

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 **ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

Theme **IMPROVEMENT OF OPERATING INDICATORS OF
MANEUVERABLE DRIVES**

Керівник дипломної
роботи

Є. Б. Боднар

Нормоконтролер

Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1921

І. В. Ковальчук

Student

Kovalchuk Igor

Дніпро, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ МАНЕВРОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	8
1.1 Основні напрямки розвитку в області автономного тягового рухомого складу для маневрової роботи	8
1.2 1.2 Аналіз основних режимів роботи маневрових тепловозів	16
2 МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК В ЕКСПЛУАТАЦІЇ	20
3 ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОДИЗЕЛЬНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЗА	28
3.1 Обґрунтування застосування дводизельної силової установки для тепловоза	28
3.2 Визначення середньоексплуатаційного ККД багатодизельної силової установки	35
3.3 Визначення середньоексплуатаційного ККД багатодизельного тепловоза	38
4 ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ	41
4.1 Досвід експлуатації багатодизельних тепловозів за кордоном	41
4.2 Аналіз можливості заміни тепловозів серії ЧМЭЗ багатодизельними локомотивами	45
4.3 Розрахунок основних показників роботи багатодизельних тепловозів	47
5 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОВОЗІВ З БАГАТОДИЗЕЛЬНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ	75

					0032.140290.000.04MP.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Поліпшення експлуатаційних показників маневрових тепловозів	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		<i>Ковальчук</i>					4	98
Перевір.		<i>Баднар</i>						
Реценз.								
Н. Контр.		<i>Колодій</i>				ДНУЗТ, гр. ЛГ1921		
Затверд.		<i>Капіца</i>						

5.1	Метод оцінки працездатності тепловозів	75
5.2	Паливна система тепловоза з дводизельною силовою установкою	85
5.3	Спосіб і пристрій регулювання роботи багатодизельного тепловоза	89
	ВИСНОВКИ	95
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	97

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Маневрова робота є важливою складовою залізничного транспорту. Близько 45% експлуатаційного парку локомотивів зайнято виконанням маневрової роботи, з них 92% маневрової роботи виконується безпосередньо тепловозами.

Критичне старіння і незадовільний технічний стан парку маневрових тепловозів є основним фактором низької ефективності транспортних підприємств. Однак економічна ситуація в країні не дозволяє в достатній мірі оновлювати тяговий рухомий склад.

Актуальна проблема підвищення паливної економічності тепловозів, особливо на перехідних режимах, пов'язана з пошуком методів і засобів, які можна розділити на технічні, організаційні та науково-математичні.

Різноманіття типів маневрових тепловозів зумовлена великою кількістю видів маневрових операцій і умов їх виконання. Як відомо при роботі тепловозів однієї серії на одних і тих же ділянках в різні зміни і при виконанні одного виду маневрової роботи режими експлуатації та режими роботи основного і допоміжного обладнання тепловозів мають значний розкид, що природним чином відбивається на кількості витраченого палива. Встановлено, що при роботі різних маневрових тепловозів на одній і тій же станції тепловози з кращими паспортними характеристиками мали витрати палива значно менше, ніж тепловози, паспортні характеристики яких гірше. Це пояснюється невідповідністю певних режимів роботи, як в пусковому режимі, так і режимі холостого ходу при яких визначаються техніко-економічні та екологічні характеристики маневрових тепловозів.

В процесі експлуатації тепловозів існує безліч факторів, що впливають на витрату палива. Ця обставина ускладнює правильний вибір силових установок.

При розробці нових тепловозів, після модернізації і при використанні наявних важливою проблемою є підбір силової установки під конкретну роботу з метою можливої економії палива і зменшенні, тим самим, вартості маневрової роботи.

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо важливо попередньо правильно оцінити експлуатаційну ефективність тепловоза в залежності від внесених технічних удосконалень.

Саме тому темою дипломної магістерської роботи і було поліпшення експлуатаційних показників маневрових локомотивів.

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дизельні двигуни потужністю до 1500 кВт поступилися місцем невеликому дизель-генератору потужністю 224 кВт, який працює тільки на підзарядку потужної свинцево-кислотної акумуляторної батареї з великим ресурсом. У США в 2000 р була створена модель, відома тепер під назвою Green Kid - «зелений козеня». За ним пішов великий маневровий локомотив під назвою Green Coat - «зелена коза» [7], спосіб роботи якого, полягає в живленні тягових двигунів тяговими акумуляторними батареями, при цьому зарядку акумуляторних батарей здійснюється електроенергією від дизель-генератора невеликої потужності, що працює на дизельному паливі.

Інженери німецької філії концерну Alstom розробили свою модель гібридного локомотива. Експлуатаційна концепція його така: локомотив приводиться в рух електродвигуном, що живиться від акумулятора. Коли напруга на клеммах акумулятора опускається нижче певного рівня, включається дизельний генератор і заряджає його. В умовах пікових навантажень обидва джерела можуть працювати одночасно [3]. Так само компанією Alstom було розроблено сімейство НЗ що складається з чотирьох типів: локомотив, який працює тільки від акумуляторних батарей; гібридний локомотив потужністю 700 кВт; локомотив потужністю 700 кВт з двома дизелями і локомотив потужністю 1000 кВт з одним дизелем. Локомотиви сімейства НЗ всіх чотирьох типів, на думку розробників, відповідають наступним вимогам: максимальна продуктивність; відповідність найвищим екологічним вимогам; переваги в експлуатації; уніфікація по величині сили тяги при рушанні з місця і технології обслуговування; максимальна швидкість 100 км/год; проходження кривої з радіусом 60 м; найкращі ергономічні умови в кабіні машиніста, зручна підніжка для зчіплювача; менша витрата дизельного палива в порівнянні з існуючими тепловозами [4]. У Обнінську на НПП «Політ» створений маневровий тепловоз ЛГМ1 з комбінованою силовою установкою, що включає в себе модуль тягових акумуляторних батарей і дизель-генераторну установку. Тепловоз ЛГМ1 з електричною передачею змінно-постійного струму призначений для виконання легких маневрових і господарських робіт на шляхах

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

роботі (40% в порівнянні з традиційним тепловозом), а також в режимі холостого ходу (86%).

Компанією Japan Freight Railway введений в експлуатацію гібридний маневровий локомотив серії HD300, обладнаний дизелем потужністю 242 кВт і літій-іонною акумуляторною батареєю з номінальною енергоємністю 67,4 кВт-год. Як тягових двигунів використані трифазні синхронні двигуни зі збудженням від постійних магнітів. При випробуваннях на маневровій роботі була отримана економія палива близько 36%, а обсяг викидів окислів азоту був нижче на 61% в порівнянні з традиційними маневровими тепловозами з електричною передачею [5].

Російська компанія «Трансмашхолдинг» спроектувала маневровий тепловоз ТЕМ33 з силовою установкою на базі двох модульних дизель-генераторів у складі дизеля С18 фірми Caterpillar потужністю 2x571 кВт і синхронного тягового генератора. Тепловоз ТЭМ33 дозволяє максимально ефективно оперувати потужністю, уникати перевитрати палива і передчасного зносу силової установки, знизити викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище. Оснащення тепловоза двома дизелями забезпечить при необхідності його роботу на меншій потужності з одним дизелем або, навпаки, дозволить використовувати можливості відразу двох дизелів. Призначений ТЭМ33 для виконання маневрової, маневрово-вивізної, горочної і господарської роботи в депо, на станціях і промислових підприємствах на колії 1520 мм.

Перший російський гібридний тепловоз ТЭМ35 має цілу низку істотних переваг. При однаковій з серійними тепловозами потужності він витрачає менше палива, вимагає менших витрат на технічне обслуговування, більш екологічний. Робота тепловоза найбільш ефективна в режимах частих гальмувань, зупинок, запуску і розгону тепловоза. Новий проект БМЗ-ТЭМ35 - свого роду відповідь на виклики сучасності. У ньому використовуються накопичувачі енергії, в якості яких застосовані електрохімічні конденсатори компанії «ЕЛТОН». ТЭМ35 обладнаний інтелектуальної векторної системою управління тяговим електроприводом і

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- центральний мікропроцесорний пристрій керування тепловозом типу БУЛ розробки ВАТ «ВНКТІ» і інтелектуальні пульти управління;

- гвинтовий компресор з системою плавного пуску і вентилятор охолодження тягових двигунів з можливістю лінійного регулювання витрати охолоджуючого повітря;

- система віддаленого контролю, збору і зберігання інформації АСК і дисплейний модуль вітчизняного виробництва.

ВАТ «Сінара-Транспортні Машини» випустила дводизельний маневрово-вивізний тепловоз з електричною передачею ТЭМ14. Конструкція тепловоза передбачає модульне виконання основних вузлів агрегатів, що забезпечує зручність обслуговування і ремонту тепловоза. Економія палива тепловоза при його експлуатації становить близько 20% .

Енергоефективний тепловоз з інтелектуальним гібридним асинхронним приводом ТЭМ9Н Sinara Hybrid включає більше 20 інноваційних технічних рішень в конструкції. «Sinara Hybrid» має модульну архітектуру виробництва. На рамі тепловоза розміщені дизель-генераторний, кабінний, санітарно-побутовий модулі, а також модуль підготовки стисненого повітря, відсік чистого повітря, модуль перетворювачів і накопичувачів енергії.

Електрична схема тепловоза передбачає наявність в конструкції літій-залізо-фосфатних акумуляторів і суперконденсаторів для зберігання електричної енергії. Тепловоз оснащений асинхронним тяговим приводом з векторним регулюванням моменту на валу двигунів, який є власною розробкою Центру інноваційного розвитку ВТМ. Застосування активних накопичувачів енергії має забезпечувати підтримку роботи тепловоза під час простою протягом 4 годин. Холодний пуск двигуна здійснюється з використанням енергії суперконденсаторів.

Кілька багатодизельних локомотивів створені в Ярославлі на базі тепловоза ЧМЭЗ. Метою розробок було створення тепловозів відповідних перспективним вимогам по екології і витраті палива, а так само вимогам щодо поліпшення умов роботи машиніста. Економія палива ЧМЭЗ з трьохдизельною силовою установкою

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

забезпечується за рахунок того, що в режимі очікування роботи на тепловозі працює дизель-генератор малої потужності, який забезпечує передпусковий прогрів основних дизелів, заряд акумуляторної батареї, роботу компресорної установки, обігрів кабіни управління і роботу мікропроцесорної системи управління. При малих навантаженнях на тягу працює один з дизелів потужністю 478 кВт і тільки при підвищенні навантаження (з 4 позиції контролера) підключається третій дизель-генератор [5].

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.

Створення гібридних маневрових тепловозів з рекуперацією енергії і багатодизельних тепловозів 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 маневрового 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 енергоефективності та паливної економічності.

Різноманіття поєднання різних енергетичних установок при розробці нових маневрових тепловозів вказує, що процес пошуку раціональних варіантів триває, необхідні подальші наукові дослідження в області:

- моделювання виконання маневрової роботи,
- вивчення факторів, що впливають на витрату палива при експлуатації,

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- проектування альтернативного виду автономного рухомого складу.

При створенні маневрових тепловозів нового покоління прагнуть отримати такі ефекти:

- максимальне використання енергії на створення сили тяги;
- зниження енергетичних витрат на допоміжні потреби;
- зниження витрат на придбання пально-мастильних матеріалів;
- зниження витрат на обслуговування і ремонти всіх видів за весь термін служби тепловоза;
- скорочення терміну окупності;
- раціональне співвідношення ціна-якість;
- забезпечення високих екологічних та ергономічних якостей, які відповідають чинним і перспективним вітчизняним і світовим стандартам.

Різноманіття маневрових тепловозів впливає з безлічі видів маневрових операцій і умов їх виконання. При виконанні одного виду маневрової роботи тепловозами однієї серії на одних і тих же ділянках в різні зміни режими експлуатації та режими роботи устаткування маневрових тепловозів варіюються.

Експлуатація маневрових тепловозів характеризується значним часом їх роботи на малих навантаженнях, холостому ходу, перехідних і часткових режимах. Транспортні операції проводяться на невеликих ділянках шляху, при наявності безлічі стрілочних переводів, в умовах малих радіусів кривих, обмеженої видимості сигналів, при низьких швидкостях руху, частій зміні маси складу, великій кількості зупинок, частих розгонах і уповільненнях тепловоза з вагонами і без них. Це викликає необхідність великої кількості перемикачів позицій контролера і реверсування тепловоза зі стрибкоподібними збільшеннями або зменшеннями навантаження, що впливає безпосередньо на режими роботи та паливну економічність маневрових тепловозів в процесі їх експлуатації.

За вище описаним причин моделювання виконання різних видів маневрової роботи є досить складним питанням і відрізняється великою трудомісткістю, що в свою чергу ускладнює правильний вибір конструкції сучасних маневрових

											0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

ТЕПЛОВОЗІВ.

1.2 Аналіз основних режимів роботи маневрових тепловозів

Тривалий простій тепловоза в очікуванні чергового завдання, часта зміна позицій контролера машиніста, робота на низьких позиціях контролера і т.п., тобто режим роботи обумовлюють особливості витрачання палива при маневровій роботі. В цілому ці процеси носять стохастичний характер. Витрата палива на маневрові роботи становить помітну частину загальної витрати дизельного палива тепловозами.

При виконанні маневрових пересувань тепловози працюють в основному на несталих режимах. Для початку руху потягів з місця і розгону потрібні великий зчіпний вагу і великі тягові зусилля, що реалізуються короткочасно при розгонах. В т о же час маневрово-вивізним тепловозів необхідна висока потужність для пересування складів на сусідні станції і вузли.

При цьому маневровий тепловоз повинен забезпечувати максимально можливу, за умовами безпеки, швидкість руху, плавне гальмування, швидке реверсування. Як і до всього тягового рухомого складу до маневрових тепловозів пред'являються вимоги про високу експлуатаційної економічності і надійності.

