходів в машинному відділенні.

Для тепловозів з кузовами капотного типу, що будуються з урахуванням існуючих габаритних обмежень, ширина дизель-генератора обмежується умовою дотримання встановленої ширини бічних майданчиків тепловоза.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для нового покоління дизелів маневрових тепловозів актуально зменшення висоти дизель-генераторного агрегату, що забезпечує поліпшення огляду з кабіни машиніста. Найкращі результати в цьому відношенні можуть бути досягнуті створенням V-образних дизелів з великим кутом розвалу циліндрів, використанням досвіду дизелебудування для сфер застосування, що вимагають граничного скорочення габаритів

Досвід вітчизняного і зарубіжного тепловозобудування показав перевагу фланцевого кріплення генераторного модуля до дизелю щодо скорочення габариту установки по довжині і можливості використання одноопорного генераторів.

Створення і застосування на тепловозах дизелів нового покоління повинні забезпечити істотне підвищення техніко-економічного рівня тепловозів, в тому числі:

- підвищення продуктивності локомотива не менше ніж на 5% (за рахунок підвищення потужності і поліпшення тягових якостей), в порівнянні з локомотивами замінних серій;
- зниження експлуатаційної витрати палива не менше ніж на 10%, в порівнянні з кращими аналогами;

- збільшення міжремонтних пробігів не менше ніж в 1,5 рази;

- збільшення коефіцієнтів готовності тепловозів: вантажні - до 0,97; пасажирські - до 0,98;

- забезпечення терміну служби магістральних тепловозів до 40 років, маневрових - до 50 років;

- зменшення середнього параметра потоку відмов третього виду на 1 000 000 км пробігу для вантажних тепловозів до 11, для пасажирських тепловозів до 10;

- виконання перспективних екологічних вимог.

До тяговим генераторів (тяговим агрегатів), що входить до складу тепловозних дизель-генераторних установок, висуваються вимоги щодо терміну служби генераторів (агрегатів) - 40-50 років, по ресурсу застосовуваної ізоляції, яка змінюється при капітальному ремонті, 20-25 років.

Для забезпечення нормативних показників надійності тепловоза параметр

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потоків відмов дизеля повинен становити не більше 18% від потоків відмов тепловоза в цілому.

Для нашого проектного тепловозу обираємо схему гібридної установки при якій потужність при русі на низьких та середніх позиціях контролера машиніста забезпечує дизель, а накопичувач енергії підключається тільки тоді, коли тепловозу необхідно буде розвинути повну потужність, тобто близько 65% від усієї потужності силової установки буде давати дизель, а решту накопичувач енергії.

Виходячи з цієї умови визначимо необхідну потужність дизеля:

$$P_{ed} = 0,6 \cdot P'_e, \quad (2.6)$$

$$P_{ed} = 0,65 \cdot 880 = 572 \text{ кВт.}$$

Виходячи з цих даних був підібраний дизель німецької фірми MTU модель MTU 12V1600G20F.

Дизельний двигун MTU 12V1600G20F (Німеччина) - 12-циліндровий, V-подібний, 4-тактний, з системою впорскування палива під високим тиском. З індивідуальними паливними насосами високого тиску і керованими форсунками.

Двигун MTU 12V1600G20F виробництва MTU Friedrichshafen GmbH оснащений рідинної системою охолодження, системою турбонаддува з 2-ма турбокомпресорами і проміжним охолоджувачем типу «повітря-повітря», рідинно-масляним теплообмінником, електронним блоком управління двигуна ADEC (регулювання оборотів, контроль і управління роботою двигуна, запобігання аварійним ситуаціям).

#### Технічна характеристика дизеля

Модель	MTU12V1600G20F
Число циліндрів	12
Розташування циліндрів	V- подібне
Діаметр циліндра, мм	122
Хід поршня, мм	150

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочий об'єм, л	21
Міра стискування	17,5
Основна потужність, кВт	576
Номинальна частота обертання колінчастого валу, хв <sup>-1</sup>	1500
Питома витрата палива при 1500 хв <sup>-1</sup> , (г/кВт·год):	
- при 100% потужності:	205
Витрата масла на угар, % від витрати палива, не більше	1
Масляні фільтри	багатоступінчастий масляний фільтр
Пусковий пристрій	електростартер 24 В
Система мастила, л	72,5
Система охолодження, л	65
Ресурс до капітального ремонту, год	30000
Маса двигуна, кг	2075

## 2.5 Визначення основних параметрів тягового генератора та тягових електродвигунів

Потрібну потужність тягового електродвигуна проектного тепловоза  $P'_{д}$ , кВт визначаємо за формулою:

$$P'_{д} = \frac{P_{дп}}{\eta_{зп} \cdot \kappa}, \quad (2.7)$$

де  $\kappa$  – кількість ТЕД на тепловозі; приймаємо  $\kappa = 6$ ;

$$P'_{д} = \frac{665}{0,985 \cdot 6} = 113 \text{ кВт.}$$

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По потужності ТЕД, що розрахована за формулою (2.7) обираємо тип електродвигуна, потужність якого  $P_{\partial}$  близька до потрібної  $P'_{\partial}$ . Дані заносимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри ТЕД проектного тепловоза

Параметр	Значення
Марка ТЕД	ЭДУ-133ПЧ
Потужність ТЕД $P_{\partial}$ , кВт	113
Частота обертання тривалого режиму $n_{\partial\infty}$ , хв <sup>-1</sup>	580
Частота максимального режиму $n_{\partial\max}$ , хв <sup>-1</sup>	2290
ККД $\eta_{\partial}$ , %	91
Маса, кг	3100

По значенню  $N'_e$  обираємо тяговий генератор. Дані зводимо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри генератора проектного тепловоза

Параметр	Значення
Марка генератора	LSA 49.3 S4
Потужність $P_G$ , кВт	524
Частота обертання якоря $n_G$ , хв <sup>-1</sup>	1500
Маса, кг	2525

## 2.6 Розрахунок накопичувача енергії

Головним елементом гібридної системи є накопичувач енергії на основі літій-іонних акумуляторних батарей та електрохімічних конденсаторів. Такі конденсатори зветься суперконденсаторів, які володіють величезними перевагами

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перед аналогічними акумуляторами різних видів.

Переваги суперконденсаторів наступні:

- найбільша щільність потужності з усіх різновидів акумуляторів - як об'ємна, так і вагова;

- ресурс експлуатації складає понад 10 років (близько 100000 циклів заряду/розряду);

- дуже швидкий процес заряду батарей - до 100% ємності від 15 до 40 хвилин;

- немає необхідності в обслуговуванні - суперконденсатори герметичні;

- найнижчий показник саморозряда - до 10% в місяць;

- можливість роботи при низьких температурах без істотного зниження характеристик;

- можливість отримання великих пускових струмів.

Електрична схема накопичувача енергії та характер струму при його заряді-розряді представлені на рисунках 2.5 та 2.6.

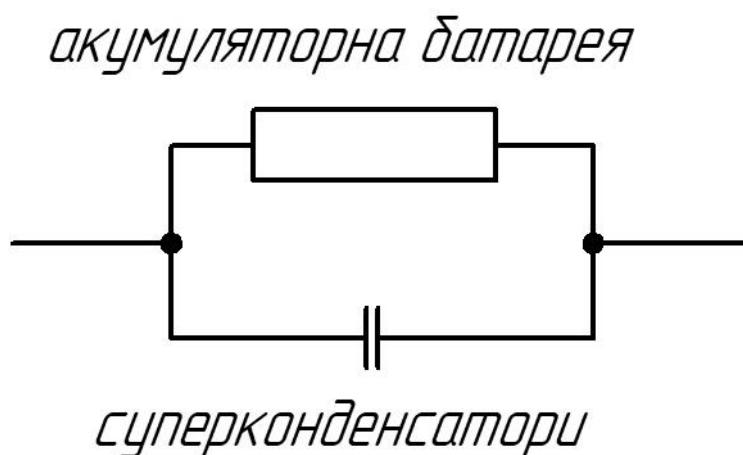


Рисунок 2.5 - Електрична схема накопичувача енергії

Енергія  $W$ , Дж, яка накоплена в накопичувачі, дорівнює:

$$W = \frac{CU^2}{2}, \quad (2.8)$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $C$  – ємність накопичувача, Ф;

$U$  – напруга, В.

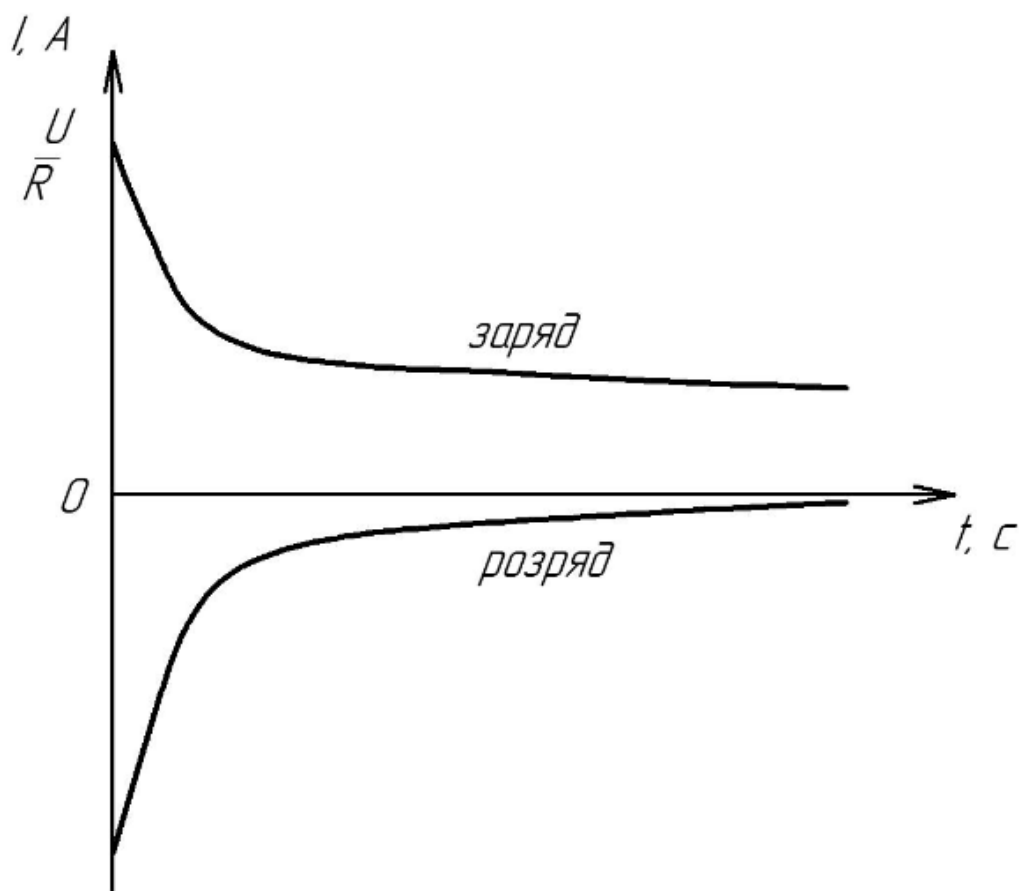


Рисунок 2.6 – Характер струму при заряді-розряді накопичувача

Як було розраховано вище, потужність силової установки тепловоза становить 880 кВт. Із них 576 кВт отримуємо від дизеля. Відповідно решту 304 кВт буда надавати накопичувач енергії. Розрахуємо, яку кількість енергії повинен мати накопичувач, щоб забезпечити роботу тепловоза на протязі 0,5 год.

$$W = \frac{N_{\text{нак}} \cdot t}{3,6}, \quad (2.9)$$

$$W = \frac{304 \cdot 0,5}{3,6} = 42 \text{ МДж.}$$

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Доцільним є установка осередків накопичувача рівномірно по всій площі кузова локомотива. Вибране розташування накопичувачів не порушує розважування і спрощує їх монтаж, при цьому не порушуються габаритні розміри для рухомого складу. При такій кількості необхідної енергії маса накопичувача складе приблизно 1 т.

## 2.7 Визначення параметрів тягового осьового редуктора

Основним параметром тягового осьового редуктора є передаточне число:

$$\mu = \frac{z_2}{z_1}, \quad (2.10)$$

де  $z_1$  – число зубців веденої шестерні (зубчастого колеса);

$z_2$  – число зубців ведучої шестерні.

Передаточне число за умови забезпечення заданої швидкості  $V_p$  на розрахунковому підйомі:

$$\mu_1 = \frac{F_{\partial\infty} \cdot D_k}{2M_{\partial\infty}}, \quad (2.11)$$

де  $F_{\partial\infty}$  – тривала сила тяги одного КМБ, кН;

$D_k$  – діаметр рушійних коліс тепловозу по колу кочення, м;

$M_{\partial\infty}$  – момент обертання на валу якоря ТЕД у тривалому режимі, кН·м.

Тривала сила тяги одного КМБ  $F_{\partial\infty}$ , кН:

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\partial\infty} = \frac{F_{\partial p}}{\kappa}, \quad (2.12)$$

$$F_{\partial\infty} = \frac{210,13}{6} = 35 \text{ кН.}$$

Тривалий момент  $M_{\partial\infty}$ , кН·м, на валу ТЕД визначається виходячи з потужності  $P_{\partial}$  і частоти обертання якоря у тривалому режимі роботи ТЕД:

$$M_{\partial\infty} = 9,5 \frac{P_{\partial}}{n_{\partial\infty}}, \quad (2.13)$$

$$M_{\partial\infty} = 9,5 \cdot \frac{113}{580} = 1,85 \text{ кН·м,}$$

$$\mu_1 = \frac{35 \cdot 1,05}{2 \cdot 1,85} = 9,93.$$

Отримане значення передаточного числа  $\mu_1$  перевіряємо по найбільшій частоті обертання якоря ТЕД під час руху тепловоза з конструкційною швидкістю  $V_{\kappa}$ .

Максимальна частота обертання коліс тепловоза  $n_{\kappa}$ , хв<sup>-1</sup>:

$$n_{\kappa} = \frac{1000 \cdot V_{\kappa}}{60 \cdot \pi \cdot D_{\kappa}}, \quad (2.14)$$

$$n_{\kappa} = \frac{1000 \cdot 95}{60 \cdot 3,14 \cdot 1,05} = 480 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне число за умови, що при конструкційній швидкості руху тепловоза частота обертання якоря ТЕД не перевищує частоту обертання, що допускається заводом-виробником.

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu_2 = \frac{n_{\partial \max}}{n_k}, \quad (2.15)$$

$$\mu_2 = \frac{2290}{480} = 4,77.$$

З двох отриманих значень  $\mu_1$  і  $\mu_2$  приймаємо менше, тобто:  $\mu_2 = 4,77$ .