Тільки на основі аналізу характеру роботи і умов експлуатації можливо визначити яку модель тепловоза доцільно використовувати при певному виді маневрової роботи. Умови виконання маневрової роботи визначають інтенсивність використання маневрових тепловозів, зміна параметрів їх енергетичного ланцюга, режими роботи і, отже, основні технічні вимоги до них.

На основі аналізу маневрової роботи можна виділити наступні основні маневрові операції для автономного маневрового тепловоза [5]:

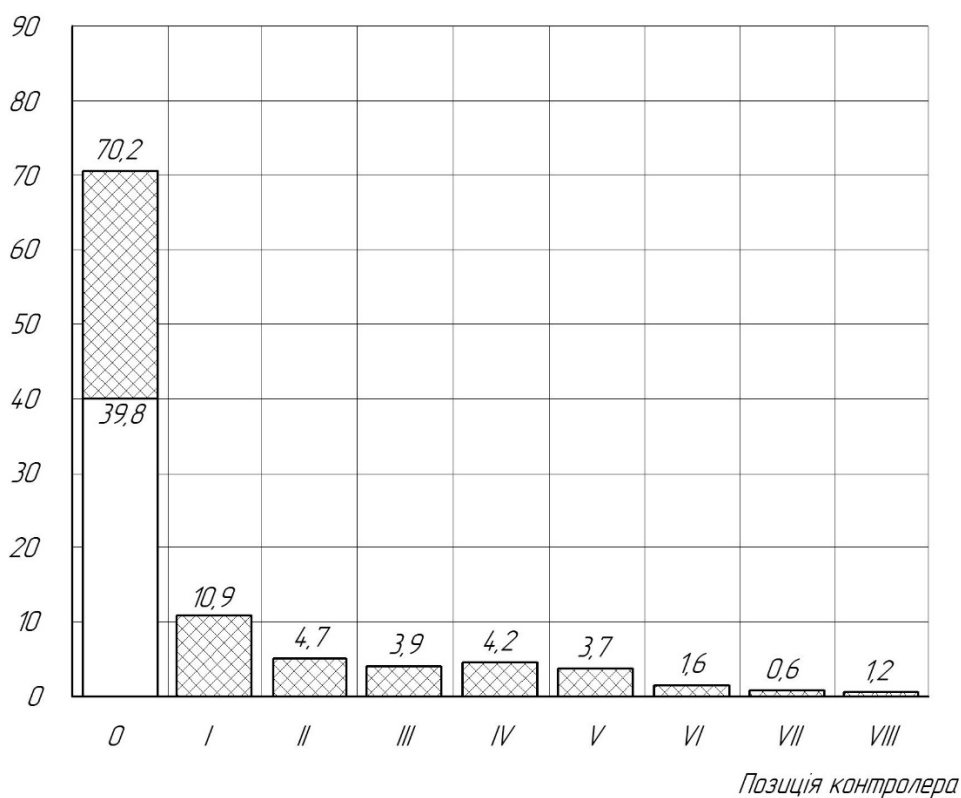
- 1) маневрова робота тепловоза на станції (спеціально – маневрова робота):
 - горочна робота;
 - виконання сортування вагонів на станціях, не обладнаних горками;

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.140290.000.04МР.ПЗ

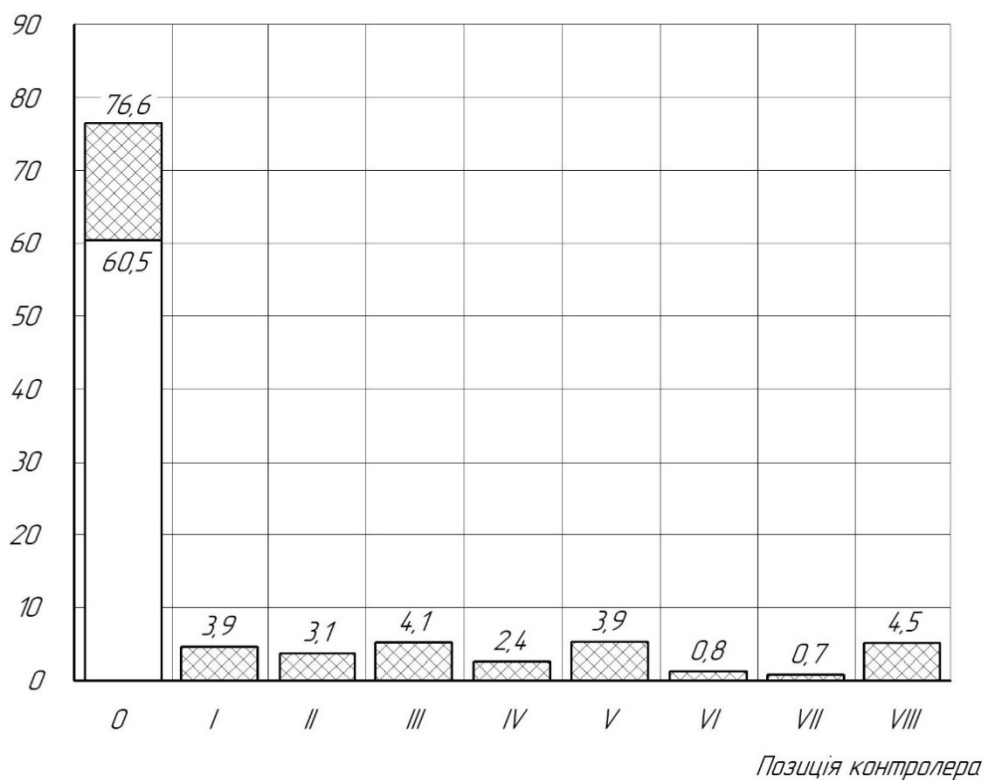
а) вантажна робота

Час роботи, %



б) господарча робота

Час роботи, %



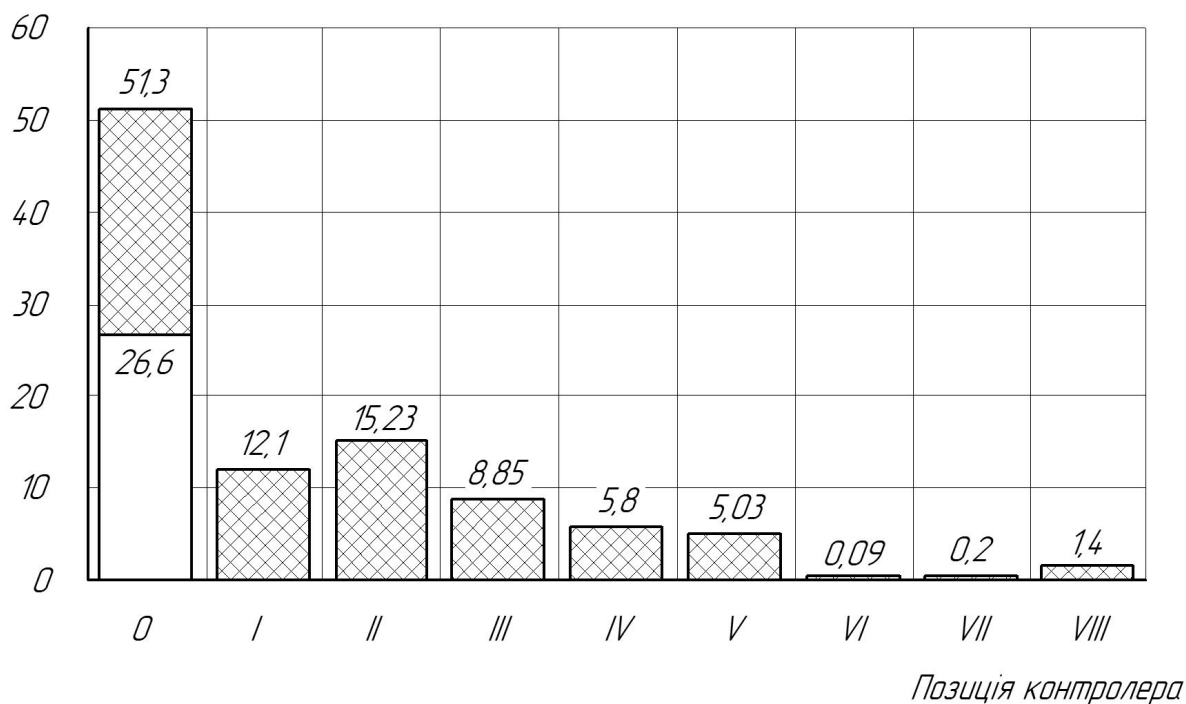
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.140290.000.04MP.ПЗ

Арк.

в) сортувальна робота на горці

Час роботи, %



г) сортувальна робота на витяжці

Час роботи, %

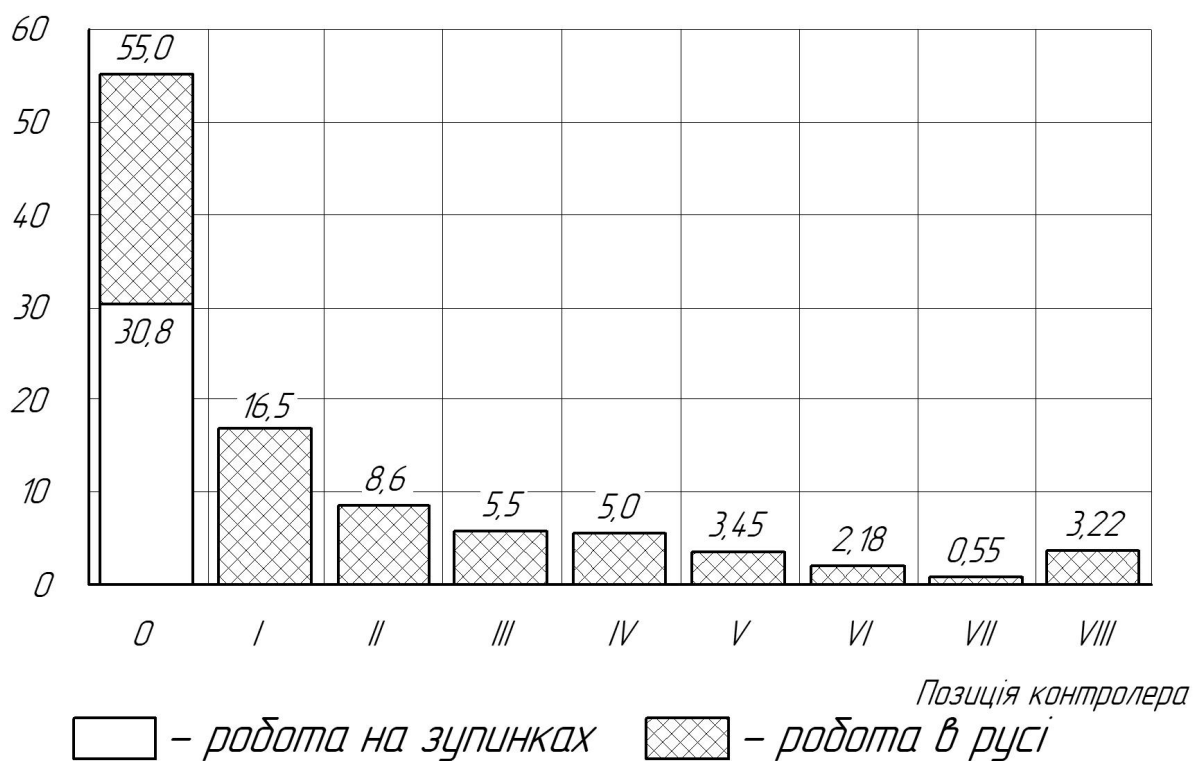


Рисунок 1.1 - Середньостатистичні значення параметрів роботи тепловозів ЧМЕЗ в різних умовах експлуатації

2 МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛОВОЗНИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Режими роботи дизель-генераторних установок (ДГУ) тепловозів визначаються в основному умовами експлуатації, які в свою чергу залежать від багатьох випадкових експлуатаційного факторів [6, 7].

Випадковий характер зміни умов експлуатації призводить до того, що в кожен i -й момент часу τ_i дизель розвиває індикаторну потужність N_i , величина якої також є випадковою величиною. Іншими словами, умови експлуатації формують розподіл потужності і частоти обертання валу дизеля по позиціях контролера машиніста тепловоза. Використання середньої величини потужності і частоти обертання колінчастого вала дизеля мало об'єктивно відображають фактичну завантаження ДГУ в експлуатації і не дають можливості оцінити вплив експлуатаційних факторів на економічність роботи дизельного рухомого складу, розробити організаційні і технологічні заходи, що забезпечують підвищення ефективності експлуатації магістральних і маневрових тепловозів.

Методику формування експлуатаційних режимів роботи тепловозів розглянемо на прикладі роботи ДГУ тепловоза 2ТЭ10М. Ефективна потужність дизеля N_e витрачається на привід тягового генератора $N_{ТГ}$ (потужність, витрачена на тягу поїзда) і привід допоміжних агрегатів $N_{ВА}$, а саме: двомашинного агрегату ($N_{ДА}$), вентиляторів охолодження тягових електродвигунів ($N_{ВТД}$), вентилятора охолодження тягового генератора ($N_{ВТГ}$), гальмівного компресора (N_K), вентилятора шахти холодильника ($N_{ВХ}$) і ін.