Остаточне передаточне число приймаємо таким, щоб довжина централі А (відстань між осями ТЕД і колісною парою) у порівнянні з аналогічним параметром базового тепловоза залишалася незмінною. Відстань  $A = 468,8$  мм.

Для прийнятих значень довжини централі А і модуля зчеплення  $m$  необхідно визначити сумарне число зубців тягового редуктора. А потім число зубців ведучої  $z_1$  і веденої  $z_2$  шестерень.

Ці параметри тягового редуктора зв'язані між собою рівнянням

$$A = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2}, \quad (2.16)$$

де  $m$  – модуль зчеплення, значення якого приймається по базовому тепловозу,

$$m = 11.$$

Складаємо систему рівнянь і розв'язуємо її відносно двох невідомих  $z_1$  і  $z_2$ . Отримані значення округлюються до цілого числа, а потім встановлюється остаточне розрахункове значення передаточного числа.

Бажано, щоб  $z_1$  і  $z_2$  мали парну і непарну кількість зубців. Після проведених розрахунків отримуємо:

$$z_1 = 15, z_2 = 72, \mu_p = 4,77.$$

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільша частота обертання якоря ТЕД при конструкційній швидкості руху проектного тепловоза:

$$n_{\partial\infty}^p = n_k \cdot \mu_p. \quad (2.17)$$

Отримане значення не повинно перевищувати частоту обертання, що допускається заводом-виробником, тобто:

$$n_{\partial\max}^p \leq n_{\partial\max}, \quad (2.18)$$

$$n_{\partial\max}^p = 480 \cdot 4,77 = 2290 \leq n_{\partial\max} = 2290.$$

Розрахункова сила тяги тепловоза  $F_{\partial}$ , що відповідає тривалому струму ТЕД, уточнюється по остаточно прийнятому значенню  $\mu_p$ :

$$F_{\partial} = \frac{2 \cdot M_{\partial\infty} \cdot \mu_p \cdot \kappa}{D_k}, \quad (2.19)$$

$$F_{\partial} = \frac{2 \cdot 1,85 \cdot 4,77 \cdot 6}{1,05} = 100,8 \text{ кН.}$$

Відстань від нижньої частини кожуха до головки рейки при нових бандажах колісних пар визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{D_k - (m \cdot z_2 + 2c)}{2} \geq 120-130 \text{ мм}, \quad (2.20)$$

де  $c = 18 - 25$  мм – відстань від торця зубців веденої шестерні (зубчастого колеса) до нижньої поверхні кожуха.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta = \frac{1050 - (11 \cdot 72 + 2 \cdot 18)}{2} = 130 \geq 120 \dots 130 \text{ мм.}$$

## 2.8 Розрахунок і побудова електромеханічних характеристик ТЕД

Розрахунок і побудова електромеханічних характеристик ТЕД, це побудова залежностей:

$$M_{\text{дв}} = f(I_{\text{дв}}), \quad n_{\text{дв}} = f(I_{\text{дв}}). \quad (2.21)$$

Побудову електромеханічних характеристик ТЕД необхідно починати з вибору заводських характеристик двигуна, що близький по потужності до потрібної  $P'_{\text{дв}}$ .

В основі метода перерахування лежить положення, відповідно якому при реалізації тривалої потужності ККД різноманітних по потужності двигунів практично однакові та становлять 0,91-0,92. Характер залежностей залишається колишнім, а змінюється тільки чисельне значення величини обертового моменту та частоти обертання.

Для побудови електромеханічних характеристик ТЕД використовують співвідношення:

$$\frac{M_{\text{двп}}}{M_{\text{двб}}}, \frac{n_{\text{двп}}}{n_{\text{двб}}}, \frac{P_{\text{двп}}}{P_{\text{двб}}}, \quad (2.22)$$

де індекси «п» і «б» – позначають належність параметра відповідно до проектного та базового тепловоза.

Беручи до уваги залежності параметрів:

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{дв}} = 9,5 \cdot \frac{P_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} \quad \text{і} \quad n_{\text{дв}} = \frac{1000 \cdot V \cdot \mu_{\text{р}}}{60 \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}}, \quad (2.23)$$

Можна представити співвідношення обертальних моментів і частот обертання якорів ТЕД проектного та базового тепловоза через відомі або раніше визначені параметри

$$\frac{M_{\text{двп}}}{M_{\text{двб}}} = \frac{P_{\text{двп}}}{P_{\text{двб}}} \cdot \frac{V_{\text{б}}}{V_{\text{п}}} \cdot \frac{\mu_{\text{б}}}{\mu_{\text{р}}} \cdot \frac{D_{\text{кп}}}{D_{\text{кб}}}; \quad \frac{n_{\text{двп}}}{n_{\text{двб}}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{б}}} \cdot \frac{\mu_{\text{р}}}{\mu_{\text{б}}} \cdot \frac{D_{\text{кб}}}{D_{\text{кп}}}. \quad (2.24)$$

В результаті підстановки та наступних обчислень правих частин рівнянь (2.24), отримаємо

$$\frac{M_{\text{двп}}}{M_{\text{двб}}} = \overline{M}_{\text{дв}} \quad \text{і} \quad \frac{n_{\text{двп}}}{n_{\text{двб}}} = \overline{n}_{\text{дв}}, \quad (2.25)$$

де  $\overline{M}_{\text{дв}}$ ,  $\overline{n}_{\text{дв}}$  – постійні, які не враховують можливості зміни режимів.

Послідовність перерахунку електромеханічних характеристик на необхідну потужність з урахуванням заданої глибини послаблення магнітного поля ТЕД наступна:

1) на обраних електромеханічних характеристиках ТЕД необхідно задатися декількома (не менш п'яти) значеннями сили струму;

2) знайти  $M_{\text{двб}}$  і  $n_{\text{двб}}$ , що відповідають прийнятим значенням  $I_{\text{д}}$ ; послідовно визначити  $\overline{M}_{\text{дв}}$ ,  $M_{\text{двп}}$ , а потім  $\overline{n}_{\text{дв}}$ ,  $n_{\text{двп}}$  для кожного прийнятого значення струму  $I_{\text{дв}}$ .

На першому етапі розрахунку електротягових характеристик колісно-моторного блоку необхідно прийняти  $\alpha_n = \alpha_{\text{б}}$ .

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок електромеханічних характеристик ТЕД будемо виконувати для двох режимів роботи силової установки тепловоза:

1) силова установка працює на повну потужність, тобто працює дизель та накопичувач енергії. Тоді:

$$\overline{M}_{\text{дв}} = \frac{113}{113} \cdot \frac{100}{95} \cdot \frac{4,53}{4,77} \cdot \frac{1050}{1050} = 1,0,$$

$$\overline{n}_{\text{дв}} = \frac{100}{95} \cdot \frac{4,53}{4,77} \cdot \frac{1050}{1050} = 1,0.$$

2) силова установка працює на 65% від повної потужності, тобто працює тільки дизель. Тоді:

$$\overline{M}_{\text{дв}} = 0,65 \cdot \frac{113}{113} \cdot \frac{100}{95} \cdot \frac{4,43}{4,77} \cdot \frac{1050}{1050} = 0,65,$$

$$\overline{n}_{\text{дв}} = \frac{100}{95} \cdot \frac{4,53}{4,77} \cdot \frac{1050}{1050} = 1,0.$$

Результати розрахунку електромеханічних характеристик тягового електродвигуна зводимо в таблиці 2.2 – 2.3. За результатами розрахунку будемо електромеханічні характеристики ТЕД проектного тепловоза (рисунок 2.7).

## 2.9 Розрахунок і побудова електротягових характеристик колісно-моторного блоку

Електротяговими характеристиками називаються залежності дотичної сили тяги  $F_{\text{дв}}$  одного колісно-моторного блоку (КМБ) та швидкості руху тепловоза від струму навантаження ТЕД  $I_{\text{дв}}$ .

Ці характеристики будуються для сформованого колісно-моторного блоку,

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який включає тяговий електродвигун, колісну пару та тяговий редуктор.

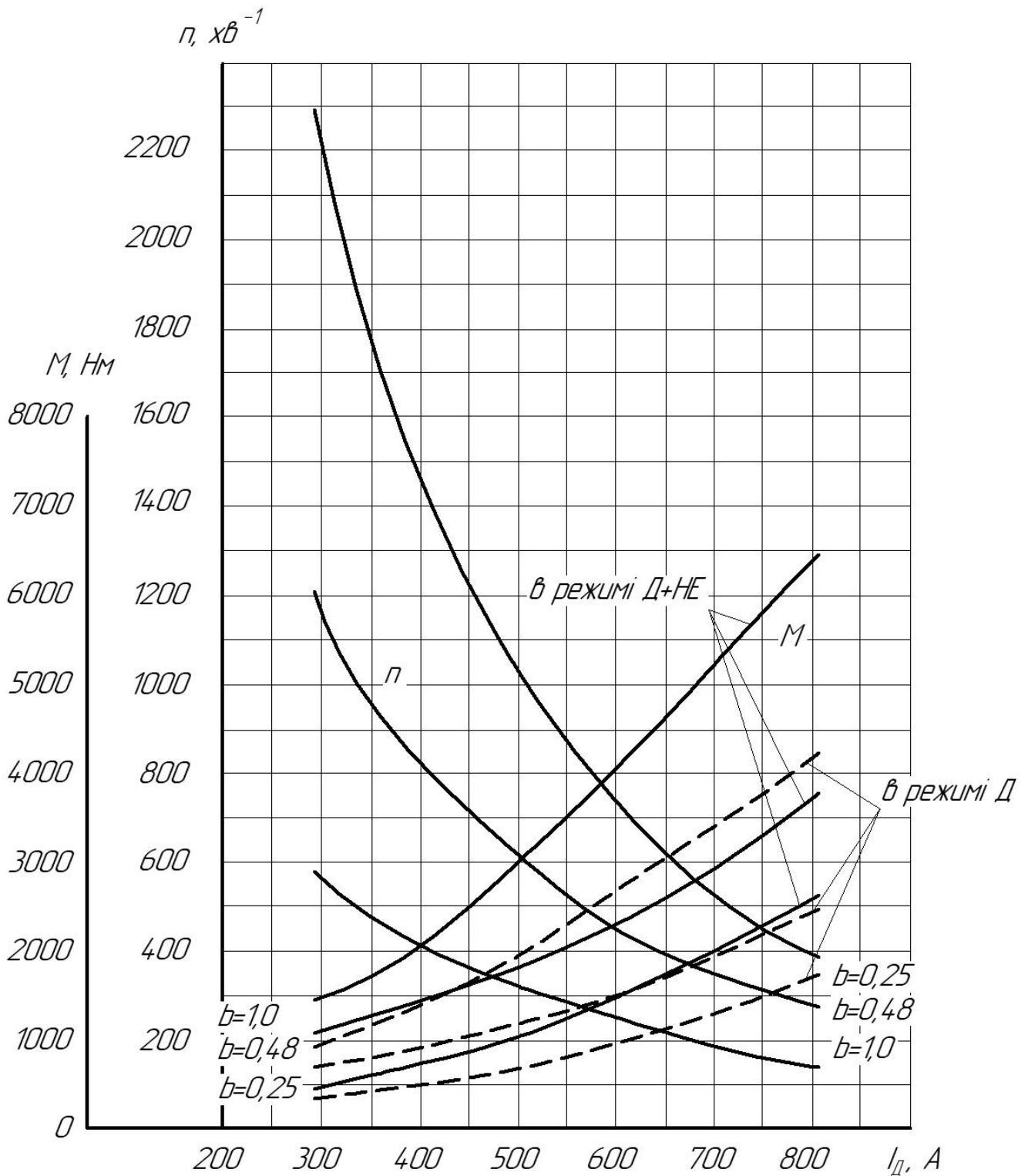


Рисунок 2.7 – Електромеханічні характеристики ТЕД модернізованого ЧМЭЗ

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електротягові характеристики колісно-моторного блоку проектного тепловоза розраховуються у такій послідовності.

1) необхідно задатися значеннями струму  $I_{\text{об}}$  для всіх трьох режимів роботи ТЕД (ПП - повне поле, ОП1 - послаблене поле першої ступені, ОП2 - послаблене поле другої ступені);

2) для обраних (не менш п'яти) значень струму  $I_{\text{об}}$  по електромеханічним характеристикам, що розраховані та побудовані раніше, необхідно знайти відповідні їм значення;

Визначити значення  $F_{\text{двп}}$  і  $V_{\text{двп}}$ , використовуючи при цьому залежності:

$$F_{\text{двп}} = \frac{2 \cdot \mu_p \cdot M_{\text{двп}}}{D_k} \cdot \eta_M, \quad (2.26)$$

$$V_{\text{двп}} = \frac{60 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n_{\text{двп}}}{1000 \cdot \mu_p} \quad (2.27)$$

На першому етапі розрахунку електротягових характеристик необхідно прийняти  $\alpha_n = \alpha_0$ . Якщо в ході розрахунку швидкість не досягає заданого значення  $V_k$ , то потрібно змінити  $\alpha_n$  для ОП2.

Результати розрахунку електротягових характеристик оформляємо у вигляді таблиць 2.4-2.5. За результатами розрахунку будуємо електротягові характеристики колісно-моторного блоку проектного тепловоза (рисунок 2.8).

## 2.10 Розрахунок і побудова тягової характеристики тепловоза

Тяговою характеристикою тепловоза називається графічна залежність дотичної сили тяги тепловоза  $F_k$  від швидкості його руху  $V$  при заданій (фіксованій) потужності силової установки.