Таким чином:

$$N_e = N_{ТГ} + N_{ВА} = N_{ДА} + N_{ВТД} + N_K + N_{ВХ} + N_{ВТГ}, \quad (2.1)$$

У загальному випадку потужність на привід допоміжного обладнання

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропорційна середньому ефективному тиску робочого циклу дизеля на кожній позиції контролера машиніста і для дизеля типу 10Д100 може бути розрахована за відповідними формулами (рисунок 2.1):

$$N_{BX} = -0,16\Pi_k^2 + 10,40\Pi_k + 4,33, \quad (2.2)$$

$$N_K = -0,056\Pi_k^2 + 3,66\Pi_k + 1,52, \quad (2.3)$$

$$N_{BTГ} = -0,024\Pi_k^2 + 1,53\Pi_k + 0,64, \quad (2.4)$$

$$N_{ДА} = -0,042\Pi_k^2 + 2,715\Pi_k + 1,12, \quad (2.5)$$

$$N_{BTД} = -0,065\Pi_k^2 + 4,245\Pi_k + 1,76. \quad (2.6)$$

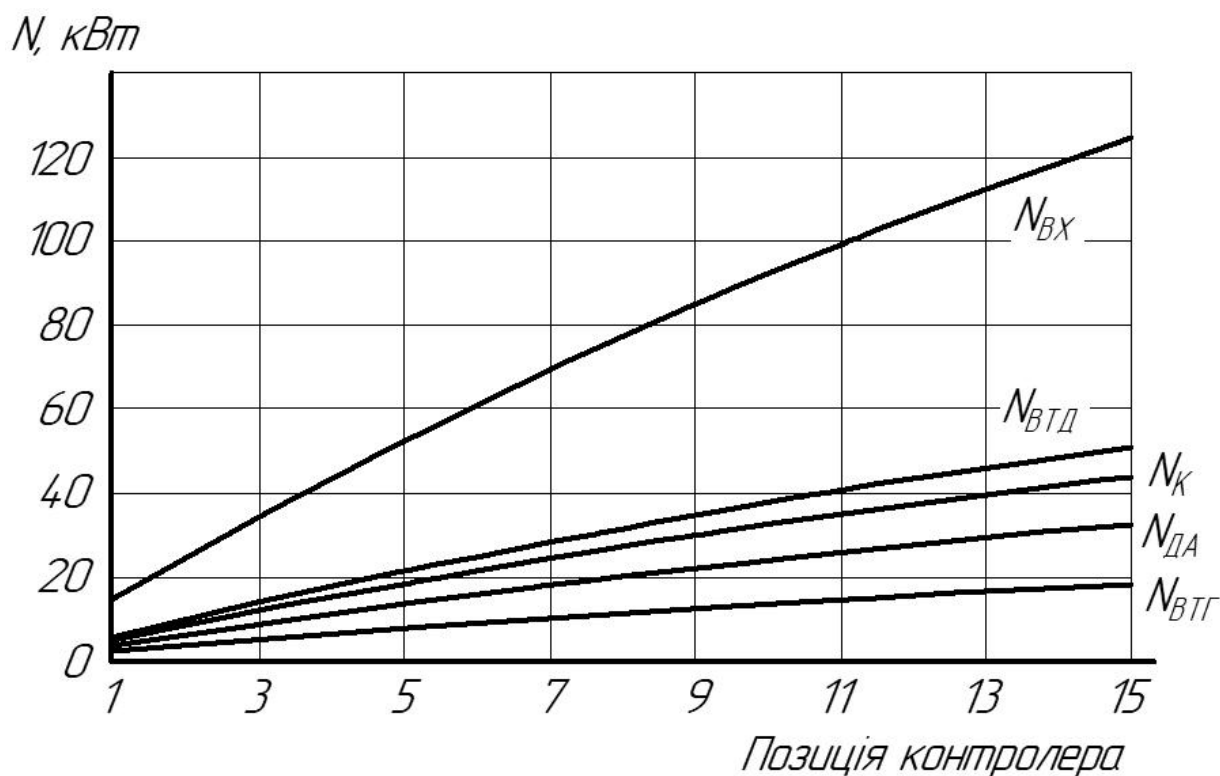


Рисунок 2.1 - Динаміка зміни потужності на привід допоміжного обладнання тепловоза ТЕ10М по позиціях контролера машиніста

В умовах експлуатації для кожної k -й позиції контролера машиніста тепловоза можливі наступні j режими роботи: режим тяги, гальмування, вибігання і гарячого простою на перегоні перед заборонними сигналами і на проміжних

станціях, коли тепловоз з поїздом знаходиться в очікуванні схрещення або обгону. Реалізація кожного j -го режиму в умови поїздки можлива з відповідними частотою α_j і поєднаннями навантажень на дизель з боку допоміжного обладнання.

Залежно від режиму роботи тепловоза змінюється частка часу роботи допоміжних агрегатів під навантаженням, яка може бути представлена як ймовірність того, що той чи інший агрегат в даний момент часу знаходиться під навантаженням.

Так, наприклад, двухмашинний агрегат і вентилятори охолодження тягових двигунів переднього і заднього візка тепловоза і тягового генератора мають механічний привід від вала дизеля, тому завжди знаходяться під навантаженням при роботі дизеля, т. е. $P_{ДА} = P_{ВТД} = P_{ВТГ} = 1$, і величина споживаної потужності цими агрегатами від вала дизеля залежить як від позиції контролера машиніста, так і від режиму роботи тепловоза.

Ймовірність роботи гальмівного компресора P_K і головного вентилятора системи охолодження тепловоза $P_{ВХ}$ і величина відбору потужності цими агрегатами від дизеля істотно залежить від позиції контролера машиніста (рисунок 2.1) і режиму роботи, які, в свою чергу, визначаються умовами експлуатації тепловозів на обраному полігоні дослідження.

У загальному випадку сумарна потужність на привід допоміжних агрегатів для кожного j -го режиму роботи тепловоза розраховується з урахуванням можливих варіантів поєднання спільної роботи агрегатів допоміжного обладнання.

При роботі тепловозів з електричною передачею постійного струму в режимі тяги сумарна потужність на привід допоміжного обладнання може бути розрахована за формулою:

$$N_{BA} = \left(1 - \frac{1}{0,000026P_{ТГ} + 1,0535} \right) \frac{P_{ТГ}}{\eta_{ТГ}}, \quad (2.7)$$

де $P_{ТГ}$ – потужність тягового генератора, кВт;

						0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$\eta_{ТГ}$ – коефіцієнт корисної дії тягового генератора.

У реальних умовах експлуатації потужність на привід j -х допоміжних агрегатів є випадковою нормально розподіленою величиною, параметри якої визначаються за наступним алгоритмом.

За відомою середній величині потужності j -го агрегату для аналізованої позиції і відомому діапазону зміни ефективної потужності дизеля на цій позиції визначається допустимий розкид потужності кожного j -го агрегату, на підставі чого з використанням правила трьох сигм визначається величина середньоквадратичного відхилення.

На підставі закону складання розподілених нормально випадкових величин їх сума за всіма можливими варіантами поєднання навантаження, також буде відповідати нормальному закону розподілу, параметри якого можуть бути визначені за такими виразами:

$$\bar{N}_1 = \bar{N}_{ДА} + \bar{N}_{ВТД}, \sigma_1^2 = \sigma_{ДА}^2 + \sigma_{ВТД}^2, \quad (2.8)$$

$$\bar{N}_2 = \bar{N}_{ДА} + \bar{N}_{ВТД} + \bar{N}_{ВХ}, \sigma_2^2 = \sigma_{ДА}^2 + \sigma_{ВТД}^2 + \sigma_{ВХ}^2, \quad (2.9)$$

$$\bar{N}_3 = \bar{N}_{ДА} + \bar{N}_{ВТД} + \bar{N}_К, \sigma_3^2 = \sigma_{ДА}^2 + \sigma_{ВТД}^2 + \sigma_К^2, \quad (2.10)$$

$$\bar{N}_4 = \bar{N}_{ДА} + \bar{N}_{ВТД} + \bar{N}_К + \bar{N}_{ВХ}, \sigma_4^2 = \sigma_{ДА}^2 + \sigma_{ВТД}^2 + \sigma_К^2 + \sigma_{ВХ}^2. \quad (2.11)$$

Сумарне розподіл потужності на привід допоміжного обладнання тепловоза $N_{ВА}$ визначається за правилом суперпозиції з урахуванням ймовірності роботи окремих елементів допоміжного обладнання:

$$f_{ВА}(N_{ВА}) = P_1 f_1(N_{ВТГ}) + P_2 f_2(N_{ВТД}) + P_3 f_3(N_{ДА}) + P_4 f_4(N_К) + P_5 f_5(N_{ВХ}). \quad (2.12)$$

Математичне сподівання і дисперсія сумарної потужності допоміжних агрегатів визначаються за відповідними правилами:

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{N}_{BA} = N_{BA} \int_{-\infty}^{\infty} f_{BA} N_{BA} dN = P_1 \bar{N}_{BTГ} + P_2 \bar{N}_{BTД} + P_3 \bar{N}_{ДА} + P_4 \bar{N}_K + P_5 \bar{N}_{BX}, \quad (2.13)$$

$$D[N_{BA}] = \int_{-\infty}^{\infty} (N - \bar{N}_{BA})^2 f_{BA} N_{BA} dN = \sum_{i=1}^4 P_i \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^4 P_i (\bar{N}_{BA} - \bar{N}_i)^2, \quad (2.14)$$

Аналіз залежностей, показує, що при роботі тепловоза в режимі холостого ходу імовірнісний розподіл потужності на привід допоміжних агрегатів за формою відповідає експоненціальному розподілу.

При роботі тепловоза в режимі тяги основна частка ефективної потужності дизеля N_e витрачається на привід тягового генератора. В цьому режимі зростають витрати потужності дизеля на привід допоміжних агрегатів, значення яких можуть визначатися по формулам (2.2) – (2.6). Так, внаслідок підвищення теплового режиму дизеля зростають потужність на привід вентилятора холодильника N_{BX} і частка часу його роботи під навантаженням P_{BX} ; збільшення витрати повітря з гальмівної магістралі при веденні поїзда призводить до збільшення частки часу роботи гальмівного компресора P_K під навантаженням і використовуємої потужності. Підвищення швидкісного режиму роботи дизель-генераторної установки з одночасним збільшенням агрегатної потужності дизеля призводить до підвищення потужності двухмашинного агрегату $N_{ДА}$ і вентиляторів охолодження тягового генератора $N_{BTГ}$ і тягових електродвигунів $N_{BTД}$.

Таким чином, при переході від режиму холостого ходу до різних варіантів роботи тепловоза на чолі поїзда спостерігається збільшення середньої потужності дизеля, витраченої на привід допоміжного обладнання N_{BA} , причому збільшення витрат буде відбуватися на тягових позиціях тепловоза (3-я – 15-а позиції). Слід зазначити, що в умовах поїзної роботи, як би добре не була організована система експлуатації локомотивів, поряд з режимом тяги (робота дизеля під навантаженням), який може бути реалізований з ймовірністю α_t , не можна виключати роботу дизеля на холостому ходу при різній частоті обертання колінчастого вала, коли можлива реалізація режимів вибігання з ймовірністю α_b ,

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

гальмування з ймовірністю $\alpha_{\text{тор}}$, гарячого простою на перегоні перед заборонними сигналами і на проміжних станціях з ймовірністю $\alpha_{\text{гп}}$.

На підставі проведених вище досліджень потужність витрачена дизелем на привід допоміжних агрегатів в режимі холостого ходу, може описуватися експоненціальним законом розподілу з щільністю:

$$f_{BA}(N_i) = \lambda_{BA} \exp(-\lambda_{BA} N_i), \quad (2.15)$$

або розподілом Пуассона

$$f_{BA}(P_K) = \frac{\lambda_{BA}^{(P_K)}}{P_K!} \exp(-\lambda_{BA}), \quad (2.16)$$

де λ_{BA} , λ_{IBA} - параметри відповідного розподілу.

При роботі тепловоза в режимі тяги потужність, що витрачається дизелем на привід допоміжних агрегатів, зростає не тільки через збільшення частки часу роботи гальмівного компресора і вентилятора холодильника в навантаженому режимі, а й з-за збільшення потужностей $N_{ДА}$, $N_{ВТД}$, $N_{ВТГ}$ і $N_{ВХ}$.

Таким чином, сумарна потужність дизеля на привід допоміжних агрегатів тепловоза є деякою функцією позиції контролера машиніста $N_{BA} = f(P_K)$, яку відповідно до формул (2.2) – (2.6) можна записати у вигляді:

$$N_{BA} = -0,347 P_K^2 + 22,55 P_K + 9,37, \quad (2.17)$$

Потужність дизеля витрачена на привід тягового генератора $N_{ТГ}$, визначається масою і структурою поїзда, профілем колії, встановленою швидкістю руху, умовами експлуатації, т. е. чинниками, випадково мінливими в часі.

Частка часу роботи ДГУ на кожній позиції контролера машиніста P_{ki} в умовах

						0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

поїзної роботи визначається названими вище чинниками і може бути представлена як статистична ймовірність того, що випадкова величина P_K прийме ту чи іншу значення.

Відповідно до генераторної характеристикою тепловоза на кожній позиції контролера машиніста розвивається певна потужність дизеля при встановленій частоті обертання колінчастого вала і для тепловоза ТЭ10М для кожної P_K -й позиції контролера машиніста можна записати:

$$n_d^{(P_K)} = -0,297P_K^2 + 26,068P_K + 396, \quad (2.18)$$

$$P_{TG}^{(P_K)} = 2,148P_K^2 + 85,11P_K. \quad (2.19)$$

Як показують експериментальні дослідження, проведені на ряді залізниць, і теоретичні розрахунки, виконані по формуванню режимних карт ведення поїзда на досліджуваних полігонах експлуатації, ймовірність реалізації P_K -й позиції контролера машиніста протягом поїздки може бути описана або нормальним законом розподілу в припущенні, що значення незалежної змінної (позиція контролера машиніста) приймає тільки цілочисельні значення, або законом розподілення дискретної випадкової величини, наприклад законом Пуассона.