						0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

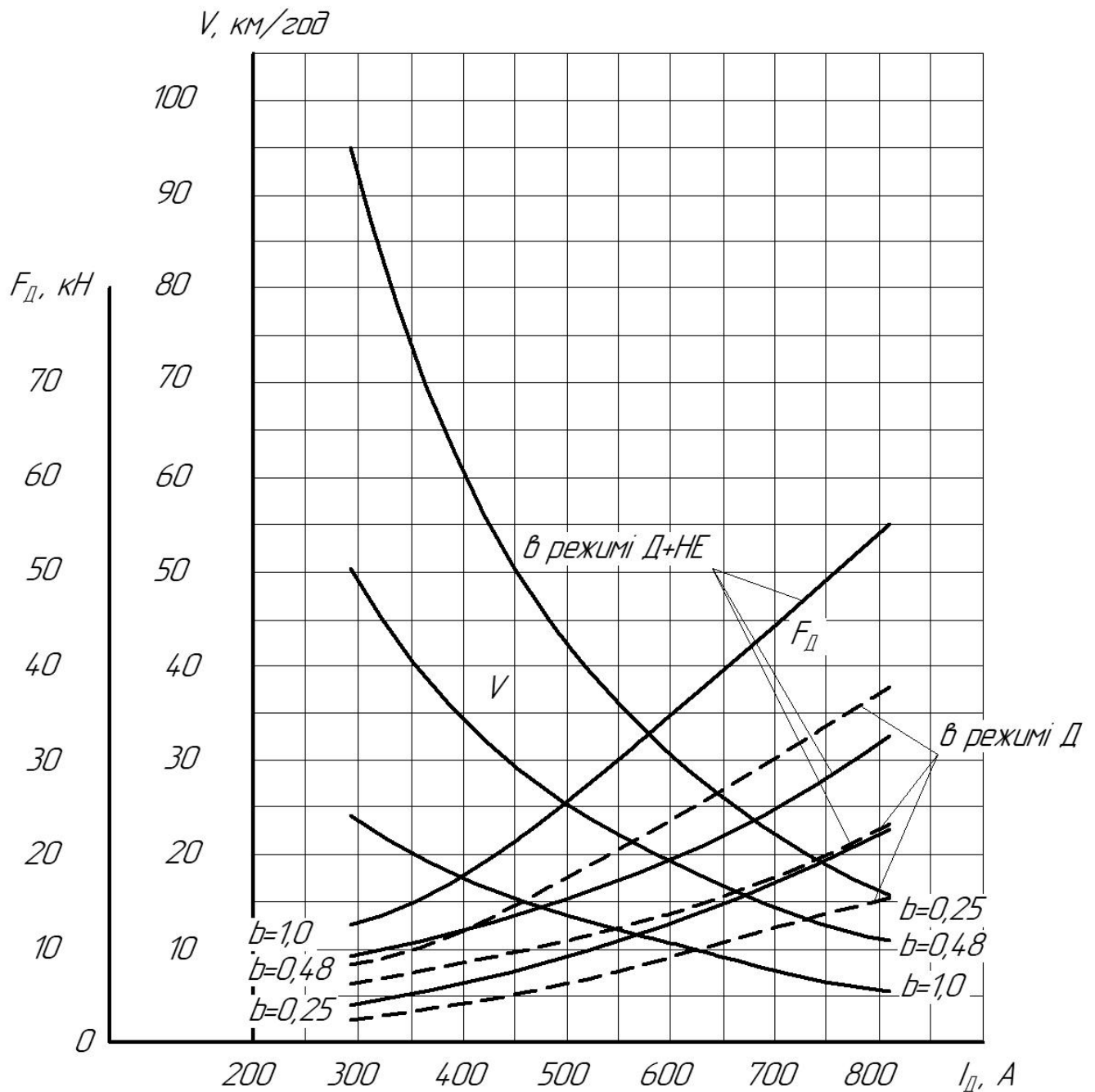


Рисунок 2.8 – Електротягові характеристики КМБ модернізованого ЧМЭЗ

Тягова характеристика розраховується та будується шляхом використання побудованих раніше електротягових характеристик.

По кривий швидкості  $V = f(I_{\Delta})$  для кожного значення швидкості тепловоза визначається струм  $I_{\Delta}$ , а по кривий  $F_{\Delta} = f(I_{\Delta})$  - відповідну цьому струму сила тяги одного колісно-моторного блока  $F_{\Delta}$ .

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила тяги секції тепловоза:

$$F_{\delta} = \frac{F_{\delta a} \cdot k}{n_c}. \quad (2.28)$$

Для визначення швидкості переходу з одного режиму роботи ТЕД на наступний використовується співвідношення:

$$V_n = V_{\delta} \cdot \frac{\mu_{\delta}}{\mu_p}, \quad (2.29)$$

де  $V_n, V_{\delta}$  - швидкості переходів з одного режиму на наступний відповідно проектного та базового тепловозів, км/год.

- для «ПП» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 13 \cdot \frac{4,53}{4,77} = 12,5 \text{ км/год};$$

- для «ОП1» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 20 \cdot \frac{4,53}{4,77} = 19 \text{ км/год};$$

- для «ОП2» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 22 \cdot \frac{4,53}{4,77} = 21 \text{ км/год};$$

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для «ОП - ПП» з'єднання ТВД:

$$V_n = 29 \cdot \frac{4,53}{4,77} = 27,5 \text{ км/год.}$$

Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза представлені в таблицях 2.6 та 2.7. За результатами розрахунку побудована тягова характеристика тепловоза (рисунок 2.9).

Для визначення обмеження за зчепленням коліс з рейками необхідно розрахувати та побудувати залежність  $F_{кзч} = f(V)$  [10]. При цьому:

$$F_{кзч} = P_{зч} \cdot \psi_p, \quad (2.30)$$

$$\psi_p = 0,118 + \frac{5}{27,5 + V}.$$

Результати розрахунку зведемо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку обмеження сили тяги по зчепленню коліс з рейками

$V$ , км/год	0	5	10	15	20
$\psi_p$	0,3	0,272	0,251	0,236	0,223
$F_{кзч}$ , кН	378	342	316	297	281

### 2.11 Розрахунок і побудова техніко-економічних характеристик тепловоза

Одним із основних техніко-економічних показників тепловоза, що проектується, є його ККД  $\eta_m$  [11].

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

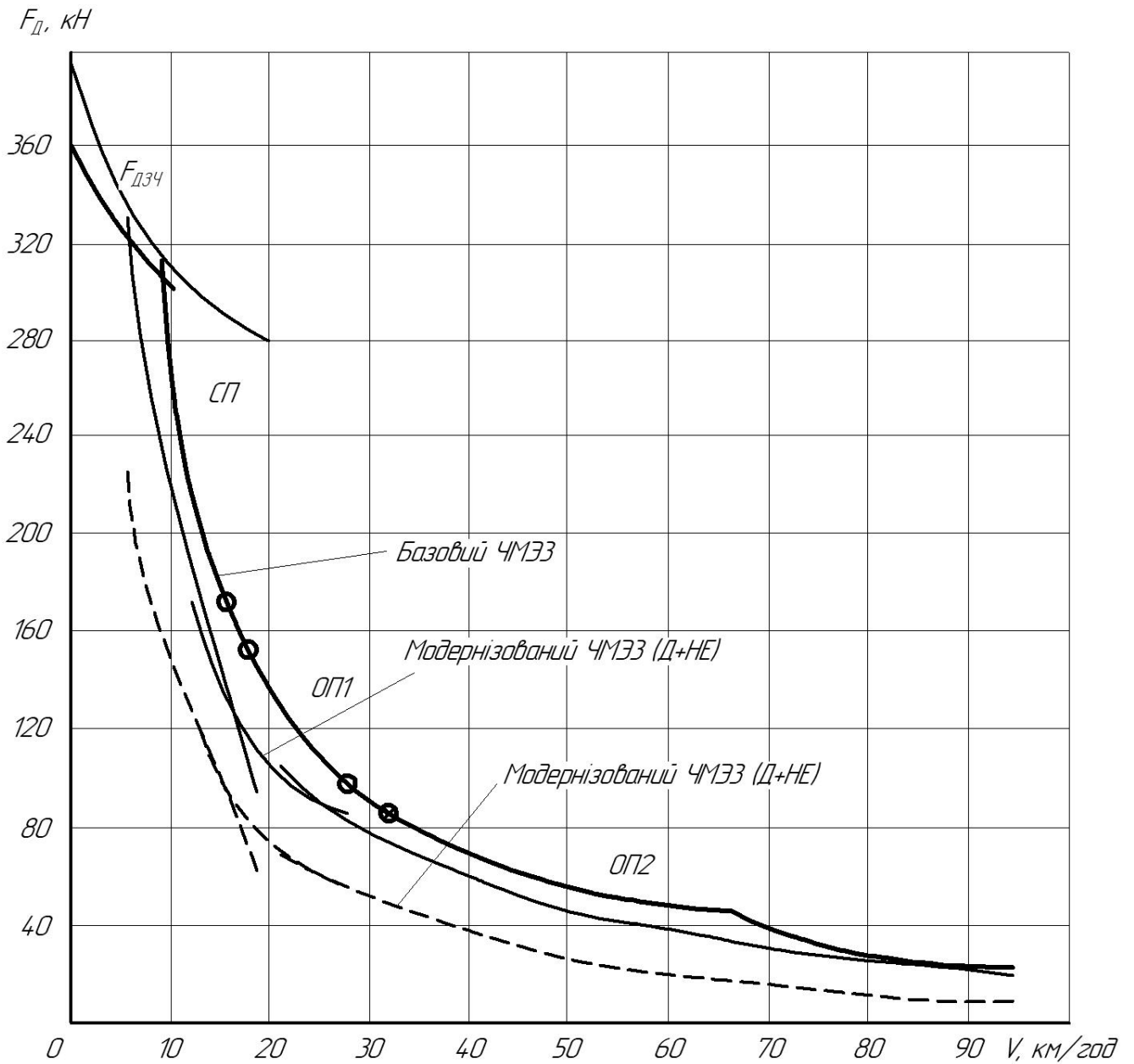


Рисунок 2.9 – Тягові характеристики базового та модернізованого ЧМЭЗ

$$\eta_m = \frac{3600 \cdot N_k}{B_2 \cdot H_u}, \quad (2.31)$$

де  $N_k$  – дотична потужність тепловоза, кВт;

$B_2$  – годинна витрата палива, кг/год;

$H_u$  – питома теплота згоряння палива,  $H_u = 42500$  кДж/кг.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дотична потужність секції тепловоза  $N_{\kappa}$ , кВт, залежно від швидкості його руху визначається зі співвідношення:

$$N_{\kappa} = \frac{F_{\kappa} \cdot V}{3,6}. \quad (2.32)$$

Величина сили тяги визначається по тяговій характеристиці секції проектного тепловоза для всіх трьох ступенів ослаблення поля ТЕД в інтервалі швидкості руху тепловоза від 0 до  $V_{\kappa}$ .

Годинна витрата палива, кг/год, визначається з виразу:

$$B_2 = b_e \cdot N_e, \quad (2.33)$$

де  $b_e$  – питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год), приймається залежно від типу вибраного дизеля.

ККД передачі  $\eta_n$  визначається за формулою:

$$\eta_n = \frac{N_{\kappa}}{N_e - \sum N_{\text{дон}}}. \quad (2.34)$$

Результати розрахунку параметрів  $N_{\kappa}$ ,  $\eta_n$ ,  $\eta_m$ , а також значення  $N_e$  і  $B_2$  зводимо в таблиці 2.9 та 2.10. За результатами розрахунку будемо техніко-економічні характеристики тепловоза (рисунок 2.10-2.11).

## 2.12 Розміщення обладнання тепловоза та його розважування

При компонованні обладнання необхідно забезпечити наступне:

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

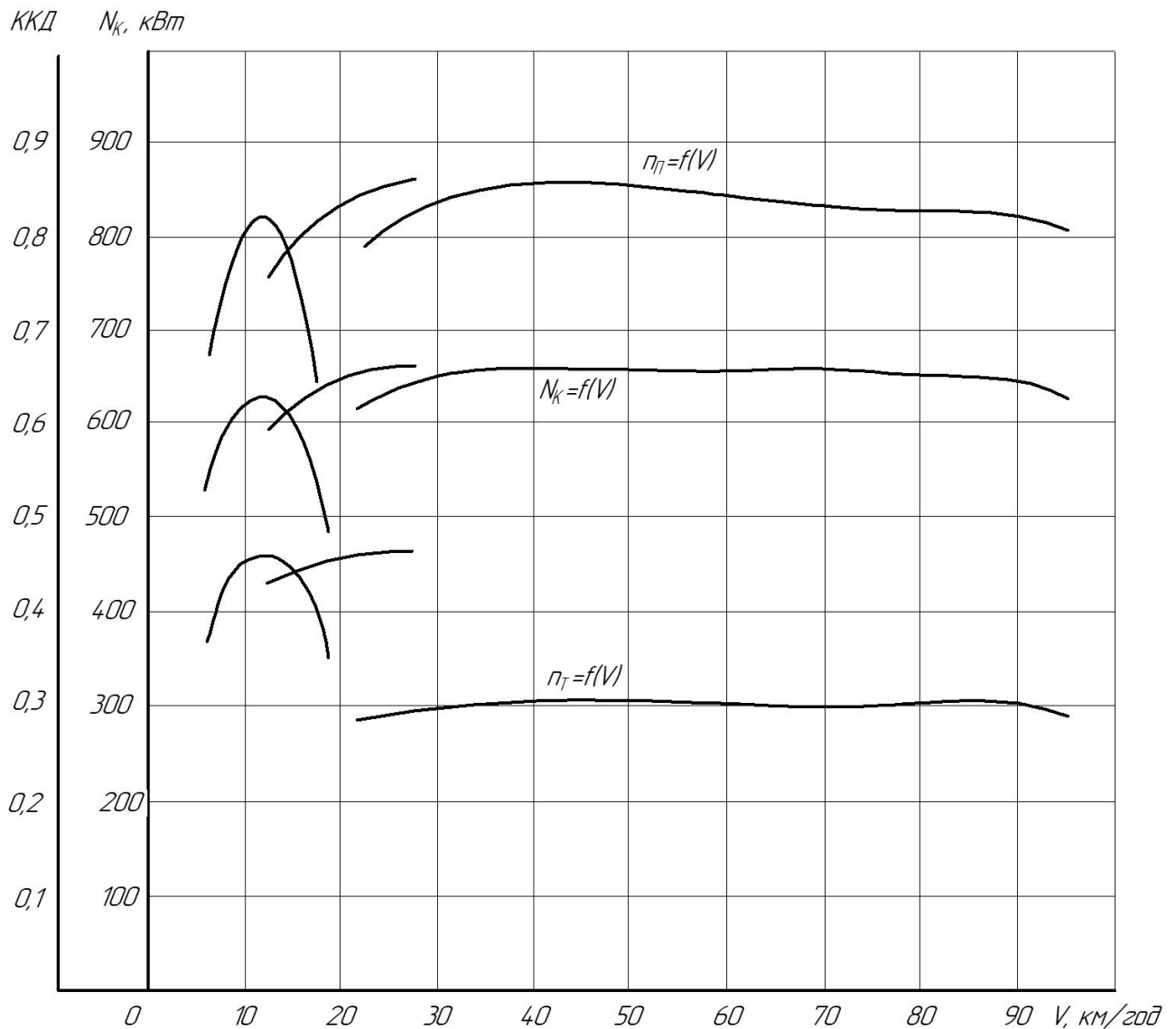


Рисунок 2.10 – Техніко-економічні характеристики модернізованого ЧМЭЗ  
в режимі роботи дизель + накопичувач енергії

- рівномірність розподілу навантаження на рейки від рушійних колісних пар;
- мінімальну довжину екіпажної частини, малогабаритність і компактність складальних одиниць;
- зручність монтажу і доступність обслуговування обладнання;
- простоту конструкцій елементів робочих зв'язків силового і допоміжного обладнання;
- високу технологічність конструкції;
- оптимальні умови роботи локомотивних бригад і ремонтного персоналу.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ККД  $N_k, \text{кВт}$

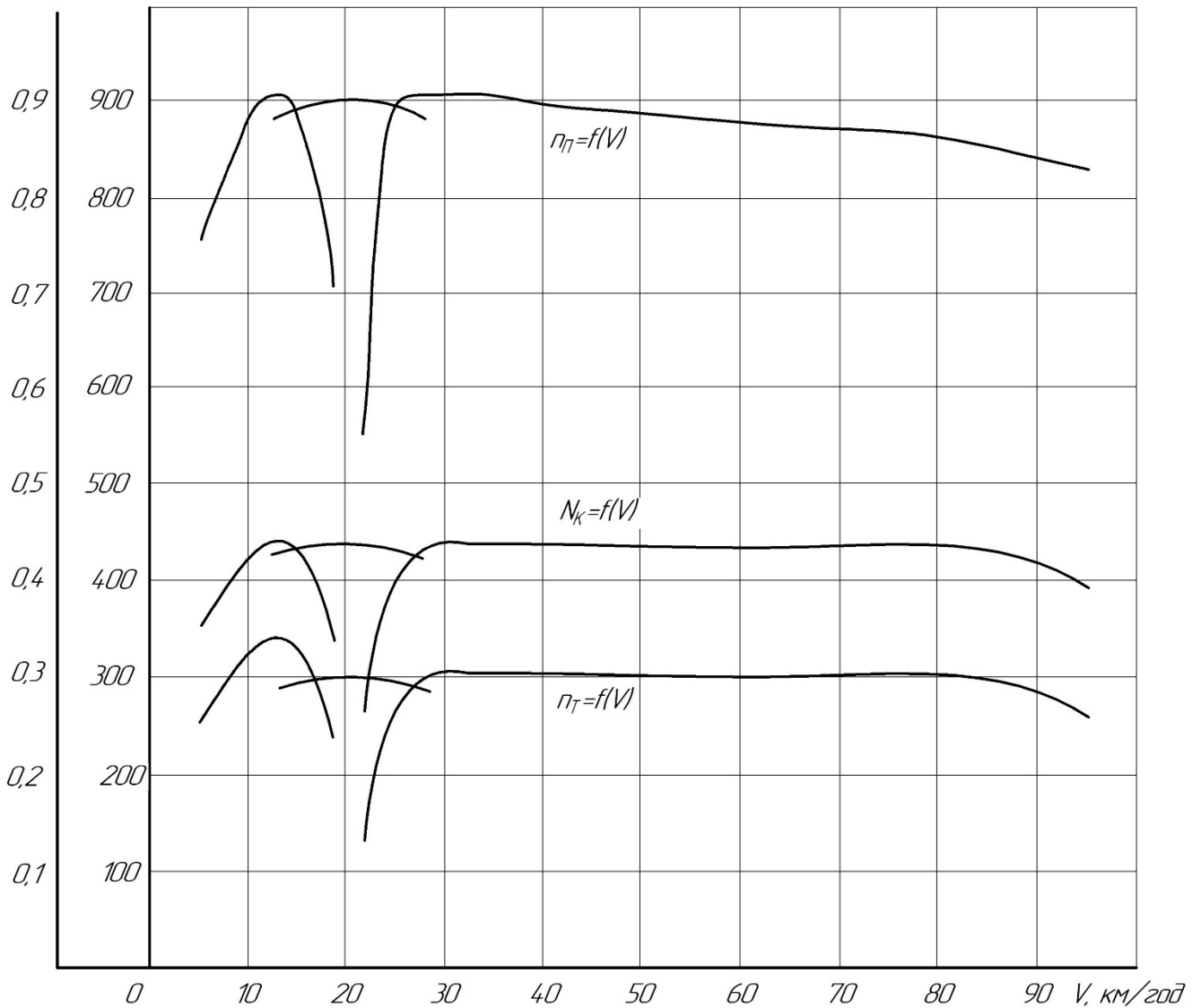


Рисунок 2.11 – Техніко-економічні характеристики модернізованого ЧМЭЗ в режимі роботи дизель

Крім того, на компоновку локомотива впливають його призначення, умови експлуатації, габаритні обмеження, рівень технічної і технологічної досконалості виробництва, сучасні тенденції розвитку вітчизняного і зарубіжного локомотивобудування.

Основне призначення розвішування тепловоза полягає в розміщенні вибраного обладнання локомотива таким чином, щоб забезпечити задані навантаження коліс на рейки. Якщо у тепловоза все осі ведучі, то навантаження на кожну вісь повинна бути однаковою, що забезпечує найкраще використання

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зчіпного ваги тепловоза.

Впровадження НЕ на тепловозах відбувається спільно із застосуванням рекуперативного гальмування, власне для цієї мети і необхідні накопичувачі. Зберігання та розподіл виробленої енергії від рекуперативного гальмування є головною функцією НЕ.

Дане впровадження можливе при застосуванні так званого «гібридного приводу» на тепловозах. Під поняттям «гібридний привід» мається на увазі використання двох і більше різних силових установок, під рекуперативним гальмуванням розуміють вид електричного гальмування, при якому не задіяна пневматична система локомотива, при цьому тягові двигуни переходять у генераторний режим, а вироблювана ними електроенергія може бути корисно використана. З метою визначення правильності виконання розвішування тепловоза, дотримання габаритних розмірів, з урахуванням розміщення додаткового обладнання на тепловозі (НЕ) проводиться розрахунок параметрів накопичувачів енергії.

При подовжньому розважуванні над візкової будови тепловоз представляється як плоска система вертикальних сил, що створюються вагами вузлів і груп деталей, що знаходяться в статичній рівновазі. При цьому розглядаються наступні категорії навантажень:

$G_i$  – вага вузлів (груп деталей), розташованих в кузові і на рамі, у тому числі ваги власне кузова і рами, кН;

$G_k$  – сумарна вага над візкової будови тепловоза, тобто кузова і рами з устаткуванням, кН;

$G_{kn}$  та  $G_{kz}$  – навантаження від кузова і рами з устаткуванням на опори відповідно до переднього і заднього візка, кН;

$G_m$  – вага візка, кН;

$G_n$  – підресорена вага секції тепловоза, кН;

$G_h$  – без пружинна вага секції тепловоза (вага колісних пар, букс, частина

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ваги тягових електродвигунів при опорно-осьової підвісці, частина ваги підвішування і кожухів осьових редукторів), що жорстко передається на шлях, кН;

$G_{nm}$  – підресорена вага одного візка, кН;

$G_{nm}$  – без пружинна вага, що приходиться на один візок, кН;

$P_{зч}$  – службова вага секції тепловоза, кН; у тепловозів, що мають усі рушійні колісні пари, ця вага співпадає із зчіпною вагою;

$P_{cp}$  – середнє навантаження від колісної пари на рейки, кН;

$P_n$  та  $P_з$  – повне навантаження на рейки від колісної пари передньої і задньої візків, кН;

$P_{nn}$  та  $P_{nz}$  – підресорене навантаження, що доводиться на одну колісну пару передньої і задньої візків, кН;

$P_{nn}$  та  $P_{nz}$  – без пружинне навантаження, що доводиться на рейки від колісної пари передньої і задньої візків, кН.

Основа для розрахунку подовжнього розважування являється схема екіпажної частини з необхідними розмірами і вагова відомість тепловоза. У ваговій відомості наводяться ваги вузлів (груп деталей), розташованих в кузові і на рамі, включаючи ваги самих кузовів і рами, ваги обох візків, без пружинна вага секції тепловоза, а також плечі моментів, тобто відстань від центрів тяжіння вузлів (груп деталей) по деякій системі вертикальних сил. Положення цієї осі може вибиратися довільно, у будь-якому перерізі системи вертикальних сил, проте прийнято її проводити через вісь переднього автозчеплення тепловоза.

Сумарна вага кузова і рами з устаткуванням визначається як сума вагів (груп деталей) по усій над візкової будові:

$$G_k = \sum_{i=1}^n G_i. \quad (2.35)$$

$$G_k = \sum_{i=1}^n G_i = 688,387 \text{ кН.}$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11 – Вагова відомість проектного тепловоза

Найменування вузла (групи деталей)	Вага, кН	Плече, м	Момент, кН·м
Дизель-генераторна група та накопичувач енергії	183	8,7	1566
Система охолодження і обігріву	50	3,18	159
Системи дизеля	22	8,4	184,8
Системи тепловоза	25	10,8	270
Допоміжне устаткування	15	11,5	172,5
Електроустаткування	38	14,7	558,6
Рама та кузов тепловоза з приладдям	387	9,48	3384,36
Допоміжні системи	10	7,83	78,3
Обслуговуюча вага	81	9,2	745,2
Надвізкова вага	816	-	7118,76
Візки (два)	444		
Непідресорна вага секції тепловоза	244		
Службова вага секції тепловоза	1260		

Службова вага секції тепловоза знаходиться як сума ваги надвізкової будови і обох візків

$$P_{зч} = G_{к} + 2G_{т}, \quad (2.36)$$

Сумарна вага кузова і рами з устаткуванням визначається як сума ваг (груп деталей) по усій надвізковій будові.

Службова вага секції тепловоза знаходиться як сума ваги над візкової будови і обох візків:

$$P_{зч} = G_{к} + 2G_{в}. \quad (2.37)$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки уся підресорена вага тепловоза зосереджена у вазі візків:

$$G_{ng} = G_g - \frac{G_n}{2}, \quad (2.38)$$

$$G_{ng} = \frac{444}{2} - \frac{244}{2} = 100 \text{ кН},$$

$$G_n = 816 + 2 \cdot 100 = 1016 \text{ кН},$$

$$P_{зч} = 816 + 444 = 1260 \text{ кН}.$$

Середнє навантаження від колісної пари на рейку визначається як частку від ділення службової ваги тепловоза на число його колісних пар  $m$ :

$$P_{cp} = \frac{P_{зч}}{m}, \quad (2.39)$$

$$P_{cp} = \frac{1260}{6} = 210 \text{ кН}.$$

Відповідно до вагової відомості записуємо в таблицю 2.11 статичні моменти, що створюються вагами вузлів (груп деталей) відносно умовної осі моментів:

$$M_i = G_i \cdot \ell_i, \quad (2.40)$$

а потім визначаємо координату центру тяжіння над візкової будови тепловоза відносно умовної осі моментів:

$$X_{цв} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{G_{\kappa}} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot \ell_i}{\sum_{i=1}^n G_i}, \quad (2.41)$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_{ув} = \frac{7118,76}{816} = 8,73 \text{ м.}$$

Навантаження від кузова і рами з устаткуванням на передню і задню візки визначаються обернено пропорційно до відстаней від центру тяжіння над візкової будови до умовних точок передачі вертикальних навантажень на візки:

$$G_{кп} = G_{к} \frac{a_3}{L_n}, \quad (2.42)$$

$$G_{кз} = G_{к} \frac{a_n}{L_n}, \quad (2.43)$$

де  $a_n$  та  $a_3$  – відстані від центру тяжіння над візкової будови до умовних точок передачі вертикальних навантажень на візки, м;

$L_n$  – відстань між умовними точками передачі вертикальних навантажень на візки, м.

$$a_n = X_{ув} - (C + D), \quad (2.44)$$

де  $C$  та  $D$  – розміри елементів візка, м.

Згідно [12] приймаємо  $L_n = 8,6$  м,  $C = 2,1$  м та  $D = 2,085$  м.

$$a_n = 8,58 - (2,1 + 2,085) = 4,395 \text{ м,}$$

$$a_3 = L_n - a_n, \quad (2.45)$$

$$a_3 = 8,6 - 4,395 = 4,205 \text{ м,}$$

$$G_{кз} = 816 \cdot \frac{4,395}{8,6} = 417 \text{ кН,}$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{кп} = 816 \cdot \frac{4,205}{8,6} = 399 \text{ кН.}$$

Усі види навантажень від колісної пари на рейки визначаються окремо для передньої і задньої візків, без урахування подовжнього розважування візків. Оскільки розважування візків не робилося і було прийнято, що їх підресорені і не підресорена вага розподіляється по колісних парах рівномірно, то підресорені навантаження, що приходять на одну колісну пару, можна вважати рівними:

- для переднього візка (при числі колісних пар):

$$P_{пн} = \frac{G_{кп}}{m_m} + \frac{G_{пм}}{m_m}, \quad (2.46)$$

$$P_{пн} = \frac{399}{3} + \frac{100}{3} = 166,3 \text{ кН.}$$

- для заднього візка (при числі колісних пар):

$$P_{пз} = \frac{G_{кз}}{m_m} + \frac{G_{пм}}{m_m}, \quad (2.47)$$

$$P_{пз} = \frac{417}{3} + \frac{100}{3} = 172,3 \text{ кН.}$$

Без пружинне навантаження від колісної пари на рейку для переднього і заднього візка вважається однаковою і визначається як частка від ділення без пружинної ваги тепловоза на число його колісних пар:

$$P_{пн} = P_{пз} = \frac{G_{п}}{m}, \quad (2.48)$$

$$P_{пн} = P_{пз} = \frac{244}{6} = 40,7 \text{ кН.}$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повне навантаження від колісної пари на рейку для переднього і заднього візка визначається як сума підресореного і без пружинного навантаження:

$$P_n = P_{nn} + P_{nn}, \quad (2.49)$$

$$P_n = 166,3 + 40,7 = 207 \text{ кН.}$$

$$P_z = P_{nz} + P_{nz}, \quad (2.50)$$

$$P_z = 172,3 + 40,7 = 213 \text{ кН.}$$

$$\Delta = \frac{P_z - P_n}{P_n} \cdot 100, \quad (2.51)$$

$$\Delta = \frac{213 - 207}{207} \cdot 100 = 2,9\% \leq 3\%.$$

Різниця навантажень від колісних пар на рейку передньої і задньої візків не перевищує 3%.

### 2.13 Порівняння базового та проектного тепловоза

В таблиці 2.12 наведені порівняльні дані базового тепловоза ЧМЭЗ та модернізованого.