На підставі виконаних досліджень можна стверджувати, що ефективна потужність дизеля в режимі тяги для кожної P_K -й позиції контролера машиніста може бути представлена у вигляді суми:

$$N_e^{(P_K)} = N_{TG}(P_K) + N_{BA}(P_K), \quad (2.20)$$

т. е. у вигляді суперпозиції двох законів розподілу Пуассона:

$$f(P_K) = C_1 \frac{\lambda_{BA}^{(P_K)}}{P_K!} \exp(-\lambda_{BA}^{(P_K)}) + C_2 \frac{\lambda_1^{(P_K)}}{P_K!} \exp(-\lambda_1^{(P_K)}), \quad (2.21)$$

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або у вигляді суперпозиції експоненціального і нормального розподілів в припущенні, що незалежна змінна Π_{K1} буде приймати тільки цілочисельні значення:

$$f(\Pi_K) = C_1 \exp(-\lambda_{BA}^{(\Pi_K)}) + C_2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Pi_K}}} \exp\left(-\frac{\Pi_{K1} - \bar{\Pi}_K}{2\pi\sigma_{\Pi_K}^2}\right), \quad (2.22)$$

У виразах (2.21), (2.22) величини є параметри розподілів, значення яких необхідно визначати за результатами експлуатації тепловозів на обраному полігоні обслуговування.

На підставі відомого закону розподілу потужності дизеля по позиціях контролера машиніста $N_e=f_1(\Pi_K)$, залежно питомої витрати палива дизелем $b_e=f_2(\Pi_K)$ та ймовірності (частки) реалізації потужності на кожній позиції контролера машиніста на протязі години, визначеної за виразами (2.21) або (2.22), розраховується математичним очікуванням експлуатаційного питомої витрати палива дизелем в поїзної роботі:

$$\bar{b}_e = \sum_{\Pi_K=0}^{15} f_1(\Pi_K) f_2(\Pi_K) f_3(\Pi_K). \quad (2.23)$$

Таким чином, вираз (2.23) являє собою залежність економічності тепловозного дизеля від основних експлуатаційних факторів, що формують режими його роботи, і може бути використано для оцінки ефективності і вдосконалення прийнятої системи експлуатації дизельного рухомого складу. [8]

Дані дослідження можуть бути використані для прогнозування паливної економічності серій дизельного рухомого складу в реальних умовах експлуатації.

Висновки до розділу. Розглянута модель формування режимів роботи ДГУ в експлуатації, яка являє собою залежність економічності дизеля від основних експлуатаційних факторів, що формують режими його роботи, і може бути використано для оцінки його ефективності.

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3 ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОДИЗЕЛЬНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЗА

3.1 Обґрунтування застосування дводизельної силової установки для тепловоза

Режими роботи тепловозів різних родів служби в експлуатації відрізняються великою різноманітністю і залежать від безлічі факторів. Найбільш значимими факторами є: профіль колії, графік руху поїздів, рід вантажу і обсяг виконуваної роботи, завантаженості ділянки, станції або промислового підприємства, кліматичні умови, тип передачі потужності (електрична, гідравлічна), а також параметри енергетичної установки тепловоза. Широка номенклатура, застосовуваних дизелів в якості силових установок додатково збільшує число чинників, які впливають на режими роботи тепловозів [9].

Аналіз даних показує, що коефіцієнт використання потужності бруто магістральних тепловозів значно вище, ніж маневрових. Також великі значення цей коефіцієнт має для пасажирських тепловозів в порівнянні з вантажними за рахунок меншої роботи на холостому ході. Коефіцієнт використання потужності під навантаженням вантажних тепловозів трохи вище, ніж пасажирських. Коефіцієнти використання потужності маневрових тепловозів істотно менше значень коефіцієнтів як пасажирських, так і вантажних тепловозів. Зате час роботи на холостому ході і малих позиціях контролера машиніста у маневрових тепловозів значно вище.

Середньостатистичні дослідження показують, що вантажний локомотив працює від 45 до 50%, а маневровий до 80% від усього часу роботи з потужністю до 50% від номінального значення. Час роботи вантажного локомотива з повною потужністю не перевищує 10%, а маневрового всього 1-3%. Число перемикачів позицій контролера машиніста за годину роботи для вантажного локомотива становить в середньому 50-60, пасажирського 110-115, маневрового більше 130.

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімальне значення питомої витрати палива спостерігається у всіх дизелів в різних режимах. Діапазон цих режимів досить широкий і становить в середньому від 0,6 до 0,9 номінальної частоти і від 0,25 до 0,45 ефективної потужності дизеля. З цих причин застосування на тепловозах дизеля з високою розрахунковою економічністю на номінальному режимі не завжди призводить до очікуваного підвищення експлуатаційної економічності тепловоза. Це пов'язано в першу чергу з несприятливим (невдалим) розташуванням їх тепловозних характеристик і кривих питомої витрати палива щодо діаграми режимів роботи тепловоза по позиціях.

Як зазначалося раніше, силові установки практично всіх тепловозів, незалежно від роду служби, близько 50% (а маневрових тепловозів і більше) сумарного часу працюють на холостому ходу. Тому витрата палива на режимі холостого ходу являє істотну частку від загальних витрат палива в експлуатації тепловоза, незважаючи на те, що часовий витрата палива на холостому ходу значно менше, ніж під навантаженням.

Всі дослідження, спрямовані на зниження витрати палива тепловозами і підвищення їх ККД, ведуться протягом багатьох років, починаючи з моменту винаходу тепловозів до теперішнього часу. Незважаючи на те, що розвиток тепловозобудування досягло високих ступенів досконалості, все ж є можливості підвищення ефективності роботи як самих тепловозів, так і їх силових установок - дизелів. Умовно можна намітити чотири напрямки:

- 1) удосконалення експлуатації тепловозів і організації їх руху;
- 2) підтримка необхідного в експлуатації теплотехнічного стану силової установки тепловоза;
- 3) удосконалення конструкцій силової установки тепловоза і його допоміжних агрегатів і систем;
- 4) пристосовність тепловозних дизелів до умов експлуатаційної роботи.

Четвертий напрямок досліджень, присвячених підвищенню значення середньоексплуатаційного ККД тепловоза за рахунок зниження витрати палива, та

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.140290.000.04МР.ПЗ				

пов'язане з пристосуванням дизелів до умов експлуатації. Під пристосуванням до умов експлуатації слід розуміти таку роботу дизелів, коли більшу частину часу він працює на режимах, відповідних максимальної економії палива або хоча б близьких до них. Це досягається шляхом оптимізації тепловозних характеристик за умовою досягнення найменшого витрати палива в переважних експлуатаційних режимах роботи. Оптимізація тепловозних характеристик здійснюється шляхом їх узгодження з розподілом часу по позиціях контролера машиніста.

До основних способів пристосування силових установок тепловозів до умов експлуатації є секційна тяга і застосування багатодизельних силових установок.

Іншим способом пристосувати енергетичну установку тепловозів до умов експлуатації є застосування дводизельних або навіть багатодизельних енергетичних установок. Такий спосіб має на увазі заміну однієї дизельної установки розрахункової потужності на силову установку з двох і більше дизелів, сумарна потужність яких дорівнює розрахункової. Це дозволить знизити витрату палива тепловозом за рахунок роботи кожного дизеля в режимах близьких до найбільш економічному. Також з'являється можливість зупиняти один з дизелів тепловоза в процесі роботи, що також позитивно позначиться на довговічності, надійності і знос його вузлів і агрегатів. Попередній аналіз економічного розрахунку показує, що експлуатаційні витрати на паливо і технічне обслуговування багатодизельного тепловоза при безсумнівному подорожчання первісної вартості тепловоза призведе до позитивного ефекту [10].

У даній роботі пропонується спосіб підвищення економічності енергетичних установок тепловозів за рахунок узгодження витратних характеристик з графіками навантаження дизелів тепловозів. Це пропонується робити шляхом заміни енергетичної установки з одного дизеля на енергетичну установку з декількох транспортних дизелів з умовою, що сумарна потужність цих дизелів дорівнює номінальній потужності заміненого дизеля.

При цьому принцип навантаження дводизельної силової установки наступний: спочатку навантажуються головний дизель до номінальної потужності,

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужностей двигунів дводизельної енергетичної установки.

Перша комбінація відповідає сумі потужностей ділянок $У1$ і $У2$. Таким чином, перший двигун $Д1$ буде мати номінальну потужність:

$$N_e^{Д1} = N_{e1}, \quad (3.1)$$

другий двигун $Д2$:

$$N_e^{Д2} = N_{e2} + N_{e3} + N_{e4} + \dots + N_{en}, \quad (3.2)$$

Друга комбінація відповідає ділянкам $У3$ і $У4$. Отже, потужність першого двигуна $Д1$:

$$N_e^{Д1} = N_{e1} + N_{e2}, \quad (3.3)$$

потужність другого двигуна $Д2$:

$$N_e^{Д2} = N_{e3} + N_{e4} + \dots + N_{en}, \quad (3.4)$$

За аналогічним принципом будь-яка здатність навантаження діаграма може бути розбита на ділянки, відповідні номінальній потужності двигуна, що мається на увазі під кожною ділянкою діаграми навантаження.

Кінцевою метою розбиття навантажувальної діаграми на різні ділянки є визначення всіх можливих комбінацій процентних співвідношень потужності двигунів, що входять до складу багатодизельної силової установки. З усіх наявних комбінацій двигунів необхідно вибрати ту, яка буде відповідати мінімальному часовому витраті палива.

Порівняльні розрахунки витрат палива відповідно до діаграмм

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження, показаної на рисунку 3.1 дають наступні результати – дизель потужністю 1000 кВт за добу витрачає 235,1 кг палива.

Якщо на даному тепловозі застосувати дводизельну силову установку з двома дизелями сумарною потужністю 1000 кВт, при цьому потужність першого дизеля становитиме 50 кВт, а потужність другого дизеля 950 кВт, то витрата складе 146,8 кг палива на добу.

Дводизельна силова установка з потужністю першого дизеля 100 кВт, другого дизеля 900 кВт буде витратити 142,2 кг палива на добу.

Дводизельні маневрові тепловози будуються для експлуатації на залізницях України, тому питання їх економічної експлуатації на сьогоднішній день дуже важливі і актуальні.

В кінці 2008 року на Московській залізниці почав роботу дослідний варіант дводизельного маневрового тепловоза. Даний тепловоз був виготовлений на базі маневрового тепловоза ЧМЕЗ №4342. Роботи з модернізації тепловоза проводилися на підприємстві ВАТ «Ярославський електровозоремонтний завод».

Брянський машинобудівний завод готує до випуску новий маневровий тепловоз ТЭМ33 з дводизельною енергетичною установкою, що складається з двох дизель-генераторів.

Порівняльні розрахунки витрат палива, показують з точки зору витрат палива економічність застосування на тепловозах дводизельних енергетичних установок [9].

3.2 Визначення середньоексплуатаційного ККД багатодизельної силової установки

Вираз для визначення середньоексплуатаційного ефективного ККД багатодизельної силової енергетичної установки (БСУ) можна записати у вигляді:

										0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$\eta_e^{BCU} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_{eij}}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_{ij} \right) \cdot Q_H^P}, \quad (3.5)$$

де n – кількість дизелів в установці;

m – кількість режимів роботи БСУ;

L_{eij} – робота, виконана i -м дизелем в j -м режимі роботи БСУ, кВт;

G_{ij} – витрата палива i -м дизелем в j -м режимі роботи БСУ, кг;

Q_H^P – питома теплота згоряння палива, кДж/кг.

Витрата палива i -м дизелем в j -м режимі роботи БСУ:

$$G_{ij} = (g_{eij} \cdot N_{eij} + g_{ixx}) \cdot t_{ij}, \quad (3.6)$$

де g_{eij} – питома ефективна витрата палива i -м дизелем в j -м режимі роботи БСУ, кг/(кВт-год);

N_{eij} – ефективна потужність i -го дизеля в j -м режимі роботи БСУ, кВт;

t_{ij} – час роботи i -го дизеля в j -м режимі роботи БСУ, год;

b_{ixx} – витрата палива i -м дизелем на холостому ходу, кг/год.

У кожному j -му режимі роботи БСУ i -й дизель може працювати або під навантаженням, або на холостому ходу. В першому випадку виконуються умови:

$$N_{eij} > 0, b_{ixx} = 0, \quad (3.7)$$

у другому випадку:

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{eij} = 0, b_{ixx} > 0, \quad (3.8)$$

Робота i -го дизеля в j -м режимі роботи БСУ:

$$L_{eij} = N_{eij} \cdot t_{ij}, \quad (3.9)$$

Питома ефективна витрата палива i -го дизеля в j -м режимі роботи БСУ:

$$g_{eij} = \frac{3600}{\eta_{eij} \cdot Q_H^P}, \quad (3.10)$$

де η_{eij} - ефективний ККД i -го дизеля в j -м режимі роботи БСУ.

Відповідно:

$$\eta_e^{BCU} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (N_{eij} \cdot t_{ij})}{\frac{Q_H^P}{3600} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\left(\frac{N_{eij}}{\eta_{eij}} + b_{ixx} \right) \cdot t_{ij} \right) \right)}, \quad (3.11)$$

У кожен момент часу має виконуватися умова:

$$\sum_{i=1}^n N_{eij} = N_j^{BCU}, \quad (3.12)$$

де N_j^{BCU} - необхідна потужність силової установки в j -м режимі її роботи, кВт [10].

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3.3 Визначення середьоексплуатаційного ККД багатодизельного тепловоза

Під агрегатними потужностями багатодизельної силової установки слід розуміти номінальні потужності окремих дизелів, що утворюють спільно силову установку. Оскільки одна і та ж номінальна потужність установки може досягатися при різному співвідношенні потужностей що входять в неї двигунів, актуальною є завдання вибору раціональної компоновки БСУ.

Класичний підхід до постановки оптимізаційної задачі включає наступну послідовність дій:

- 1) визначення характеристичного критерію;
- 2) визначення меж системи;
- 3) визначення незалежних змінних;
- 4) побудова моделі системи.

Об'єктивною характеристикою експлуатаційної економічності тепловоза, що враховує як характеристики і режими роботи дизелів, так і особливості експлуатаційних режимів роботи тепловоза, є середьоексплуатаційний коефіцієнт корисної дії тепловоза.

Середьоексплуатаційний ККД тепловоза з дводизельною СУ визначається наступним чином:

$$\eta_e^{БСУ} = \frac{\sum_{j=1}^m (N_{e1j} + N_{e2j}) \cdot t_j \cdot \eta_{ПМ}^j}{\left(\sum_{j=1}^m \left(\frac{N_{e1j}}{\eta_{N_{e1j}}} + \frac{N_{e2j}}{\eta_{N_{e2j}}} + \frac{Q_H^P}{3600} \cdot (b_{1xx} + b_{2xx}) \right) \cdot t_{ij} \right)}, \quad (3.13)$$

де $\eta_{ПМ}^j$ - ККД передачі потужності тепловоза в j -м режимі роботи тепловоза.

Вираз (3.13) може бути прийнято в якості характеристичного критерію оптимальності компоновки багатодизельної силової установки.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Наступним етапом постановки оптимізаційної задачі є визначення меж системи, яка підлягає оптимізації.

В даному випадку такою системою є дизельні двигуни багатодизельної силової установки і його електрична передача потужності.

Витрати потужності на привід допоміжних агрегатів тепловоза вважаються постійними, незалежними від сумарної потужності силової установки і окремих дизелів.

Підставою для такого припущення є широке застосування на сучасних тепловозах електричного приводу допоміжних агрегатів з живленням їх від бортової мережі змінного струму з напругою 220 або 380 В.

Потужності N_{e1j} і N_{e2j} дизелів, що входять до складу БСУ, в кожному j -му режимі БСУ можуть вибиратися незалежно, але при цьому має виконуватися умова:

$$N_{e1j} + N_{e2j} = N_j^{BCV}, \quad (3.14)$$

де N_j^{BCV} - задана потужність силової установки в j -м режимі, кВт.

Крім того, цілком очевидними є обмеження:

$$N_{e1j} \leq N_{e1}^{HOM}, \quad (3.15)$$

$$N_{e2j} \leq N_{e2}^{HOM}, \quad (3.16)$$

Ефективний коефіцієнт корисної дії кожного з дизелів є функцією його ефективної потужності:

$$\eta_{e1j} = f_1(N_{e1j}), \quad (3.17)$$

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{e2j} = f_2(N_{e2j}), \quad (3.18)$$

Середньоексплуатаційний коефіцієнт корисної дії електричної передачі потужності тепловоза в j -м режимі його роботи визначається головним чином потужністю силової установки N_j^{BCV} і середнім струмом $I_{ТГ}^{cp}$ тягового генератора в відповідному режимі:

$$\eta_{ПМj} = f_3(N_j^{MCV}, I_{ТГ}^{cp}), \quad (3.19)$$

Значення миттєвих витрат палива на холостому ході $b_{1x.x}$ і $b_{2x.x}$ є характеристиками дизелів і під час виконання завдання можуть розглядатися як відомі константи.

З огляду на умову (3.14), можна прийняти в якості незалежних змінних значення потужності одного з дизелів (в загальному випадку будь-якого) в режимах $1...m$, а критерій (3.15) розглядати як функцію m змінних [10].

Висновок до розділу. Визначена методика розрахунку витрати палива та середньоексплуатаційного ККД тепловоза з багатодизельною силовою установкою.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.140290.000.04МР.ПЗ					

4 ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ

4.1 Досвід експлуатації багатодизельних тепловозів за кордоном

В Європі накопичений певний досвід з модернізації тепловозів із застосуванням двох дизелів замість одного. Проведений аналіз цього напрямку для поновлення тепловозного парку показав наступне:

- більшість проектів модернізації тепловозів із застосуванням двох дизелів було виконано для приватних компаній-операторів з урахуванням особливостей їх експлуатаційної роботи;

- спочатку переваги від впровадження цього варіанту модернізації обґрунтовувалися установкою на тепловозі двох, щодо недорогих, автомобільних дизелів серійного виробництва - досвід Чехії;

- компанії, що реалізують вантажні і пасажирські перевезення в першу чергу розцінювали тепловози, оснащені двома дизелями, як локомотиви зі збільшеною в два рази експлуатаційної надійністю в порівнянні з однодизельним варіантом - досвід Німеччини;

- основною причиною використання приватними компаніями дводозельних тепловозів, особливо при роботі в тунелях, а також маневрової службі в умовах міської інфраструктури, була необхідність дотримання жорстких вимог по зменшенню викидів забруднюючих речовин, випромінювання шуму і забезпечення гарантованої надійності - досвід Франції.

У доповненні вищесказаного необхідно додати, що в даний час європейський парк модернізованих дводозельних тепловозів є відносно невеликим.

У літературних джерелах практично відсутні дані по оцінці ефективності варіантів модернізації тепловозів з двома дизелями при виконанні ними маневрово-вивізної роботи.

В Інституті рухомого складу Краківської Політехніки, був проведений

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

техніко-економічний аналіз доцільності модернізації чотиривісних маневрових тепловозів SM42 в варіанті з двома ДГУ установками. Пропозиція такого рішення для поновлення тепловозів серії SM42 було підготовлено одним із заводів по ремонту і модернізації рухомого складу.

Технічна частина аналізу передбачала проведення оцінки експлуатаційної витрати палива і тягових властивостей локомотива. Оцінка ефективності модернізації тепловоза SM42 проводилася шляхом аналізу вартості життєвого циклу.

Модернізовані дводизельні тепловози SM42 призначені для виконання маневрово - вивізної роботи зі складами вагою 15000кН і більш. Як ДГУ було запропоновано використовувати сучасний дизель С15 компанії Caterpillar і тяговий синхронний генератор.

У літературних джерелах з питань застосування дводизельних тепловозів підкреслюється, що одним з переваг такого рішення є зниження витрати палива в експлуатації в порівнянні з тепловозами обладнаними однієї ДГУ установкою. Такі ж висновки сформулював виробник в своїй пропозиції на модернізацію тепловозів SM42 в дводизельном варіанті.

З проведеного аналізу визначили, що по паливній економічності дводозельний тепловоз SM42, при роботі однієї або двох ДГУ установок, поступається однодизельному варіанту. Експлуатація дводизельного локомотива, при періодичній роботі тільки одного з ДГУ, теж не принесе очікуваних ефектів в області продовження терміну служби дизелів до планового заводського ремонту.

До подібних висновків, з питань порівняння паливної економічності тепловозів обладнаних одним або багатьма дизелями, прийшли фахівці компанії Siemens.

Більш повна картина стосується порівняння паливної економічності - витрат на паливо, одне - і дводизельного тепловоза SM42 буде отримана в результаті аналізу вартості життєвого циклу локомотивів з урахуванням осереднених режимів роботи їх силових установок в експлуатації.

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оцінка прогнозованих тягових властивостей модернізованого дводизельного тепловоза SM42 проводилася на основі аналізу розрахункових тягових характеристик і характеристики рівноважних швидкостей локомотива.

Реалізація на дводизельних тепловозах SM42 оптимального алгоритму роботи силових установок обумовлює необхідність розробки мікропроцесорної системи управління приводом локомотива. В даний час у виробників мікропроцесорної техніки накопичений невеликий досвід по розробці подібних систем для модернізації тепловозів з двома ДГУ. У літературних джерелах відсутні об'єктивні дані про експлуатаційної надійності і економічності дводизельного варіанта локомотива.

Дводизельні тепловози SM42 після модернізації пройшли необхідний обсяг стендових і експлуатаційних випробувань для отримання Сертифікату відповідності.

Модернізовані тепловози SM42 з двома ДГУ установками виконують в експлуатації маневрово-вивізну роботу паралельно з іншими тепловозами цієї серії. За аналізом даних експлуатації, ці локомотиви працюють переважно с включеними двома дизелями, які забезпечують рух тепловозів із середньою дільничної швидкістю 20 км/год з складами вагою до 15000кН на профілі $i = 0 \%$.

В результаті аналізу експлуатаційних даних по роботі дводизельних тепловозів SM42, в період 2012 - 2013рр., було встановлено наступне:

- середня експлуатаційна витрата палива локомотивом при маневрово-вивізній роботі склав 12 кг/год;
- для модернізованого тепловоза SM42 с одним дизелем С27 ця величина знаходиться в межах 7,6 - 9,3 кг/год;
- середня кількість непланових ремонтів по тепловозу склало 12,4 за рік;
- число відмов по тепловозів SM42 розподілялося таким чином: системи дизеля - близько 13% від всіх відмов; силові і допоміжні ланцюги тепловоза - в середньому 57% відмов; пневматичні системи - близько 18% відмов; системи пильності, вимірювальні прилади, швидкостемір - 6% відмов; інші вузли і системи

										0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

- близько 6% відмов.

Застосування на модернізованих тепловозах SM42 двох дизель-генераторів, замість одного з дизелем С27, не призводить до очікуваної економії палива в експлуатації. У порівняльних умовах експлуатації одно - і дводизельного тепловозів SM42 середнє експлуатаційний витрата палива тепловозом з двома Д-Г на 30% вище витрати палива тепловозом з одним дизелем типу С27.

Вартість життєвого циклу модернізованих дводизельних тепловозів розраховувалася у вигляді прогнозованої - на етапі розробки технічних завдань, і фактичною - на основі експлуатаційних даних, величин.

Витрати на придбання дводизельного локомотива визначалися відповідно до його обсягом модернізації. Підставою для формування цих витрат була ціна реалізованих варіантів модернізації тепловозів SM42 з одним дизелем С27. З огляду на ціни, що заявляються виробниками, основних вузлів, комплектуючих і систем для дводизельного локомотива - дві силові установки, два мотор-компресора, два охолоджуючих агрегату, мікропроцесорний контролер, який взаємодіє з більш складною системою управління приводом тепловоза, витрати на придбання такого варіанту локомотива були визначені на рівні 15% вище в порівнянні з витратами на придбання одnodизельного тепловоза SM42.

Оцінка витрат палива, при аналізі LCC модернізованого тепловоза з двома ДГУ, проводилася на основі загальноприйнятих методик з використанням характеристик витрати палива дизелями і осереднених режимів роботи тепловозів SM42 в маневрово - вивізної роботі на Придніпровській залізниці.

Витрати непланових ремонтів локомотивів в моделі LCC визначалися з використанням функції інтенсивності відмов $\lambda(t)$. Для оцінки функції $\lambda(t)$ по локомотиву застосовувалися методи прогнозування надійності на основі експлуатаційних даних.

З аналізу фактичної величини LCC випливає, що витрати життєвого циклу дводизельного тепловоза SM42 на 27% вище LCC одnodизельного варіанту для режиму роботи силових установок. Витрати на паливо в життєвому циклі

											0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

у режимі «легкої» маневрової роботи (більшість часу локомотив працює у режимі холостого ходу), а також «важкої» вивізної маневрової роботи. Результати розрахунків наведені на рисунках 4.1 - 4.4 .

4.3 Розрахунок основних показників роботи багатодизельних тепловозів

Для поліпшення експлуатаційних показників роботи маневрових тепловозів пропонується використати в експлуатації дво- та тридизельні тепловози.

В якості дводизельного тепловоза візьмемо модернізований тепловоз ЧМЭЗ, у якого замість штатного дизеля К6S310DR, будуть встановлені дві блочних дизель-генераторні установки с дизелем ЯМЗ-8502.10 кожна.

На модернізованому тридизельному тепловозі до двох дві блочних дизель-генераторних установок с дизелями ЯМЗ-8502.10, встановлена дизель-генераторна установка с дизелем Cummins C33D5, який буде працювати тільки на привід допоміжних систем та власних потреб тепловоза.

Головною умовою роботи багатодизельних силових установок приймемо те, що коли для забезпечення необхідної потужності тепловоза достатньо роботи одного двигуна, то другий двигун вимкнений, але знаходиться в режимі «горячого простою» за рахунок системи охолодження працюючого двигуна.

Технічні характеристики двигунів ЯМЗ-8502.10 та Cummins C33D5 представлені в таблиці 4.1 та рисунку 4.5 [13].

Виконаємо розрахунок добової витрати палива та середньодобового ККД силової установки тепловоза ЧМЭЗ, дводизельного та тридизельного тепловоза в різних умовах експлуатації згідно даних представлених на рисунках 1.1 – 1.4.

Тепловоз ЧМЭЗ при виконанні сортувальної роботи на горці працює 1,4% робочого часу на 8 позиції контролера.

Відповідно час роботи на даній позиції становить:

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики силових установок

Параметр	Значення по дизелям	
	Cummins C33D5	ЯМЗ-8502.10
Потужність, кВт	26	480
Частота обертання колінвала, хв ⁻¹	1500	2000
Кількість циліндрів	4	12
Робочий об'єм, 10 ⁻³ м ³	3,3	25,86
Витрата палива, кг/год:		
- при 100% навантаженні	6	110
- при роботі на холостому ході	-	8
Маса, кг	875	2100

$$t_{ij} = \frac{1,4}{100} \cdot T_{дооб}, \quad (4.1)$$

де $T_{дооб}$ – тривалість роботи маневрового локомотива за добу, год.