**Висновки до розділу.** Були проаналізовані різні види накопичувачів енергії та можливість їх придатності до використання на рухомому складі. Для модернізації тепловоза ЧМЭЗ була запропонована передача змінно-постійного струму з накопичувачем енергії, який складеться з літій-іонних акумуляторних батарей та суперконденсаторів. Потужність силової установки тепловоза становить 880 кВт, з яких 576 кВт розвиває дизель типу MTU12V1600G20F, а решту 304 кВт – накопичувач енергії. Визначені основні параметри та тип тягового генератора та тягового електродвигуна. Розраховані та побудовані електромеханічні характеристики ТЕД, електротягові характеристики КМБ, тягова та техніко-економічні характеристики тепловоза при роботі силової установки в різних

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режимах. Виконаний розрахунок позовжнього розважування тепловоза.

Таблиця 2.12 – Порівняльні дані базового тепловоза та модернізованого ЧМЭЗ

Параметр	Величини ЧМЭЗ	
	базовий	модернізований
Тип силової установки	дизель K6S310DR	дизель – MTU12V1600G20F; накопичувач енергії – акумуляторні батареї та суперконденсатори
Потужність силової установки, кВт	993	дизель – 576; накопичувач енергії – 304.
Ресурс дизеля до капітального ремонту, год	40000	30000
Генератор	TD-802	LSA 49.3 S4
Потужність генератора, кВт	885	576
Тяговий електродвигун	TE-006	ЭДУ-133
Потужність тягового електродвигуна, кВт	134	113
Розрахункова швидкість, км/год	11,4	11,4
Розрахункова сила тяги, кН	225,6	195/129
Конструкційна швидкість, км/год	95	95
Розрахункова маса, т	123	126

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЗА СЕРІЇ 2ТЭ116

### 3.1 Визначення необхідної потужності силової установки

Для модернізованого двосекційного вантажного тепловозу приймемо масу локомотива  $m_l=270$  т та розрахункову силу тяги  $V_p=24,2$  км/год.

Коефіцієнт зчеплення коліс з рейками для тепловоза з електричною передачею змінно-постійного струму приймаємо  $\psi_{op}=0,2$ . Тоді розрахункова сила тяги:

$$F_{op} = F_{зч} = 9810 \cdot 270 \cdot 0,19 = 503200 \text{ Н.}$$

Розрахункова дотична потужність тепловоза:

$$P_{op} = \frac{503200 \cdot 24,2}{3600} = 3382 \text{ кВт.}$$

ККД передачі:

$$\eta_{II} = (0,93 \div 0,95) \cdot (0,91 \div 0,93) \cdot 0,985 \cdot 0,98 = 0,817 \div 0,852.$$

Приймаємо  $\eta_{II} = 0,84$ .

За визначеним значенням ККД передачі визначимо, яку тягову потужність  $P_p$  ми маємо в своєму розпорядженні:

$$P_p = \frac{3382}{0,84} = 4026 \text{ кВт,}$$

$$P'_e = \frac{4026}{1 - 0,1} = 4474 \text{ кВт.}$$

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з проведених розрахунків для модернізованого двосекційного вантажного тепловоза необхідна сумарна силова установка потужністю 4474 кВт.

Або дизель потужність 2237 кВт, який буде встановлений у кожній секції тепловоза.

### 3.2 Вибір дизеля проектного тепловоза

Виходячи з цих даних був підібраний дизель німецької фірми MTU модель MTU 20V4000G24F.

Дизельний двигун MTU 20V4000G24 (F) виробництва MTU Friedrichshafen GmbH (Німеччина) - 20-циліндровий, V-подібний, 4-тактний, з системою впорскування палива «Common-Rail» (електронне управління уприскуванням).

Двигун оснащений рідинної системою охолодження, системою турбонадува і проміжним охолоджувачем типу "вода-повітря", масляним теплообмінником, електронним блоком управління двигуна ADEC (регулювання оборотів, контроль і управління роботою двигуна, запобігання аварійним ситуаціям)

#### Технічна характеристика дизеля

Модель	MTU12V1600G20F
Число циліндрів	20
Розташування циліндрів	V- подібне
Діаметр циліндра, мм	170
Хід поршня, мм	210
Робочий об'єм, л	95,4
Міра стискування	16,5
Основна потужність, кВт	2260
Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв <sup>-1</sup>	1500
Питома витрата палива при 1500 хв <sup>-1</sup> , (г/кВт·год) :	
- при 100% потужності:	210

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата масла на угар, % від витрати палива, не більше	1
Масляні фільтри	багатоступінчастий масляний фільтр
Пусковий пристрій	електростартер 24 В
Система мастила, л	390
Система охолодження, л	205
Ресурс до капітального ремонту, г	30000
Маса двигуна, кг	9290

### 3.3 Визначення основних параметрів тягового генератора та тягових електродвигунів

Потрібна потужність тягового електродвигуна проектного тепловоза:

$$P_{op}' = \frac{3382}{0,985 \cdot 12} = 286 \text{ кВт.}$$

По потужності ТЕД, що розрахована, обираємо тип електродвигуна, потужність якого  $P_{\partial}$  близька до потрібної  $P_{op}'$ . Дані заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри ТЕД проектного тепловоза

Параметр	Значення
Марка ТЕД	ЭД-118
Потужність ТЕД $P_{\partial}$ , кВт	307
Частота обертання тривалого режиму $n_{\partial\infty}$ , хв <sup>-1</sup>	585
Частота максимального режиму $n_{\partial\max}$ , хв <sup>-1</sup>	2290
ККД $\eta_{\partial}$ , %	91
Маса, кг	3100

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По значенню  $N'_e$  обираємо тяговий генератор. Дані зводимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри генератора проектного тепловоза

Параметр	Значення
Марка генератора	LSA 52.3 L12
Потужність $P_{\Gamma}$ , кВт	2000
Частота обертання якоря $n_{\Gamma}$ , хв <sup>-1</sup>	1500
Маса, кг	8160

### 3.4 Визначення параметрів тягового осьового редуктора

Тривала сила тяги одного КМБ:

$$F_{\partial\infty} = \frac{503,2}{12} = 41,9 \text{ кН.}$$

Тривалий момент  $M_{\partial\infty}$ , кН·м, на валу ТЕД визначається виходячи з потужності  $P_{\partial}$  і частоти обертання якоря у тривалому режимі роботи ТЕД:

$$M_{\partial\infty} = 9,5 \cdot \frac{286}{585} = 4,98 \text{ кН·м.}$$

$$\mu_1 = \frac{41,9 \cdot 1,05}{2 \cdot 4,98} = 4,41.$$

Отримане значення передаточного числа  $\mu_1$  перевіряємо по найбільшій частоті обертання якоря ТЕД під час руху тепловоза з конструкційною швидкістю  $V_K$ .

Максимальна частота обертання коліс тепловоза  $n_k$ , хв<sup>-1</sup>:

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_k = \frac{1000 \cdot 100}{60 \cdot 3,14 \cdot 1,05} = 505,5 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне число за умови, що при конструкційній швидкості руху тепловоза частота обертання якоря ТЕД не перевищує частоту обертання, що допускається заводом-виробником.

$$\mu_2 = \frac{2290}{505,5} = 4,53.$$

З двох отриманих значень  $\mu_1$  і  $\mu_2$  приймаємо менше, тобто:  $\mu_2 = 4,41$ .

Остаточне передаточне число приймаємо таким, щоб довжина централі А (відстань між осями ТЕД і колісною парою) у порівнянні з аналогічним параметром базового тепловоза залишалася незмінною. Відстань  $A = 468,8$  мм.

Для прийнятих значень довжини централі А і модуля зчеплення  $m$  необхідно визначити сумарне число зубців тягового редуктора. А потім число зубців ведучої  $z_1$  і веденої  $z_2$  шестерень. Після проведених розрахунків отримуємо:

$$z_1 = 17, z_2 = 75, \mu_p = 4,41.$$

Отримане значення не повинно перевищувати частоту обертання, що допускається заводом-виробником, тобто:

$$n_{\partial \max}^p = 505,5 \cdot 4,41 = 2230 \leq n_{\partial \max} = 2290.$$

Розрахункова сила тяги тепловоза  $F_{\partial}$ , що відповідає тривалому струму ТЕД, уточнюється по остаточно прийнятому значенню  $\mu_p$ :

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\partial} = \frac{2 \cdot 4,98 \cdot 4,41 \cdot 12}{1,05} = 502 \text{ кН.}$$

Відстань від нижньої частини кожуха до головки рейки при нових бандажах колісних пар:

$$\Delta = \frac{1050 - (10 \cdot 75 + 2 \cdot 18)}{2} = 132 \geq 120 \dots 130 \text{ мм.}$$

### 3.5 Розрахунок і побудова електромеханічних характеристик ТЕД

$$\overline{M}_{\text{дв}} = \frac{286}{307} \cdot \frac{100}{100} \cdot \frac{4,41}{4,41} \cdot \frac{1050}{1050} = 0,932,$$

$$\overline{n}_{\text{дв}} = \frac{100}{100} \cdot \frac{4,41}{4,41} \cdot \frac{1050}{1050} = 1,0.$$

Результати розрахунку електромеханічних характеристик зводимо в таблицю 3.1.

За результатами розрахунку будемо електромеханічні характеристики ТЕД проектного тепловоза (рисунок 3.1).

### 3.6 Розрахунок і побудова електротягових характеристик колісно-моторного блоку

Результати розрахунку електротягових характеристик оформляємо у вигляді таблиці 3.2.

За результатами розрахунку будуємо електромеханічні характеристики колісно-моторного блоку проектного тепловоза (рисунок 3.2).