Приймаємо $T_{дооб} = 23,5$ год.

$$t_{18} = \frac{1,4}{100} \cdot 23,5 = 0,33 \text{ год.}$$

Сумарну потужність на привід допоміжного обладнання визначимо за формулою:

$$N_{BAij} = N_{BA}^{xx} + \left(1 - \frac{1}{0,000026 P_{Tij} + 1,0535} \right) \frac{P_{Tij}}{\eta_{TГ}}, \quad (4.2)$$

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де $P_{ТГij}$ – потужність тягового генератора, кВт;

$\eta_{ТГ}$ – коефіцієнт корисної дії тягового генератора; приймаємо $\eta_{ТГ}=0,93$;

N_{BA}^{xx} – потужність на привід допоміжного обладнання при роботі дизеля на холостому ході, кВт; згідно [8] приймаємо $N_{BA}^{xx}=26$ кВт.

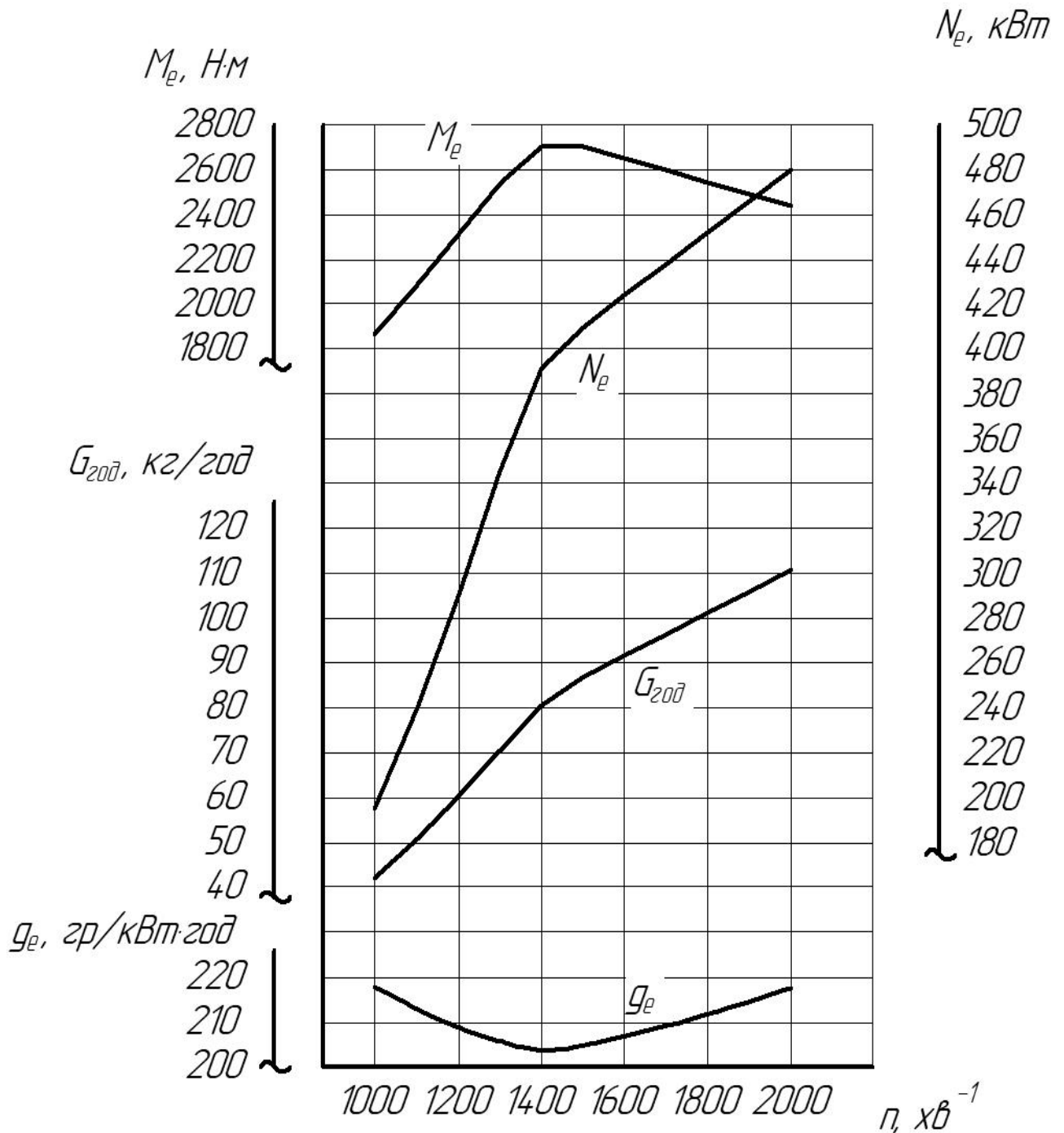


Рисунок 4.5 – Швидкісна характеристика дизеля ЯМЗ-8502.10-08

Відповідно до таблиці 4.2 на 8 позиції контролера машиніста потужність генератора $P_{ТГ8}=840$ кВт [14, 15].

Таблиця 4.2 – Потужність тягового генератора тепловоза ЧМЭЗ по позиціям контролера машиніста

Позиція контролера	Число обертів, хв ⁻¹	Струм, А	Напруга, В	Потужність, кВт
1	345	500	80	40
2	370	800	150	120
3	410	1200	160	192
4	450	1500	190	285
5	500	1800	230	410
6	550	2000	280	560
7	650	2000	350	720
8	740	2400	350	840

$$N_{BA8} = 26 + \left(1 - \frac{1}{0,000026 \cdot 840 + 1,0535} \right) \cdot \frac{840}{0,93} = 89 \text{ кВт.}$$

Потужність, яка витрачається дизелем на привод тягового генератора, визначимо за формулою:

$$N_{ТГj} = \frac{P_{ТГj}}{\eta_{ТГ}}, \quad (4.3)$$

$$N_{ТГ8} = \frac{840}{0,93} = 903 \text{ кВт.}$$

Ефективна потужність дизеля при роботі на цій позиції буде становити:

$$N_{eij} = N_{ТГij} + N_{ВAiij}, \quad (4.4)$$

$$N_{e8} = 903 + 89 = 992 \text{ кВт}.$$

Корисну роботу, яку силова установка виконає при роботі на цій позиції, визначимо за формулою:

$$L_{ij} = t_{ij} \cdot P_{ТГij}, \quad (4.5)$$

$$L_8 = 0,33 \cdot 840 = 277 \text{ кВт-год}.$$

Добову витрату палива i -м дизелем в j -м режимі роботи БСУ визначимо за формулою:

$$B_{ij} = t_{ij} \cdot G_{ij}, \quad (4.6)$$

На 8 позиції година витрата палива дизелем становить $G_8=215$ кг/год (таблиця 4.3). Відповідно:

$$B_8 = 0,33 \cdot 215 = 71 \text{ кг}.$$

Результати розрахунку по решті позицій для тепловоза ЧМЄЗ при виконанні сортувальної роботи на горці представимо в таблиці 4.4.

Як видно з розрахунку, за добу тепловоз ЧМЭЗ витратить 732,7 кг палива, виконавши при цьому 2139 кВт-год корисної роботи.

Середньоексплуатаційний ККБ силової установки визначимо за формулою:

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 – Годинна витрата палива дизеля К6S310DR по позиціям контролера машиніста

Позиція контролера	Число обертів, хв ⁻¹	Годинна витрата палива, кг/год
0	345	10
1	345	18
2	370	38
3	410	55
4	450	79
5	500	102
6	550	138
7	650	180
8	740	215

$$\eta_e^{BCV} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{Tij} \cdot t_{ij})}{\frac{Q_H^P}{3600} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_{eij} \right)} \cdot 100, \quad (4.5)$$

де $Q_H^P=42500$ – питома теплота згорання палива, кДж/кг.

$$\eta_e^{BCVЧМЭЗ} = \frac{2139}{\frac{42500}{3600} \cdot 732,7} \cdot 100 = 24,73\%.$$

Результати розрахунку корисної роботи виконаної тепловозом, добової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД для тепловоза ЧМЭЗ, модернізованого дво- та тридизельних тепловозів в різних умовах експлуатації представлені в таблицях 4.4 – 4.18 та на рисунках 4.5 – 4.7.

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 4.16 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки тепловоза ЧМЭЗ

Вид роботи	Робота, виконана СУ $\sum L_{eij}$, кВт	Середньодобова витрата палива $\sum B_j$, кг	Середньодобовий ККД СУ, %
Сортувальна на горці	2139	732,7	24,73
Сортувальна на витяжці	2331	779,9	25,32
Вантажна	1406	558,8	21,31
Господарча	1957	698	23,75

Таблиця 4.17 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки дводизельного тепловоза

Вид роботи	Робота, виконана СУ $\sum L_{eij}$, кВт	Середньодобова витрата палива $\sum B_j$, кг	Економія палива по відношенню до тепловоза ЧМЭЗ, %	Середньодобовий ККД БСУ, %
Сортувальна на горці	2129	666,7	9,01	27,05
Сортувальна на витяжці	2309	728,2	6,63	26,86
Вантажна	1405	506,7	9,32	23,49
Господарча	1926	655,9	6,03	24,87

Як бачимо з отриманих результатів, в порівнянні з тепловозом ЧМЭЗ:

- при використанні тепловоза з дводизельною силовою установкою, економія палива становить 6 – 9% , а середньоексплуатаційний ККД зростає на 2 – 3%;
- при використанні тепловоза з тридизельною силовою установкою, економія палива становить 8,5 – 14% , а середньоексплуатаційний ККД зростає на 3 – 4%.

Таблиця 4.18 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки тридизельного тепловоза

Вид роботи	Робота, виконана СУ $\sum L_{eij}$, кВт	Середньодобова витрата палива $\sum B_j$, кг	Економія палива по відношенню до тепловоза ЧМЭЗ, %	Середньодобовий ККД БСУ, %
Сортувальна на горці	2176	655,7	10,51	28,11
Сортувальна на витяжці	2382	713,7	8,49	28,27
Вантажна	1442	481,7	13,8	25,36
Господарча	1964	635,6	8,94	26,17

Висновок до розділу. Розглянутий досвід експлуатації багатодизельних тепловозів за кордоном, хоча він і досить суперечливий, але при правильному використанні багатодизельної силової установки, відповідно до умов експлуатації, використання багатодизельних тепловозів дає економічний ефект.

Проведені розрахунки для різних умов експлуатації показали можливість зменшення витрат дизельного палива та збільшення середньоексплуатаційного ККД силової установки за умови використання в якості тягової одиниці маневрових тепловозів з дво- та тридизельною силовими установками у порівнянні зі штатним ЧМЭЗ.

Отже, впровадження розглянутих маневрових тепловозів на залізницях України замість ЧМЭЗ є ефективним рішенням.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.140290.000.04МР.ПЗ				

5 ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОВОЗІВ З БАГАТОДИЗЕЛЬНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ

5.1 Метод оцінки працездатності тепловозів

Одне з основних завдань будь-якої системи технічної діагностики - визначення працездатності тепловоза. Однак оцінка його технічного стану у вигляді тверджень «працездатний» або «непрацездатний» інформативна тільки для прийняття рішення про перехід до наступної задачі: пошуку можливого дефекту.

При виконанні діагностування вузлів і агрегатів тепловоза більш приваблива оцінка положень в області працездатних станів, тобто важливо знати, наскільки ефективно він виконує завдання з перевезення вантажів або пасажирів. За аналогією з системами автоматичного регулювання об'єктів з безперервними сигналами пропонується використовувати поняття «ступінь працездатності». Досліджуємо можливість застосування цього визначення і відповідного математичного апарату для оцінки роботи окремих вузлів, агрегатів і тепловоза в цілому. Однак завдання оцінки ступеня працездатності тепловоза досі не опрацьована належним чином. Це пов'язано, в першу чергу, з труднощами обліку одночасно змінюється безлічі параметричних характеристик технічного стану вузлів і агрегатів і оцінки їх впливу на загальний стан тепловоза.

Під технічним об'єктом розуміється пристрій, справний стан якого характеризується сукупністю окремих параметрів.

В даному випадку ступінь працездатності за окремими параметрами визначає нормовані відхилення від кордонів області працездатності відповідно до виразу:

$$q_s = \frac{q_s(t) - q_s^*}{q_{onm} - q_s^*}, \quad (5.1)$$

де $q_s(t) = [0,1]$ – ступінь працездатності по S -му параметру;

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.140290.000.04MP.ПЗ

$$F(t) = \begin{cases} > 0, \mu_a(x) > \mu_b(x) \\ = 0, \mu_a(x) = \mu_b(x), \\ < 0, \mu_a(x) < \mu_b(x) \end{cases} \quad (5.2)$$

Вирішальне правило виконання умови віднесення вузлів і агрегатів до класу працездатних (A) або непрацездатних (B) станів щодо всіх параметрів матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} \mu_a(x) - \mu_b(x) < 0 &\Leftrightarrow x \in B, \\ \mu_a(x) - \mu_b(x) > 0 &\Leftrightarrow x \in A. \end{aligned} \quad (5.3)$$

При визначенні технічного стану пропонується використовувати поняття «ступінь існування несправності», що дорівнює мінімальному значенню, якщо немає відхилення параметрів від номінальних значень, і максимальному значенням в разі несправності.

Ступінь існування несправності описується як $S = \{ S_1, S_2, .. S_n \}$, де S_i – ім'я i -го ступеня існування несправності. Очевидно, що ступінь існування несправності, якщо вона задається на інтервалі $[0,1]$, можна пов'язати зі ступенем працездатності співвідношенням $C = I - S$.

Ті підходи, де використовуються елементи теорії нечітких множин, досить прості і зручні в разі нечітких вихідних даних, до яких відносяться опису несправностей і параметричних відмов тепловозних вузлів і агрегатів. При цьому слід зазначити такі недоліки, як довільне тлумачення поняття ступеня працездатності і нерозробленість аналітичних виразів для її визначення.