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

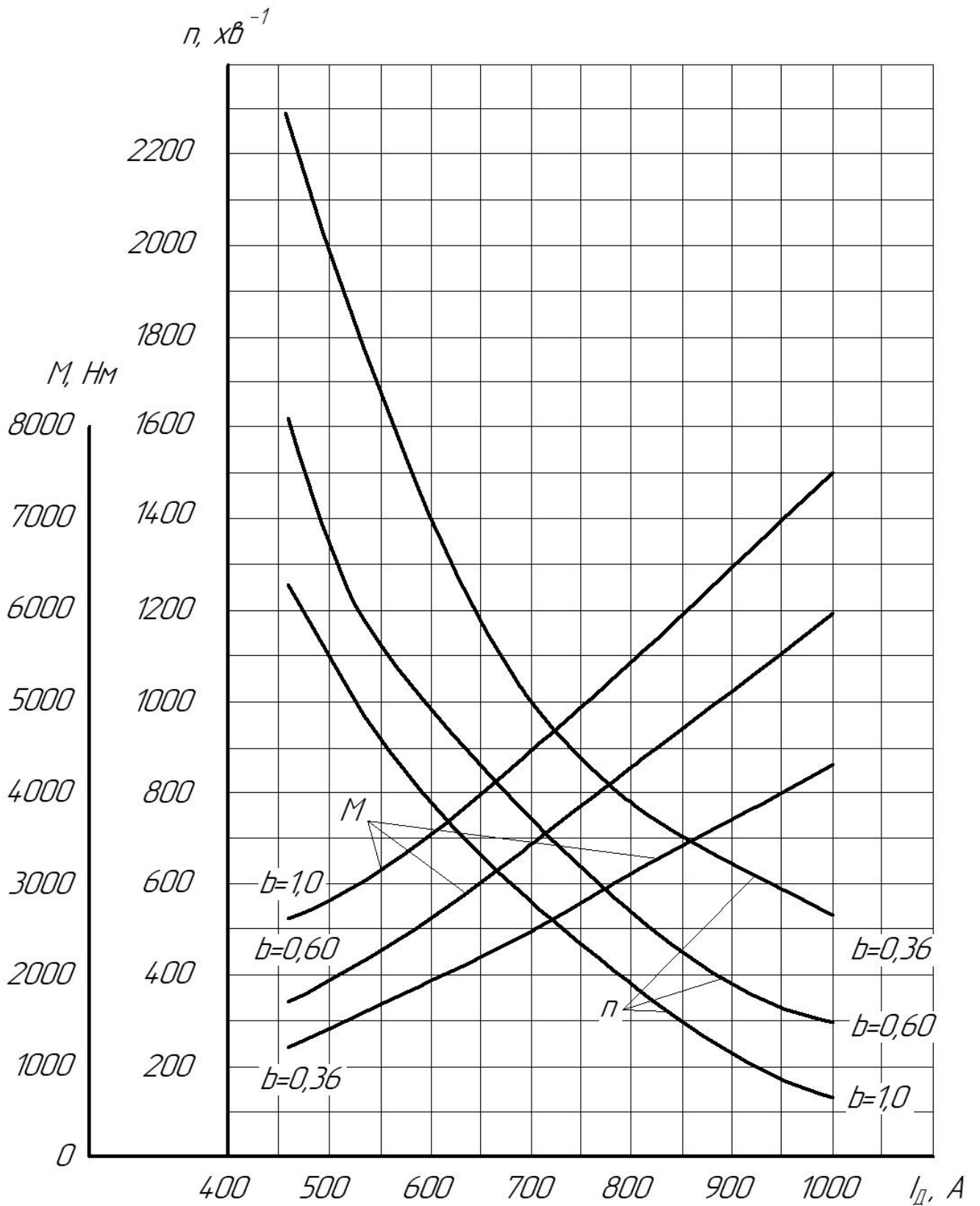


Рисунок 3.1 – Електромеханічні характеристики ТЕД модернізованого 2ТЭ116

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

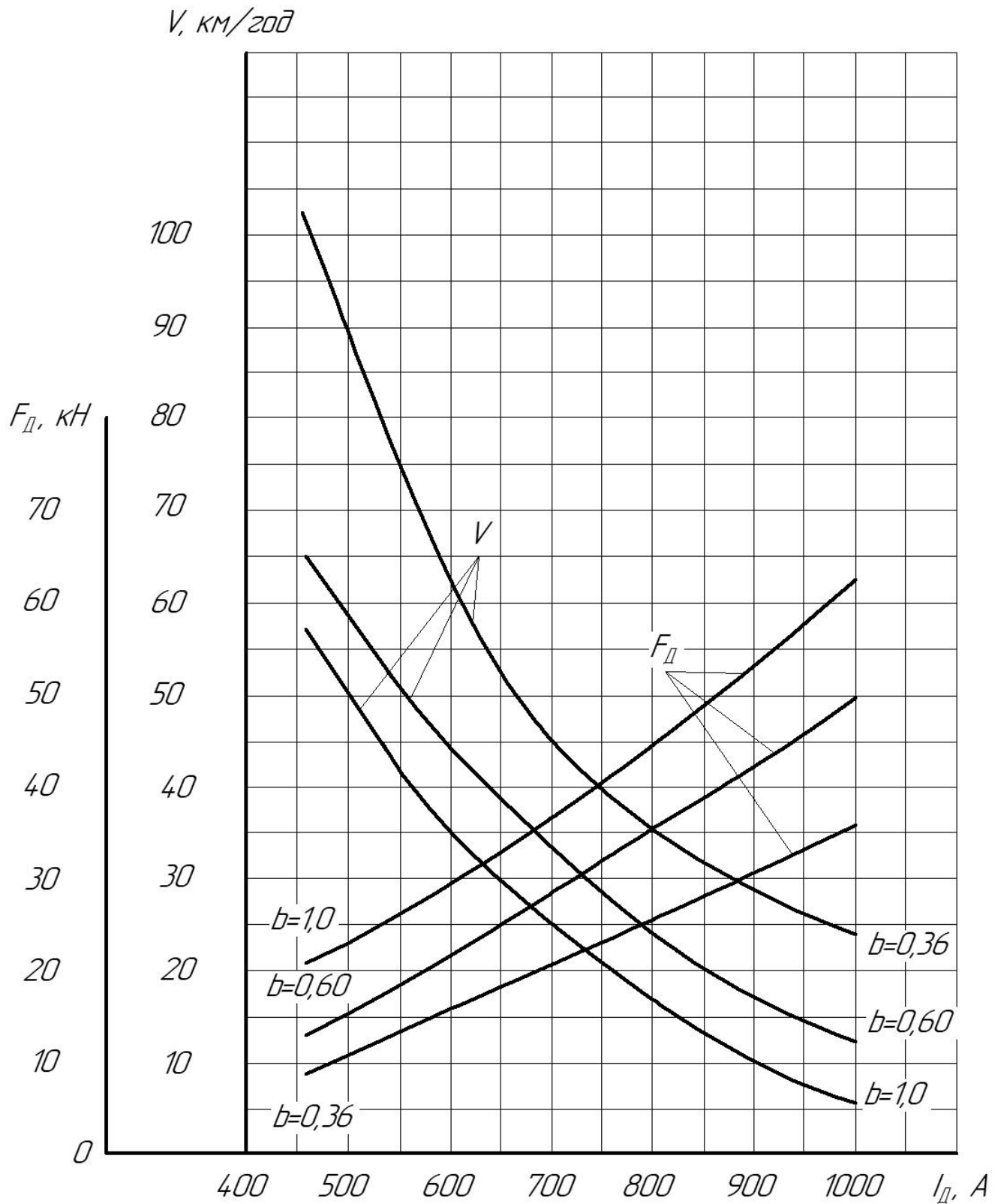


Рисунок 3.2 – Електротягові характеристики КМБ модернізованого 2ТЭ116

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.7 Розрахунок і побудова тягової характеристики тепловоза

Визначимо швидкості переходу з одного режиму роботи ТЕД на наступний:

-для «ПП» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 32 \cdot \frac{4,41}{4,41} = 32 \text{ км/год};$$

-для «ОП1» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 43,5 \cdot \frac{4,41}{4,41} = 43,5 \text{ км/год};$$

-для «ОП2» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 46 \cdot \frac{4,41}{4,41} = 46 \text{ км/год};$$

-для «ОП - ПП» з'єднання ТЕД:

$$V_n = 58,5 \cdot \frac{4,41}{4,41} = 58,5 \text{ км/год}.$$

Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза представлені в таблиці 3.3. За результатами розрахунку побудована тягова характеристика тепловоза (рисунок 3.3).

Результати розрахунку обмеження за зчепленням коліс з рейками зведемо в таблицю 3.4

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку обмеження сили тяги по зчепленню коліс з рейками

V, км/год	0	5	10	15	20
$\psi_p$	0,3	0,272	0,251	0,236	0,223
$F_{кзч}$ , кН	810	734	678	637	602

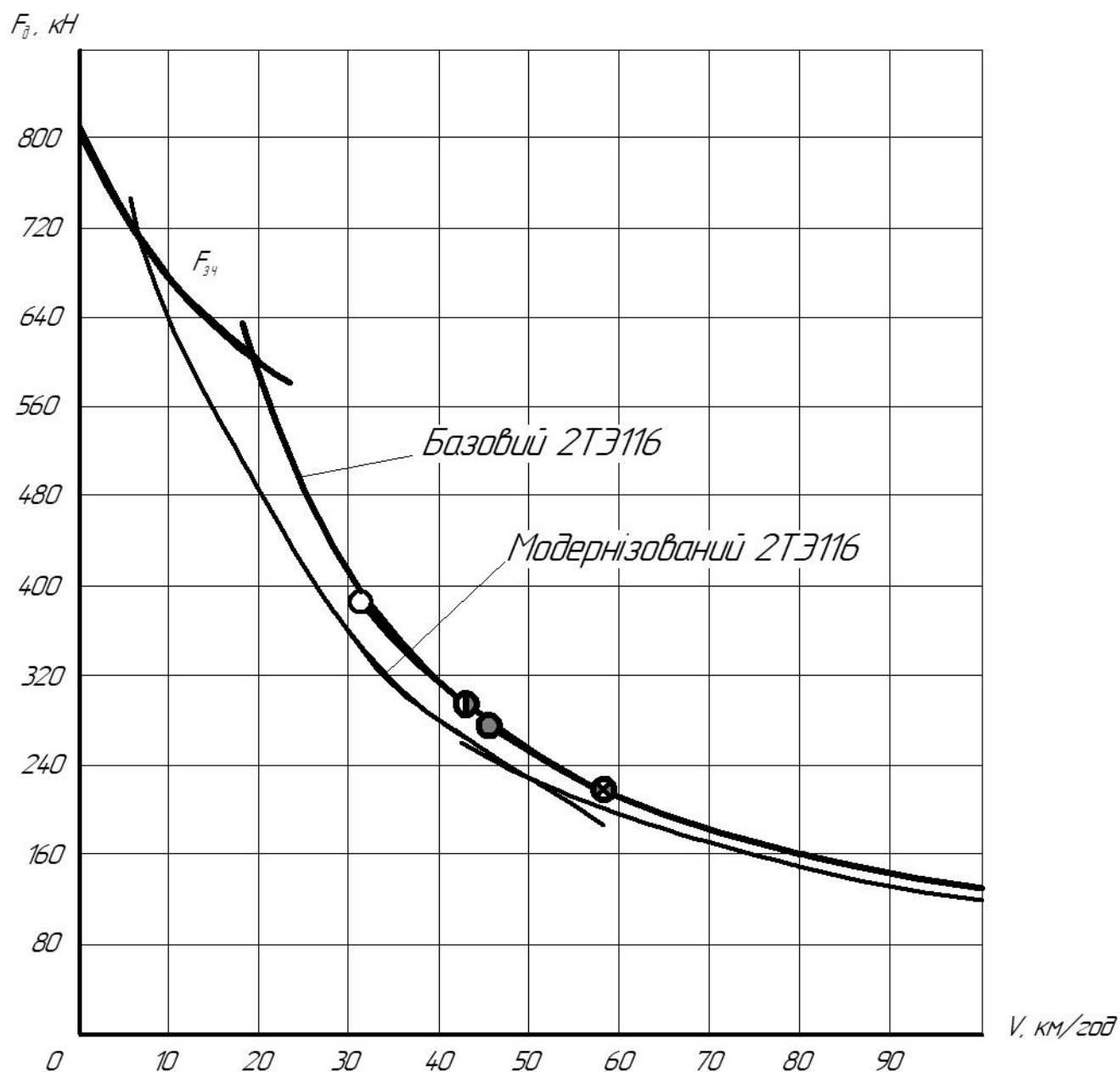


Рисунок 3.3 – Тягові характеристики базового та модернізованого 2ТЭ116

### 3.8 Розрахунок і побудова техніко-економічних характеристик тепловоза

Результати розрахунку параметрів  $N_k$ ,  $\eta_n$ ,  $\eta_m$ , а також значення  $N_e$  і  $B_2$  зводимо в таблицю 3.5.

За результатами розрахунку будемо техніко-економічні характеристики тепловоза (рисунок 3.4).

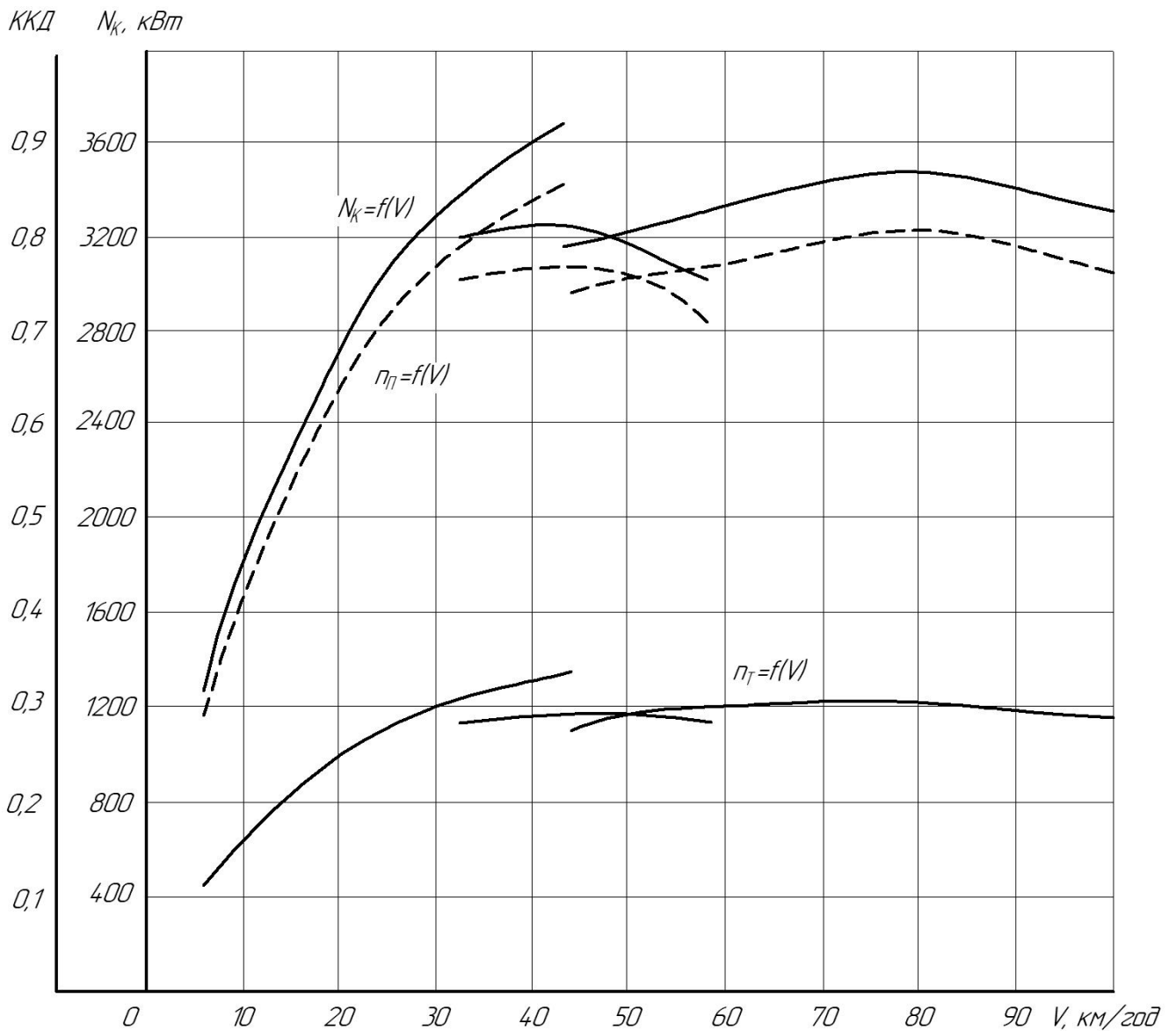


Рисунок 3.4 – Техніко-економічні характеристики модернізованого 2ТЭ116

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.9 Подовжнє розважування проектного локомотива

Сумарна вага кузова і рами з устаткуванням визначається як сума ваг (груп деталей) по усій над візкової будові:

$$G_{\kappa} = \sum_{i=1}^n G_i = 688,387 \text{ кН},$$

$$G_{ng} = \frac{475}{2} - \frac{262}{2} = 106,5 \text{ кН},$$

$$G_n = 875 + 2 \cdot 106,5 = 1088 \text{ кН},$$

$$P_{зч} = 875 + 475 = 1350 \text{ кН}.$$

Таблиця 3.6 - Вагова відомість проектного тепловоза

Найменування вузла (групи деталей)	Вага, кН	Плече, м	Момент, кН·м
Дизель-генераторна група	277	9,270	2568
Система охолодження і обігріву	56	15,707	880
Системи дизеля	11	11,100	122,1
Системи тепловоза	19	13,800	262,2
Допоміжне устаткування	28	10,056	281,6
Електроустаткування	108	6,700	723,6
Рама та кузов тепловоза з приладдям	258	9,415	2429
Допоміжні системи	12	8,850	106,2
Обслуговуюча вага	93	9,605	893,3
Надвізкова вага	875	-	8266
Візки (два)	475	-	-
Непідресорна вага секції тепловоза	262	-	-
Службова вага секції тепловоза	1350	-	-

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.150183.000.03MP.ПЗ					

Середнє навантаження від колісної пари на рейку визначається як частку від ділення службової ваги тепловоза на число його колісних пар  $m$ :

$$P_{cp} = \frac{1350}{6} = 225 \text{ кН.}$$

Координата центру тяжіння відносно умовної осі моментів:

$$X_{цв} = \frac{8266}{875} = 9,45 \text{ м.}$$

Навантаження від кузова і рами з устаткуванням на передню і задню візки визначаються обернено пропорційної до відстаней від центру тяжіння над візкової будови до умовних точок передачі вертикальних навантажень на візки:

$$a_n = X_{цв} - (C + D) - \Delta H, \quad (3.1)$$

Згідно [12] приймаємо  $L_n = 10,25$  м,  $C = 1,850$  м,  $D = 2,448$  м та  $\Delta H = 0,125$  м.

$$a_n = 9,45 - (1,85 + 2,448) - 0,125 = 5,027 \text{ м,}$$

$$a_з = 10,25 - 5,027 = 5,223 \text{ м,}$$

$$G_{кп} = 875 \cdot \frac{5,223}{10,25} = 445,9 \text{ кН,}$$

$$G_{кз} = 875 \cdot \frac{5,027}{10,25} = 429,2 \text{ кН.}$$

Усі види навантажень від колісної пари на рейки визначаються окремо для передньої і задньої візків, без урахування подовжнього розважування візків.