Пропонується у вигляді нечіткої множини розглядати область допустимих відхилень параметрів, що характеризують ефективну роботу тепловоза. Тоді найменування нечіткої змінної буде відповідати найменуванню досліджуваного параметра; область визначення - області зміни параметра. Нечітким безліччю G_i на безлічі зміни параметрів буде область допустимих відхилень окремих параметрів

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

g_i з функцією приналежності $\mu_G(g_i)$. Функція приналежності $\mu_G(g_i)$ характеризує ступінь приналежності поточного значення контрольованого параметра області допустимих відхилень або наближення цього значення до кордонів області або відхилення від номінального значення.

Для успішного вирішення поставленого завдання необхідно правильно вибрати вид функції приналежності $\mu_G(g_i)$. Паралельне представлення функцій приналежності - компактне, що забезпечує простоту побудови їх на практиці, проте воно пов'язане з дослідженням ступеня адекватності використовуваних окремих форм (трикутної, трапецієподібної, колоколоподібної і т. п.).

Процедура побудови функцій приналежності заснована на їхньому уявленні у вигляді функції від щільності ймовірності чітких випадкових границь змінних. Якщо безліч A описується інтервалом $[y_1, y_2]$ і параметрами $x > y_1$ і $x < y_2$, то $x \notin A$. Якщо y_1 і y_2 випадкові величини, то A - нечітка множина.

Нехай $f_1(y_1)$ та $f_2(y_2)$ – функція щільності ймовірності для нижнього і верхнього порогів значень параметрів відповідно. При ймовірнісній інтерпретації функції приналежності маємо:

$$\mu_A(x) = P(x \in A), \quad (5.4)$$

З урахуванням введених позначень отримаємо:

$$\mu_A(x) = P(y_1 < x < y_2), \quad (5.5)$$

При незалежності випадкових величин y_1, y_2 знаходимо:

$$\mu_A(x) = P(x > y_1)P(x < y_2), \quad (5.6)$$

Позначимо:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.140290.000.04MP.ПЗ

$$F_1(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y)dy \text{ та } F_2(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_2(y)dy, \quad (5.7)$$

За визначенням:

$$F_1(x) = P(y_1 < x), \quad (5.8)$$

Тоді остаточно отримаємо:

$$\mu_A(x) = F_1(x)[1 - F_2(x)], \quad (5.9)$$

Таким чином, визначати функції приналежності можна на основі функцій розподілу F_1 і F_2 з подальшим використанням виразів, отриманих для $\mu_A(x)$. Функції F_1 , F_2 можуть бути побудовані на основі статистичних даних за результатами роботи тепловозів.

При використанні теорії нечітких множин для вирішення завдань щодо визначення ступеня працездатності від функції приналежності повинен враховувати конкретні цілі в тому чи іншому випадку. Це може бути опис умов працездатності, модель виявлення виникає дефекту, будь-яка трактування прогнозування технічного стану або результати роботи тепловоза в конкретних умовах експлуатації.

Для визначення ступеня працездатності функція приналежності параметрів області допустимих відхилень повинна відповідати наступним вимогам:

- 1) бути обмеженою, так як вихід з області допустимих відхилень параметрів повинен вказувати на виникнення відмови в системі;
- 2) бути монотонної, так як кожен перегин функції приналежності відповідає зміні швидкості протікання поступових відмов;
- 3) повинні враховуватися значення кожного параметра для оцінки ступеня працездатності в цілому;

						0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

4) бути досить простий для наочності та зручної роботи

На наш погляд, наведеним вимогам відповідає функція приналежності, що описується виразом:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \left[\frac{g^* - g}{E_B} \right], & g - E_B < g < g^* \\ 1 - \left[\frac{g - g^*}{E_H} \right], & g^* < g < g^* + E_H \end{cases}, \quad (5.10)$$

де g^* – номінальне значення параметра;

g – поточне значення параметра;

$E_B = g_B - g^*$; $E_H = g^* - g_H$; g_H ; g_B - відповідно нижня і верхня граничне значення відхилення параметра.

У рівнянні (5.10) можливо як двостороннє завдання області допустимих відхилень параметрів, так і односторонній, при якому $E_H = 0$ або $E_B = 0$. Ця функція приналежності враховує також положення поточного значення параметра в області допустимих відхилень з урахуванням наступних положень:

1) малі відхилення параметрів поблизу номінальних значень Δg повинні відповідати малому зміні ступеня приналежності параметра області допустимих відхилень $\Delta \mu_1$;

2) малі зміни параметрів поблизу кордону області допустимих відхилень g повинні відповідати більшій зміні ступеня приналежності $\Delta \mu_2$, так як різко зростає ймовірність виходу параметра за межі допуску і появи відмови.

Значення показника u можуть бути визначені як зворотні величини коефіцієнта впливу того чи іншого параметра на оцінку ступеня працездатності за умови, що коефіцієнти впливу приймають значення з інтервалу $[0,1]$. Якщо коефіцієнт впливу великий, то значення u зменшується і в граничному випадку

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.140290.000.04MP.ПЗ

може представляти лінійну залежність при $y = 1$. Випадок $y = 1$ відповідає операції розтягування і веде до збільшення значення ступеня приналежності.

Для малих значень коефіцієнтів впливу величина y зростає, при цьому враховуються зміни параметрів тільки біля кордонів області допустимих відхилень. Випадок $y > 1$ не розглядається внаслідок обмежень, введених на функцію приналежності, а також тому, що коефіцієнт впливу не може приймати значення більше одиниці.

Таким чином, застосування даної функції приналежності параметрів області допустимих відхилень координат енергетичної установки дозволяє характеризувати ступінь їх наближення до кордону області і може бути використано в подальшому при визначенні ступеня працездатності тепловоза або його окремих систем.

Область працездатності може бути задана як окремим параметром (питомою витратою палива, зміною частоти обертання колінчастого вала дизеля, часом перехідного процесу, надійністю, напрацюванням на відмову, часом відновлення і т. п.), Так і сукупністю параметрів, яка може включати прийомистість, коефіцієнт корисної дії, продуктивність, економічність і т. д.

Визначення ступеня працездатності тепловоза або його вузлів за окремим параметру є найбільш простий випадок. Нехай об'єкт дослідження описується моделлю з одним параметром g_i . Передбачається, що для даного параметра відомі область визначення, умови працездатності і номінальні значення. Позначимо верхню межу області працездатності g_{Bi} , нижню g_{Hi} , номінальне значення g_{Oi} .

Сформулюємо вимоги, яким повинна відповідати ступінь працездатності об'єкта за окремим параметру:

- 1) ступінь працездатності повинна приймати значення з інтервалу $[0,1]$;
- 2) максимальне значення, рівне одиниці, ступінь працездатності повинна приймати при значенні параметра, рівному номінальному його значенням $g_i = g_{Oi}$;
- 3) мінімальне значення ступеня працездатності, рівне нулю, має відповідати значенням параметра, рівному одному з граничних значень, заданих для $g_i = g_{Bi}$ або

						0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$g_i = g_{Hi};$$

4) величина ступеня працездатності може враховувати ступінь наближення параметра до кордону області працездатності.

Даним вимогам відповідає функція приналежності деякого параметра g_i області працездатності G_i , -, заданої у вигляді $\mu_G(g_i)$.

Нечітке безліч ступеня працездатності запишеться в цьому випадку наступним чином: $S = \{ \mu_G(g_i); g_i \}$.

Можливі чотири варіанти розташування результату щодо області працездатності (рис. 2).

Перший g_{i1} і четвертий g_{i4} варіанти відповідають працездатному і непрацездатному станів і характеризуються відсутністю помилок у прийнятому рішенні. Другий g_{i2} і третій g_{i3} варіанти також відповідають працездатному і непрацездатному станів, але в разі похибки вимірювань.

При визначенні технічного стану тепловоза за сукупністю параметрів можна стверджувати, що ступінь працездатності визначається функціональною залежністю:

$$S = f[G_i, \mu_G(g_i), v_i], \quad (5.11)$$

де $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$ – вектор параметрів, для яких задані умови роботи у вигляді замкнутого інтервалу $[g_{Hi}, g_{Bi}]$;

μ_G – функція приналежності поточного значення параметра g_i області допустимих значень;

v_i – коефіцієнти значущості параметрів g_i для оцінки ступеня працездатності здатності в цілому.

При побудові залежності ступеня працездатності від функцій приналежності можливі кілька підходів. Один з підходів ґрунтується на нечіткій кон'юнкції функції за окремим параметром. Зафіксуємо значення всіх параметрів, від яких

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.140290.000.04MP.ПЗ

5.2 Паливна система тепловоза з дводизельною силовою установкою

У паливних системах тепловозів найбільш чутливим і відповідальним ланкою, що впливає на їх безвідмовну роботу, є паливопідкачующі агрегати, що забезпечують подачу палива з паливних баків до паливних насосів високого тиску, розташованим на дизелі. У зв'язку з цим на ряді тепловозів, перш за все односекційних з одним дизелем, встановлювали паралельно по два паливопідкачующих агрегатів, один з яких був резервним, на деяких дизелях встановлювали додатково паливопідкачуючий насос, включений в паливну систему послідовно, або паливопідкачуючий насос з ручним приводом, який використовується в аварійних випадках.

Запуск непрогрітого дизеля, особливо в зимовий час, знижує його моторесурс і безвідмовність, надійність паливопроводів через температурних деформацій і виділення паливом парафіністих речовин, що забруднюють фільтри, підвищує витрата палива. У зв'язку з цим, на тепловозах встановлюють різні пристрої і системи для передпускового підігріву дизелів (підігрівачі) і підтримки оптимальної температури води і масла дизелів при їх тривалій зупинці в очікуванні роботи тепловозами.

Відомий модернізований дводизельний тепловоз ЧМЭЗ-4342 з капотним кузовом, паливна система якого включає один на два дизеля паливопідкачуючий агрегат, який забирає паливо з підвішеного до несучої рами тепловоза паливного бака через фільтр грубої очистки, розміщений під бічною площадкою тепловоза, чотири паливопідігрівача - по одному з кожної боку дизеля, фільтри тонкого очищення палива, розміщені на дизелі.

Недоліком такого пристрою є наявність єдиного паливопідкачуючого насоса на два дизеля (недостатня ступінь надійності), розташування фільтра грубої очистки палива під рамою тепловоза (холодна зона), відсутність підігрівачів рідин дизелів для передпускового підігріву.

Для усунення цих недоліків пропонується встановити два

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

паливопідкачуючих агрегатів на тепловозі.

Паливна система дводизельного тепловоза і установка її обладнання складається з двох незалежних ідентичних паливних систем 1 і 2 із загальним паливним баком 3 (рисунок 5.1), закріпленому під несучою рамою, а кожна з двох систем складається з паливопідкачуючого агрегату 5, фільтра грубої очистки 6, фільтрів тонкого очищення 7 з краником 8, паливопідігрівача 9, паливного насоса високого тиску (ПНВТ) - 10, встановленого на дизелі 11, витратного паливного бака 12 зі стійками 13 і вушком 14, підігрівача води 15 дизеля і підігріву мастила 16 дизеля, встановлених на кронштейнах 17, прикріплених до стійок 18 бічної стінки 19, найближчої до дверей 20 кабіни машиніста 21 кузова 22, всмоктуючого трубопроводу 23, нагнітального трубопроводу 24 з триходовим краном 25, перепускного трубопроводу 26 із запобіжним клапаном 27, зливного трубопроводу 28 з відсічним (перепускним) клапаном 29, зливного трубопроводу 30 для зливу просочується палива, зливного трубопроводу 31 для видалення повітряпаливної суміші, трубопроводу 32 загального зливу, зливного трубопроводу 33 з краном 34, нагнітального трубопроводу 35, всмоктуючих трубопроводів 36 і 37, трубопроводу 38 з краном 39, манометра 40.

Паливна система дводизельного тепловоза працює наступним чином:

У режимі запуску дизелів 11 в холодну пору включаються паливопідігрівач 15 дизеля і підігрівач масла 16 дизеля, індивідуальні для кожного дизеля, і засмоктують паливо з витратного паливного бака 12, яке, згораючи в паливопідігрівачах, підігріває відповідно циркулюючу воду і масло дизеля до температур, що дозволяють запуск дизеля. При відсутності палива в паливному баку 12 попередньо його заповнюють паливом з основного паливного бака 3, повернувши триходовий кран 25 і включивши паливопідкачуючий агрегат 5. Паливо з паливного бака 3 по всмоктуючому трубопроводу 23 через фільтр грубої очистки 6 всмоктується паливопідкачующим агрегатом 5 і нагнітається через триходовий кран 25 по нагнітальному трубопроводу 35 в паливний бак 12. Після наповнення витратного паливного бака 12 паливом триходовий кран 25

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(США) з дизелями Cummins QSK 19.

Недоліком такого способу регулювання роботи багатодизельного тепловоза є те, що він не забезпечує рівномірне використання моторесурсу кожного з дизелів, оскільки облік часу роботи дизеля без урахування навантаженості режимів його роботи не відображає фактичного витрачання моторесурсу. Крім того, спосіб не передбачає автоматичну зупинку першим дизеля, що має найбільшу напрацювання мотогодин.

Відомо пристрій для здійснення способу регулювання двосекційних дводозельних тепловозів типу 2ТЭ116КМ, що містить функціональні мікроелектронні системи управління і здійснює запуск, зміна навантаження і зупинку кожного з дизелів по задається машиністом програмі.

Недоліком пристрою є відсутність системи отримання і порівняння параметрів, що характеризують ступінь вироблення ресурсу кожним з дизелів, пов'язаної з блоками управління запуском і зупинкою дизелів.

Відомо пристрій для здійснення способу регулювання тридизельних тепловозів Gen-Set, що містить центральний блок управління, регулятори частоти обертання і потужності, розташовані на кожному з дизелів, лічильники часу роботи кожного дизеля, з'єднані з блоком управління.