Оскільки розважування візків не робилося і було прийнято, що їх підресорені

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і не підресорена вага розподіляється по колісних парах рівномірно, то підресорені навантаження, що приходять на одну колісну пару, можна вважати рівними:

- для переднього візка (при числі колісних пар):

$$P_{m1} = \frac{445,9}{3} + \frac{106,5}{3} = 184,1 \text{ кН.}$$

- для заднього візка (при числі колісних пар):

$$P_{m2} = \frac{429,2}{3} + \frac{106,5}{3} = 178,6 \text{ кН.}$$

Без пружинне навантаження від колісної пари на рейку для переднього і заднього візка вважається однаковою і визначається як частка від ділення без пружинної ваги тепловоза на число його колісних пар:

$$P_{n1} = P_{n2} = \frac{262}{6} = 43,7 \text{ кН.}$$

Повне навантаження від колісної пари на рейку для переднього і заднього візка визначається як сума підресореного і без пружинного навантаження:

$$P_{n1} = 184,1 + 43,7 = 227,8 \text{ кН;}$$

$$P_{n2} = 178,6 + 43,7 = 222,3 \text{ кН.}$$

$$\Delta = \frac{227,8 - 222,3}{222,3} \cdot 100 = 2,4\% \leq 3\%.$$

Різниця навантажень від колісних пар на рейку переднього і заднього візків не перевищує 3%.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.10 Порівняння базового та проектного тепловозу

Приведемо в таблиці 3.8 порівняльні дані базового тепловозу та модернізованого.

Таблиця 3.7 – Порівняльні дані базового тепловоза та модернізованого 2ТЭ116

Параметр	Величини 2ТЭ116	
	базовий	модернізований
Тип дизеля	1А-5Д49	MTU12V1600G20F
Потужність силової установки, кВт	2208	2260
Ресурс дизеля до капітального ремонту, год	50000	30000
Генератор	ГС501А	Leroy Somer LSA 52.3 L12
Потужність генератора, кВт	2000	2000
Тяговий електродвигун	ЭД-118А	ЭД-118А
Потужність тягового електродвигуна, кВт	307	286
Розрахункова швидкість, км/год	24,2	24,2
Розрахункова сила тяги, кН	496	444
Конструкційна швидкість, км/год	100	100
Розрахункова маса, т	276	270

**Висновки до розділу.** Для модернізації тепловоза 2ТЭ116 була запропонована передача змінно-постійного струму. Потужність силової установки однієї секції тепловоза становить 2260 кВт. На тепловозі встановлений дизель MTU12V1600G20F. Визначені основні параметри та тип тягового генератора та тягового електродвигуна. Розраховані та побудовані електромеханічні характеристики ТЕД, електротягові характеристики КМБ, тягова та техніко-економічні характеристики тепловоза. Виконаний розрахунок поздовжнього розважування тепловоза.

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

Доля витрат на ремонти локомотивів при їх існуючій експлуатації складає 40-50%, при цьому на поточні ремонти, які не поліпшують характеристик локомотивів, а лише підтримують їх працездатність, припадає більше 70% витрат [13, 14]. Катастрофічний знос парку локомотивів призвів до різкого зростання витрат на позапланові ремонти, кількість яких значно збільшилась з 2005 р у зв'язку із закінченням нормативного строку експлуатації більшості локомотивів. Таким чином, ремонтний аспект є дуже важливим техніко-економічним фактором, що визначає ефективність локомотивного парку.

Тому необхідно визначити, який тяговий рухомий склад підлягає модернізації або ремонту, а також визначити потреби у придбанні нових сучасних локомотивів, які відповідають вимогам надійності та безпеки руху. В умовах економічної кризи та дефіциту фінансових ресурсів для оновлення парку локомотивів доцільною є глибока модернізація, яка коштує близько 60% вартості нового локомотиву, але дозволяє:

- знизити поточні експлуатаційні витрати до 40% [15];
- підтримати держзамовленнями вітчизняні підприємства залізничного машинобудування, що перебувають у вкрай важкому стані внаслідок економічної кризи.

При комплексній модернізації необхідно буде врахувати декілька аспектів.

Система ремонту повинна бути оптимізована за рівнем агрегування вузлів що розбираються або замінюються, виходячи з величини доданої вартості, часових і трудовитрат проведення ремонтних робіт, вартості володіння запасними частинами.

Системи діагностики і прогнозування зносу повинні спиратися на конструкційний склад локомотива з урахуванням взаємного зносу деталей,

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

статистичного оптимуму витрат на діагностику, поточний і аварійний ремонт, а також на пошук найбільш інформативних деталей і вузлів, що характеризують знос всього агрегату. В такому випадку результат діагностики зносу даної деталі дозволить зробити досить достовірні висновки про знос всього вузла. Вузли локомотива, що розробляються або модернізуються, повинні враховувати вимоги системи ремонту і давати можливість визначати стан локомотива, продіагностувавши незначну кількість вузлів і деталей. Таким чином, модель конструкційного складу локомотива повинна бути розширена такими параметрами, як:

- фактичний взаємний знос деталей;
- трудомісткість діагностики та відновлення;
- критичність для основної функції локомотива;
- порівняльна вартість діагностики і ремонту всього вузла і деталей, що

входять до нього.

В межах експлуатаційного аспекту пропонується розглядати відповідність локомотиву вимогами експлуатанта щодо економічності, енерговитрат, надійності, безпеки.

З урахуванням найважливішої стратегічної і соціальної ролі залізничних перевезень, а також глобальних тенденцій розвитку економіки, нові механізми поповнення парку тягового рухомого складу повинні відповідати не тільки сучасному рівню технічних рішень, а й вимогам економічної ефективності та екологічної безпеки.

В сучасних економічних умовах потрібна переоцінка і підвищення значущості економічних чинників володіння локомотивом - таких, як оцінка ефективності інвестицій в придбання і модернізацію тягового рухомого складу, а також оцінка фінансових результатів від експлуатації локомотивів.

Наявність ефективного парку тягового рухомого складу є важливим фактором конкурентоспроможності регіонів України і всієї держави. На сьогоднішній день ситуація є катастрофічною, тому потрібно негайно визначити,

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який рухомий склад потрібно модернізувати в першу чергу та які критерії мають враховуватись при виборі технології модернізації.

**Висновки до розділу:** Розглянуті основні аспекти техніко-економічного обґрунтування доцільності комплексної модернізації локомотивного парку.

Модернізація та оновлення тягового рухомого складу дозволить збільшити продуктивність локомотивів, зменшити експлуатаційні витрати і відповідно собівартість перевезень, подовжити міжремонтні періоди та зменшити витрати на виконання ремонтів.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Була проаналізована проблема оновлення парку тепловозів, яку можна вирішувати або за рахунок придбання за кордоном нових сучасних локомотивів, або шляхом відновлення їх ресурсу під час проведення капітального з продовженням терміну служби або капітально-відновлювального ремонту з модернізацією та продовженням терміну служби.

Проаналізовані основні напрямки модернізації тепловозів, в яких простежується думка про те, що за рахунок модернізації тепловозів на ремонтних вітчизняних підприємствах гостроту проблеми з тепловозною тягою можна зняти протягом двох-трьох років.

Розглянутий досвід закордонних держав по застосуванню гібридного приводу та альтернативних джерел енергії на локомотивах.

Були проаналізовані різні види накопичувачів енергії та можливість їх придатності до використання на рухомому складі. Для модернізації тепловоза ЧМЭЗ була запропонована передача змінно-постійного струму з накопичувачем енергії, який складеться з літій-іонних акумуляторних батарей та суперконденсаторів. Потужність силової установки тепловоза становить 880 кВт, з яких 576 кВт розвиває дизель типу MTU12V1600G20F, а решту 304 кВт – накопичувач енергії. Визначені основні параметри та тип тягового генератора та тягового електродвигуна. Розраховані та побудовані електромеханічні характеристики ТЕД, електротягові характеристики КМБ, тягова та техніко-економічні характеристики тепловоза при роботі силової установки в різних режимах. Виконаний розрахунок поздовжнього розважування модернізованого тепловоза ЧМЭЗ.

Для модернізації тепловоза 2ТЭ116 була запропонована передача змінно-постійного струму. Потужність силової установки однієї секції тепловоза становить 2260 кВт. На тепловозі встановлений дизель MTU12V1600G20F. Визначені основні параметри та тип тягового генератора та тягового

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електродвигуна. Розраховані та побудовані електромеханічні характеристики ТЕД, електротягові характеристики КМБ, тягова та техніко-економічні характеристики тепловоза. Виконаний розрахунок поздовжнього розважування модернізованого тепловоза 2ТЭ116.

Розглянуті основні аспекти техніко-економічного обґрунтування доцільності комплексної модернізації локомотивного парку.

Модернізація та оновлення тягового рухомого складу дозволить збільшити продуктивність локомотивів, зменшити експлуатаційні витрати і відповідно собівартість перевезень, подовжити міжремонтні періоди та зменшити витрати на виконання ремонтів.

					0032.150183.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чи може Україна випускати сучасні локомотиви: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://railexproua.com/novyny/chy-mozhe-ukraina-vypuskaty-suchasni-lokomotyvy/>.
2. Стало известно, сколько магистральных тепловозов у "Укрзалізнички" на ходу: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://cfts.org.ua/news/2018/03/03/stalo\\_izvestno\\_skolko\\_magistralnykh\\_teplovo\\_zov\\_u\\_ukrzaliznytsi\\_na\\_khodu\\_45973](https://cfts.org.ua/news/2018/03/03/stalo_izvestno_skolko_magistralnykh_teplovo_zov_u_ukrzaliznytsi_na_khodu_45973).
3. Шляхи оновлення парку тепловозів в Україні / Ю.В. Єжов, Ю.С. Павленко, С.М. Полулях: Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». - 2020. - Вип. 20.
4. Потреба у фінансуванні оновлення локомотивного парку Укрзалізнички становить понад 51 млрд грн на 6 років: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/511012/](https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/511012/).
5. Яровий Р. О. Підвищення експлуатаційних характеристик маневрових тепловозів шляхом використання комбінованих накопичувачів енергії: Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Сєвєродонецьк, – 2019.
6. Молчанов, А.И. Автоматизированная система учета, контроля и анализа расхода топлива маневровыми тепловозами / А.И. Молчанов, И.Л. Поварков, Л.А. Мугинштейн, К.М. Попов // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – №2. – с. 36–42.
7. Гулиа Н.В. Накопители энергии. - М.: Наука, 1980. - 150 с.
8. Фалендыш, А.П. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах / А.П. Фалендыш, Н.В. Володарец // Локомотив-информ. – 2010 – Декабрь. – с. 4-7.
9. Обґрунтування необхідності модернізації тепловоза ЧМЭЗ із використанням гібридної силової установки / С.Г. Буряковський, А.С. Маслій, Д.П. Помазан, І.В. Деніс // Електрифікація транспорту. - № 12. - 2016.

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
11. Теорія та конструкція локомотивів: Методичні вказівки до виконання курсового проекту, розділ «Розрахунок техніко-економічних характеристик» /Дніпропетр. націон. універ. залізнич. трансп. ім. ак. В. Лазаряна; Уклад.: Д. В. Бобирь, Л. С. Казаріна, М. І. Мартишевській, Є. Г. Нечаєв. – Дніпропетровськ, 2006. – 30 с.
12. Теорія та конструкція локомотивів (поздовжнє розважування тепловозів) [Текст] : метод. вказівки до виконання контрольної роботи, курсового та дипломного проектування / уклад.: Д. В. Бобирь, Є. Г. Нечаєв, Л. В. Колодій,; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2017. – 35 с.
13. Осяев А.Т., Капустьян М.Ф., Шантаренко С.Г.. Организационно-технические аспекты оптимизации системы технического обслуживания и ремонта локомотивов // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. - ОГУПС: Омск, 2011. – с. 15-29.
14. Укрзалізниця готує стратегію оновлення локомотивного парку до 2025 року // Прес-центр Укрзалізниці: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/438159/](http://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/438159/).
15. Укрзалізниця: концентрація ресурсів на оновленні парку локомотивів залишається пріоритетним завданням на 2013 рік // Прес-центр Укрзалізниці: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://uz.gov.ua/press\\_center/up\\_to\\_date\\_topic/326193/](http://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/326193/).

					0032.150183.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Показники накопичувачів енергії

Параметр	Величини по накопичувачам				
	кислотні акумуляторні батареї	літій-іонні акумуляторні батареї	супер- конденсатори	індуктивні надпровідникові	електромеханічні (маховикові)
Вартість енергії, долар/кВт-год	225-250	500-2000	200-300	500-2000	300-2000
Вартість потужності, долар/кВт	250-300	1300-3800	300-600	300-500	250-400
Максимальний ККД циклу заряд-розряд	0,85	0,96	0,95	0,95	0,9-0,93
Питома енергоємність, Вт-год/кг	50-100	120-200	10-15	150-2500	200-250
Кількість циклів заряд-розряду	$10^2$ - $10^3$	$10^3$	$10^5$ - $10^6$	$10^6$	$10^5$
Час заряду (розряду), хв	100	10-100	1-10	10-100	10
Екологічність	Середня	Гарна	Гарна	Гарна	Гарна

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку електромеханічних характеристик ТЕД в режимі, коли працює дизель та накопичувач енергії

$I_{дв}, A$	$\bar{M}$	$\bar{n}$	Повне поле (ПП)				Перший ступінь послаблення (ОП1)				Другий ступінь послаблення (ОП2)			
			$\alpha_{\bar{\sigma}}=100\%$		$\alpha_n=100\%$		$\alpha_{\bar{\sigma}}=48\%$		$\alpha_n=24\%$		$\alpha_{\bar{\sigma}}=48\%$		$\alpha_n=25\%$	
			$M_{дв \bar{\sigma}},$ Н·м	$n_{дв \bar{\sigma}},$ хв <sup>-1</sup>	$M_{дв n},$ Н·м	$n_{дв n},$ хв <sup>-1</sup>	$M_{дв \bar{\sigma}},$ Н·м	$n_{дв \bar{\sigma}},$ хв <sup>-1</sup>	$M_{дв n},$ Н·м	$n_{дв n},$ хв <sup>-1</sup>	$M_{дв \bar{\sigma}},$ Н·м	$n_{дв \bar{\sigma}},$ хв <sup>-1</sup>	$M_{дв n},$ Н·м	$n_{дв n},$ хв <sup>-1</sup>
290	1,0	1,0	1460	572	1460	572	1120	1214	1120	1214	470	2290	470	2290
400	1,0	1,0	2070	412	2070	412	1410	824	1410	824	760	1466	760	1466
500	1,0	1,0	3000	321	3000	321	1820	618	1820	618	1060	1030	1060	1030
600	1,0	1,0	4060	252	4060	252	2290	458	2290	458	1490	733	1490	733
700	1,0	1,0	5180	183	5180	183	2910	343	2910	343	2000	527	2000	527
810	1,0	1,0	6470	137	6470	137	3770	275	3770	275	2650	389	2650	389

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку електромеханічних характеристик ТЕД в режимі, коли працює тільки дизель

$I_{дв}, А$	$\bar{M}$	$\bar{n}$	Повне поле (ПП)				Перший ступінь послаблення (ОП1)				Другий ступінь послаблення (ОП2)			
			$\alpha_{\bar{\sigma}}=100\%$		$\alpha_n=100\%$		$\alpha_{\bar{\sigma}}=48\%$		$\alpha_n=48\%$		$\alpha_{\bar{\sigma}}=25\%$		$\alpha_n=25\%$	
			$M_{дв \bar{\sigma}},$ Н·М	$n_{дв \bar{\sigma}},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв n},$ Н·М	$n_{дв n},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв \bar{\sigma}},$ Н·М	$n_{дв \bar{\sigma}},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв n},$ Н·М	$n_{дв n},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв \bar{\sigma}},$ Н·М	$n_{дв \bar{\sigma}},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв n},$ Н·М	$n_{дв n},$ ХВ <sup>-1</sup>
290	0,65	1,0	1460	572	949	572	1120	1214	728	1214	470	2290	306	2290
400	0,65	1,0	2070	412	1346	412	1410	824	917	824	760	1466	494	1466
500	0,65	1,0	3000	321	1950	321	1820	618	1183	618	1060	1030	689	1030
600	0,65	1,0	4060	252	2640	252	2290	458	1489	458	1490	733	969	733
700	0,65	1,0	5180	183	3367	183	2910	343	1892	343	2000	527	1300	527
810	0,65	1,0	6470	137	4206	137	3770	275	2451	275	2650	389	1723	389

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку електротягових характеристик ТЕД в режимі, коли працює дизель та накопичувач енергії

Режим роботи ТЕД												
ПП ( $\alpha = 100\%$ )					ОП1 ( $\alpha = 48\%$ )				ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )			
$I_{\partial}, \text{A}$	$M_{\partial n}, \text{кН}\cdot\text{м}$	$F_{\partial n}, \text{кН}$	$n_{\partial n}, \text{хв}^{-1}$	$V_{\partial n}, \text{км/год}$	$M_{\partial n}, \text{кН}\cdot\text{м}$	$F_{\partial n}, \text{кН}$	$n_{\partial n}, \text{хв}^{-1}$	$V_{\partial n}, \text{км/год}$	$M_{\partial n}, \text{кН}\cdot\text{м}$	$F_{\partial n}, \text{кН}$	$n_{\partial n}, \text{хв}^{-1}$	$V_{\partial n}, \text{км/год}$
290	1,46	12,4	572	23,7	1,12	9,5	1214	50,3	0,47	4	2290	95
400	2,07	17,6	412	17,1	1,41	12	824	34,2	0,76	6,5	1466	60,8
500	3	25,5	321	13,3	1,82	15,5	618	25,6	1,06	9	1030	42,7
600	4,06	34,5	252	10,5	2,29	19,5	458	19	1,49	12,7	733	30,4
700	5,18	44,0	183	7,6	2,91	24,7	343	14,2	2	17	527	21,9
810	6,47	55,0	137	5,7	3,77	32,0	275	11,4	2,65	22,5	389	16,1

0032.150183.000.03МР.ПЗ

Таблиця 2.5 - Результати розрахунку електротягових характеристик ТЕД в режимі, коли працює тільки дизель

Режим роботи ТЕД												
ПП ( $\alpha = 100\%$ )					ОП1 ( $\alpha = 48\%$ )				ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )			
$I_{\partial}, A$	$M_{\partial n},$ кН·м	$F_{\partial n},$ кН	$n_{\partial n},$ хв <sup>-1</sup>	$V_{\partial n},$ км/год	$M_{\partial n},$ кН·м	$F_{\partial n},$ кН	$n_{\partial n},$ хв <sup>-1</sup>	$V_{\partial n},$ км/год	$M_{\partial n},$ кН·м	$F_{\partial n},$ кН	$n_{\partial n},$ хв <sup>-1</sup>	$V_{\partial n},$ км/год
290	0,95	8,49	572	23,7	0,73	6,52	1214	50,3	0,31	2,74	2290	95
400	1,35	12,05	412	17,1	0,92	8,21	824	34,2	0,49	4,42	1466	60,8
500	1,95	17,45	321	13,3	1,18	10,59	618	25,6	0,69	6,17	1030	42,7
600	2,64	23,6	252	10,5	1,49	13,33	458	19	0,97	8,67	733	30,4
700	3,37	30,13	183	7,6	1,89	16,93	343	14,2	1,3	11,63	527	21,9
810	4,21	37,64	137	5,7	2,45	21,94	275	11,4	1,72	15,42	389	16,1

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза в режимі, коли працює дизель та накопичувач енергії

V, км/год	Режим роботи ТЕД								
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )			ОП1 ( $\alpha = 48\%$ )			ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )		
	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{\kappa}$ , кН	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{\kappa}$ , кН	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{\kappa}$ , кН
5,7	810	55	330						
10	625	37	222						
11,4	575	32,5	195						
12,5	550	30	180	760	28,5	171			
19	360	15,5	93	600	19	114			
21				575	18	108	720	17,5	105
27,5				475	14,5	87	625	13,5	81
30							610	13	78
40							520	10	60
50							450	7,5	45
60							400	6,5	39
70							370	5,5	33
80							330	4,7	28,2
90							310	4,3	25,8
95							290	4	24

0032.150183.000.03МР.ПЗ

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза в режимі, коли працює тільки дизель

V, км/год	Режим роботи ТЕД								
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )			ОП1 ( $\alpha = 48\%$ )			ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )		
	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{к}$ , кН	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{к}$ , кН	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{к}$ , кН
5,7	810	37,5	225						
10	625	25	150						
11,4	575	21,5	129						
12,5	550	20,5	123	760	20	120			
19	360	10,5	63	600	13,3	79,8			
21				575	12	72	720	7,5	45
27,5				475	9	54	625	9,5	57
30							610	8,5	51
40							520	6,5	39
50							450	4,5	27
60							400	3,7	22,2
70							370	3,5	21
80							330	2	12
90							310	2,7	16,2
95							290	2,5	15

Таблиця 2.9 – Результати розрахунку техніко-економічної характеристики тепловоза в режимі, коли працює дизель та накопичувач енергії

V, км/ч	Режим роботи ТЕД																	
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )						ОП1 ( $\alpha = 48\%$ )						ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )					
	$F_k$ , кН	$N_k$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_{\text{ч}}$ , кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$	$F_k$ , кН	$N_k$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_{\text{ч}}$ , кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$	$F_k$ , кН	$N_k$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_{\text{ч}}$ , кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$
5,7	330	523	880	118	0,675	0,375												
10	222	617	880	118	0,796	0,443												
11,4	195	618	880	118	0,797	0,443												
12,5	180	625	880	118	0,806	0,448	171	594	880	118	0,766	0,426						
19	93	491	880	118	0,634	0,352	114	602	880	118	0,777	0,432						
21							108	630	880	118	0,813	0,452	105	613	880	180	0,791	0,288
27,5							87	665	880	118	0,858	0,477	81	619	880	180	0,799	0,291
30													78	650	880	180	0,839	0,305
40													60	667	880	180	0,861	0,313
50													45	625	880	180	0,806	0,293
60													39	650	880	180	0,839	0,305
70													33	642	880	180	0,828	0,301
80													28,2	627	880	180	0,809	0,294
90													25,8	645	880	180	0,832	0,303
95													24	633	880	180	0,817	0,297

0032.150183.000.03МР.ПЗ

Таблиця 2.10 – Результати розрахунку техніко-економічної характеристики тепловоза в режимі, коли працює тільки дизель

V, км/ч	Режим роботи ТЕД																	
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )						ОП1 ( $\alpha = 48\%$ )						ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )					
	$F_k,$ кН	$N_k,$ кВт	$N_e,$ кВт	$B_u,$ кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$	$F_k,$ кН	$N_k,$ кВт	$N_e,$ кВт	$B_u,$ кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$	$F_k,$ кН	$N_k,$ кВт	$N_e,$ кВт	$B_u,$ кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$
5,7	225	356	576	118	0,756	0,255												
10	150	417	576	118	0,885	0,299												
11,4	129	409	576	118	0,868	0,293												
12,5	123	427	576	118	0,907	0,306	120	417	576	118	0,885	0,299						
19	63	333	576	118	0,707	0,239	79,8	421	576	118	0,894	0,302						
21							72	420	576	118	0,892	0,301	45	263	576	118	0,558	0,189
27,5							54	413	576	118	0,877	0,296	57	435	576	118	0,924	0,312
30													51	425	576	118	0,902	0,305
40													39	433	576	118	0,919	0,311
50													27	375	576	118	0,796	0,269
60													22,2	370	576	118	0,786	0,265
70													21	408	576	118	0,866	0,293
80													12	267	576	118	0,567	0,192
90													16,2	405	576	118	0,86	0,291
95													15	396	576	118	0,841	0,284

0032.150183.000.03МР.ПЗ

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку електромеханічних характеристик ТЕД

$I_{дв}, А$	$\bar{M}$	$\bar{n}$	Повне поле (ПП)				Перший ступінь послаблення (ОП1)				Другий ступінь послаблення (ОП2)			
			$\alpha = 100\%$		$\alpha = 100\%$		$\alpha = 60\%$		$\alpha = 60\%$		$\alpha = 36\%$		$\alpha = 36\%$	
			$M_{дв б},$ Н·М	$n_{дв б},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв н},$ Н·М	$n_{дв н},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв б},$ Н·М	$n_{дв б},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв н},$ Н·М	$n_{дв н},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв б},$ Н·М	$n_{дв б},$ ХВ <sup>-1</sup>	$M_{дв н},$ Н·М	$n_{дв н},$ ХВ <sup>-1</sup>
460	0,932	1	2828	1259	2636	1259	1731	1443	1613	1443	1154	2290	1076	2290
500	0,932	1	3001	1168	2797	1168	1962	1328	1829	1328	1501	1992	1399	1992
600	0,932	1	3809	779	3550	779	2770	985	2582	985	2020	1397	1883	1397
700	0,932	1	4848	572	4518	572	3751	744	3496	744	2655	1008	2474	1008
800	0,932	1	5771	378	5379	378	4617	538	4303	538	3347	779	3119	779
900	0,932	1	6925	229	6454	229	5483	378	5110	378	3924	641	3657	641
1000	0,932	1	8080	137	7531	137	6406	298	5970	298	4617	527	4303	527

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку електротягових характеристик ТЕД

Режим роботи ТЕД												
ПП ( $\alpha = 100\%$ )					ОП1 ( $\alpha = 60\%$ )				ОП2 ( $\alpha = 36\%$ )			
$I_{\partial}, A$	$M_{\partial n},$ кН·м	$F_{\partial n},$ кН	$n_{\partial n},$ хв <sup>-1</sup>	$V_{\partial n},$ км/ГОД	$M_{\partial n},$ кН·м	$F_{\partial n},$ кН	$n_{\partial n},$ хв <sup>-1</sup>	$V_{\partial n},$ км/ГОД	$M_{\partial n},$ кН·м	$F_{\partial n},$ кН	$n_{\partial n},$ хв <sup>-1</sup>	$V_{\partial n},$ км/ГОД
460	2,64	21,8	1259	56,5	1,61	13,3	1443	64,7	1,08	8,9	2290	102,7
500	2,8	23,1	1168	52,4	1,83	15,1	1328	59,6	1,4	11,6	1992	89,4
600	3,55	29,4	779	34,9	2,58	21,4	985	44,2	1,88	15,6	1397	62,7
700	4,52	37,4	572	25,7	3,5	28,9	744	33,4	2,47	20,5	1008	45,2
800	5,38	44,5	378	17	4,3	35,6	538	24,1	3,12	25,8	779	34,9
900	6,45	53,4	229	10,3	5,11	42,3	378	17	3,66	30,3	641	28,8
1000	7,53	62,3	137	6,1	5,97	49,4	298	13,4	4,3	35,6	527	23,6

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза 2ТЭ116

V, км/год	Режим роботи ТЕД								
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )			ОП1 ( $\alpha = 60\%$ )			ОП2 ( $\alpha = 36\%$ )		
	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{\kappa}$ , кН	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{\kappa}$ , кН	$I_{\partial}$ , А	$F_{\partial n}$ , кН	$F_{\kappa}$ , кН
6,1	1000	62,3	747,6						
10	900	53,4	640,8						
20	760	40,5	486						
24,2	720	37	444						
30	650	33	396						
32	630	31,5	378	725	30	360			
40	560	27	324	640	24,5	294			
43,5	540	25	300	610	22	264	725	22	264
46				580	21	252	690	20,5	246
50				555	19	228	665	19,5	234
58,5				510	15,5	186	620	16	192
70							570	14,5	174
80							540	13	156
90							500	11	132
100							475	10	120

0032.150183.000.03МР.ПЗ

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку техніко-економічної характеристики тепловоза 2ТЭ116

V, км/ч	Режим роботи ТЕД																	
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )						ОП1 ( $\alpha = 60\%$ )						ОП2 ( $\alpha = 36\%$ )					
	$F_k$ , кН	$N_k$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_u$ , кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$	$F_k$ , кН	$N_k$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_u$ , кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$	$F_k$ , кН	$N_k$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_u$ , кг/год	$\eta_n$	$\eta_m$
6,1	747,6	1266,77	4520	949	0,295	0,113												
10	640,8	1780	4520	949	0,414	0,159												
20	486	2700	4520	949	0,629	0,241												
24,2	444	2984,67	4520	949	0,695	0,266												
30	396	3300	4520	949	0,768	0,294												
32	378	3360	4520	949	0,782	0,3	360	3200	4520	949	0,745	0,286						
40	324	3600	4520	949	0,838	0,321	294	3266,67	4520	949	0,761	0,292						
43,5	300	3625	4520	949	0,844	0,323	264	3190	4520	949	0,743	0,285	264	3190	4520	949	0,743	0,285
46							252	3220	4520	949	0,75	0,287	246	3143,33	4520	949	0,732	0,281
50							228	3166,67	4520	949	0,737	0,283	234	3250	4520	949	0,757	0,29
58,5							186	3022,5	4520	949	0,704	0,27	192	3120	4520	949	0,726	0,278
70													174	3383,33	4520	949	0,788	0,302
80													156	3466,67	4520	949	0,807	0,309
90													132	3300	4520	949	0,768	0,294
100													120	3333,33	4520	949	0,776	0,297