Недоліком пристрою є відсутність лічильників показників роботи дизелів, що визначають ступінь вироблення ресурсу дизелями.

Для усунення всіх недоліків пропонується автоматичне забезпечення однакового витрачання моторесурсу і одночасного досягнення міжремонтних термінів усіма дизелями багатодизельного тепловоза, чим забезпечується суміщення регламентних робіт і зниження витрат часу і витрат на ремонт, технічне обслуговування та заміну дизелів тепловоза.

Зазначений технічний результат за способом досягається тим, що автоматично порівнюють показники роботи кожного дизеля, що характеризують виконаний моторесурс, і здійснюють чергування запуску, навантаження і зупинки дизелів а саме: автоматично порівнюють сумарні кількості раніше витраченого

										0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

здійснюють в кожному наступному циклі роботи дизелів для вирівнювання витрачання палива дизелями або вирівнювання вироблення енергії дизелями, що забезпечує вирівнювання витрати моторесурсу і одночасне вичерпання моторесурсу дизелів і дозволяє здійснити одночасний ремонт або одночасну заміну всіх дизелів тепловоза, скоротити час і витрати на ремонт багатодизельного тепловоза.

Висновок до розділу. Був розглянутий метод оцінки працездатності тепловозів в експлуатації.

Для підвищення надійності роботи багатодизельних тепловозів запропонована схема паливної системи та пристрій регулювання роботи багатодизельної силової установки.

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрати палива тепловозом ЧМЭЗ при виконанні сортувальної роботи на горці

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля К6S310DR N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bij} , кВт	Потужність на привід тягового генератора $N_{TГj}$, кВт	Потужність тягового генератора $P_{TГj}$, кВт	Робота, виконана СУ L_{ej} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем К6S310DR G_{ij} , кг/год	Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год							
0	51,3	12,06	60	26	0	0	0	10	120,6
1	12,1	2,84	71	28	43	40	114	18	51,1
2	15,23	3,58	162	33	129	120	430	38	136
3	8,85	2,08	243	37	206	192	399	55	114,4
4	5,8	1,36	350	44	306	285	388	79	107,4
5	5,03	1,18	494	53	441	410	484	102	120,4
6	0,09	0,02	666	64	602	560	11	138	2,8
7	0,2	0,05	852	78	774	720	36	180	9
8	1,4	0,33	992	89	903	840	277	215	71
За добу	100	23,5					2139		732,7

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

ЗМН.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дат

Таблиця 4.8 – Розрахунок витрати палива дводизельним тепловозом при виконанні сортувальної роботи на горці

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ei} , кВт		Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tj} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ei} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год		Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	51,3	12,06	60	-	60	26	0	0	0	8	-	96,5
1	12,1	2,84	71	-	71	28	43	40	114	16	-	45,4
2	15,23	3,58	162	-	162	33	129	120	430	33	-	118,1
3	8,85	2,08	243	-	243	37	206	192	399	50	-	104
4	5,8	1,36	350	-	350	44	306	285	388	70	-	95,2
5	5,03	1,18	434	60	494	53	441	410	484	96	8	122,7
6	0,09	0,02	480	186	666	64	602	560	11	110	34	2,9
7	0,2	0,05	480	372	852	78	774	720	36	110	75	9,3
8	1,4	0,33	480	480	960	89	871	810	267	110	110	72,6
За добу	100	23,5							2129			666,7

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дат.

Таблиця 4.12 – Розрахунок витрати палива тридизельним тепловозом при виконанні сортувальної роботи на горці

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ej} , кВт			Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tj} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ej} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год			Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	Cummins C33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						Cummins c33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	51,3	12,06	26	-	-	26	26	0	0	0	6	-	-	72,4
1	12,1	2,84	26	60	-	86	28	58	54	153	6	8	-	39,8
2	15,23	3,58	26	136	-	162	33	129	120	430	6	27	-	118,1
3	8,85	2,08	26	217	-	243	37	206	192	399	6	46	-	108,2
4	5,8	1,36	26	324	-	350	44	306	285	388	6	67	-	99,3
5	5,03	1,18	26	468	-	494	53	441	410	484	6	105	-	131
6	0,09	0,02	26	480	160	666	64	602	560	11	6	110	33	3
7	0,2	0,05	26	480	346	852	78	774	720	36	6	110	70	9,3
8	1,4	0,33	26	480	480	986	89	897	834	275	6	110	110	74,6
За добу	100	23,5								2176				655,7

Таблиця 4.5 – Розрахунок витрати палива тепловозом ЧМЭЗ при виконанні сортувальної роботи на витяжці

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля К6S310DR N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Baj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора $N_{TГj}$, кВт	Потужність тягового генератора $P_{TГj}$, кВт	Робота, виконана СУ L_{eij} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем К6S310DR G_{ij} , кг/год	Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год							
0	55	12,93	60	26	0	0	0	10	129,3
1	16,5	3,88	71	28	43	40	155	18	69,8
2	8,6	2,02	162	33	129	120	242	38	76,8
3	5,5	1,29	243	37	206	192	248	55	71
4	5	1,18	350	44	306	285	336	79	93,2
5	3,45	0,81	494	53	441	410	332	102	82,6
6	2,18	0,51	666	64	602	560	286	138	70,4
7	0,55	0,13	852	78	774	720	94	180	23,4
8	3,22	0,76	992	89	903	840	638	215	163,4
За добу	100	23,5					2331		779,9

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дат

Таблиця 4.9 – Розрахунок витрати палива дводизельним тепловозом при виконанні сортувальної роботи на витяжці

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ei} , кВт		Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bij} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tij} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tij} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{eij} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год		Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	55	12,93	60	-	60	26	0	0	0	8	-	103,4
1	16,5	3,88	71	-	71	28	43	40	155	16	-	62,1
2	8,6	2,02	162	-	162	33	129	120	242	33	-	66,7
3	5,5	1,29	243	-	243	37	206	192	248	50	-	64,5
4	5	1,18	350	-	350	44	306	285	336	70	-	82,6
5	3,45	0,81	434	60	494	53	441	410	332	96	8	84,2
6	2,18	0,51	480	186	666	64	602	560	286	110	34	73,4
7	0,55	0,13	480	372	852	78	774	720	94	110	75	24,1
8	3,22	0,76	480	480	960	89	871	810	616	110	110	167,2
За добу	100	23,5							2309			728,2

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.

Таблиця 4.13 – Розрахунок витрати палива тридизельним тепловозом при виконанні сортувальної роботи на витяжці

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ej} , кВт			Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tj} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ej} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год			Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	Cummins C33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						Cummins c33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	55	12,93	26	-	-	26	26	0	0	0	6	-	-	77,6
1	16,5	3,88	26	60	-	86	28	58	54	210	6	8	-	54,3
2	8,6	2,02	26	136	-	162	33	129	120	242	6	27	-	66,7
3	5,5	1,29	26	217	-	243	37	206	192	248	6	46	-	67,1
4	5	1,18	26	324	-	350	44	306	285	336	6	67	-	86,1
5	3,45	0,81	26	468	-	494	53	441	410	332	6	105	-	89,9
6	2,18	0,51	26	480	160	666	64	602	560	286	6	110	33	76
7	0,55	0,13	26	480	346	852	78	774	720	94	6	110	70	24,2
8	3,22	0,76	26	480	480	986	89	897	834	634	6	110	110	171,8
За добу	100	23,5								2382				713,7

Таблиця 4.6 – Розрахунок витрати палива тепловозом ЧМЭЗ при виконанні вантажної роботи

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля К6S310DR N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{BAj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{TGj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{TGj} , кВт	Робота, виконана СУ L_{ejj} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем К6S310DR G_{ij} , кг/год	Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год							
0	70,2	16,5	60	26	0	0	0	10	165
1	10,9	2,56	71	28	43	40	102	18	46,1
2	4,7	1,1	162	33	129	120	132	38	41,8
3	3,9	0,92	243	37	206	192	177	55	50,6
4	4,2	0,99	350	44	306	285	282	79	78,2
5	3,7	0,87	494	53	441	410	357	102	88,7
6	1,6	0,38	666	64	602	560	213	138	52,4
7	0,6	0,14	852	78	774	720	101	180	25,2
8	0,2	0,05	992	89	903	840	42	215	10,8
За добу	100	23,5					1406		558,8

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

ЗМН.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дат

Таблица 4.10 – Розрахунок витрати палива дводизельним тепловозом при виконанні вантажної роботи

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ei} , кВт		Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{BA} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{TG} , кВт	Потужність тягового генератора P_{TG} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ei} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год		Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	70,2	16,5	60	-	60	26	0	0	0	8	-	132
1	10,9	2,56	71	-	71	28	43	40	102	16	-	41
2	4,7	1,1	162	-	162	33	129	120	132	33	-	36,3
3	3,9	0,92	243	-	243	37	206	192	177	50	-	46
4	4,2	0,99	350	-	350	44	306	285	282	70	-	69,3
5	3,7	0,87	434	60	494	53	441	410	357	96	8	90,5
6	1,6	0,38	480	186	666	64	602	560	213	110	34	54,7
7	0,6	0,14	480	372	852	78	774	720	101	110	75	25,9
8	0,2	0,05	480	480	960	89	871	810	41	110	110	11
За добу	100	23,5							1405			506,7

Таблиця 4.14 – Розрахунок витрати палива тридизельним тепловозом при виконанні вантажної роботи

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ej} , кВт			Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tj} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ej} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год			Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	Cummins C33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						Cummins c33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	70,2	16,5	26	-	-	26	26	0	0	0	6	-	-	99
1	10,9	2,56	26	60	-	86	28	58	54	138	6	8	-	35,8
2	4,7	1,1	26	136	-	162	33	129	120	132	6	27	-	36,3
3	3,9	0,92	26	217	-	243	37	206	192	177	6	46	-	47,8
4	4,2	0,99	26	324	-	350	44	306	285	282	6	67	-	72,3
5	3,7	0,87	26	468	-	494	53	441	410	357	6	105	-	96,6
6	1,6	0,38	26	480	160	666	64	602	560	213	6	110	33	56,6
7	0,6	0,14	26	480	346	852	78	774	720	101	6	110	70	26
8	0,2	0,05	26	480	480	986	89	897	834	42	6	110	110	11,3
За добу	100	23,5								1442				481,7

Таблиця 4.7 – Розрахунок витрати палива тепловозом ЧМЭЗ при виконанні господарчої роботи

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля К6S310DR N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{BAj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{TGj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{TGj} , кВт	Робота, виконана СУ L_{ejj} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем К6S310DR G_{ij} , кг/год	Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год							
0	76,6	18	60	26	0	0	0	10	180
1	3,9	0,92	71	28	43	40	37	18	16,6
2	3,1	0,73	162	33	129	120	88	38	27,7
3	4,1	0,96	243	37	206	192	184	55	52,8
4	2,4	0,56	350	44	306	285	160	79	44,2
5	3,9	0,92	494	53	441	410	377	102	93,8
6	0,8	0,19	666	64	602	560	106	138	26,2
7	0,7	0,16	852	78	774	720	115	180	28,8
8	4,5	1,06	992	89	903	840	890	215	227,9
За добу	100	23,5					1957		698

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

ЗМН.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дат

Таблиця 4.11 – Розрахунок витрати палива дводизельним тепловозом при виконанні господарчої роботи

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ei} , кВт		Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tj} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ei} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год		Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	76,6	18	60	-	60	26	0	0	0	8	-	144
1	3,9	0,92	71	-	71	28	43	40	37	16	-	14,7
2	3,1	0,73	162	-	162	33	129	120	88	33	-	24,1
3	4,1	0,96	243	-	243	37	206	192	184	50	-	48
4	2,4	0,56	350	-	350	44	306	285	160	70	-	39,2
5	3,9	0,92	434	60	494	53	441	410	377	96	8	95,7
6	0,8	0,19	480	186	666	64	602	560	106	110	34	27,4
7	0,7	0,16	480	372	852	78	774	720	115	110	75	29,6
8	4,5	1,06	480	480	960	89	871	810	859	110	110	233,2
За добу	100	23,5							1926			655,9

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дат

Таблиця 4.15 – Розрахунок витрати палива тридизельним тепловозом при виконанні господарчої роботи

Позиція контролера	Час роботи на позиції		Ефективна потужність дизеля N_{ej} , кВт			Ефективна потужність БСУ N_{ei} , кВт	Потужність на привід допоміжних агрегатів N_{Bj} , кВт	Потужність на привід тягового генератора N_{Tj} , кВт	Потужність тягового генератора P_{Tj} , кВт	Робота, виконана БСУ L_{ej} , кВт-год	Годинна витрата палива дизелем G_{ij} , кг/год			Витрата палива B_j , кг
	В відсотках, %	t_{ij} , год	Cummins C33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2						Cummins c33D5	ЯМЗ-8502.10 №1	ЯМЗ-8502.10 №2	
0	76,6	18	26	-	-	26	26	0	0	0	6	-	-	108
1	3,9	0,92	26	60	-	86	28	58	54	50	6	8	-	12,9
2	3,1	0,73	26	136	-	162	33	129	120	88	6	27	-	24,1
3	4,1	0,96	26	217	-	243	37	206	192	184	6	46	-	49,9
4	2,4	0,56	26	324	-	350	44	306	285	160	6	67	-	40,9
5	3,9	0,92	26	468	-	494	53	441	410	377	6	105	-	102,1
6	0,8	0,19	26	480	160	666	64	602	560	106	6	110	33	28,3
7	0,7	0,16	26	480	346	852	78	774	720	115	6	110	70	29,8
8	4,5	1,06	26	480	480	986	89	897	834	884	6	110	110	239,6
За добу	100	23,5								1964				635,6

Змін.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дат.	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.	
------	--

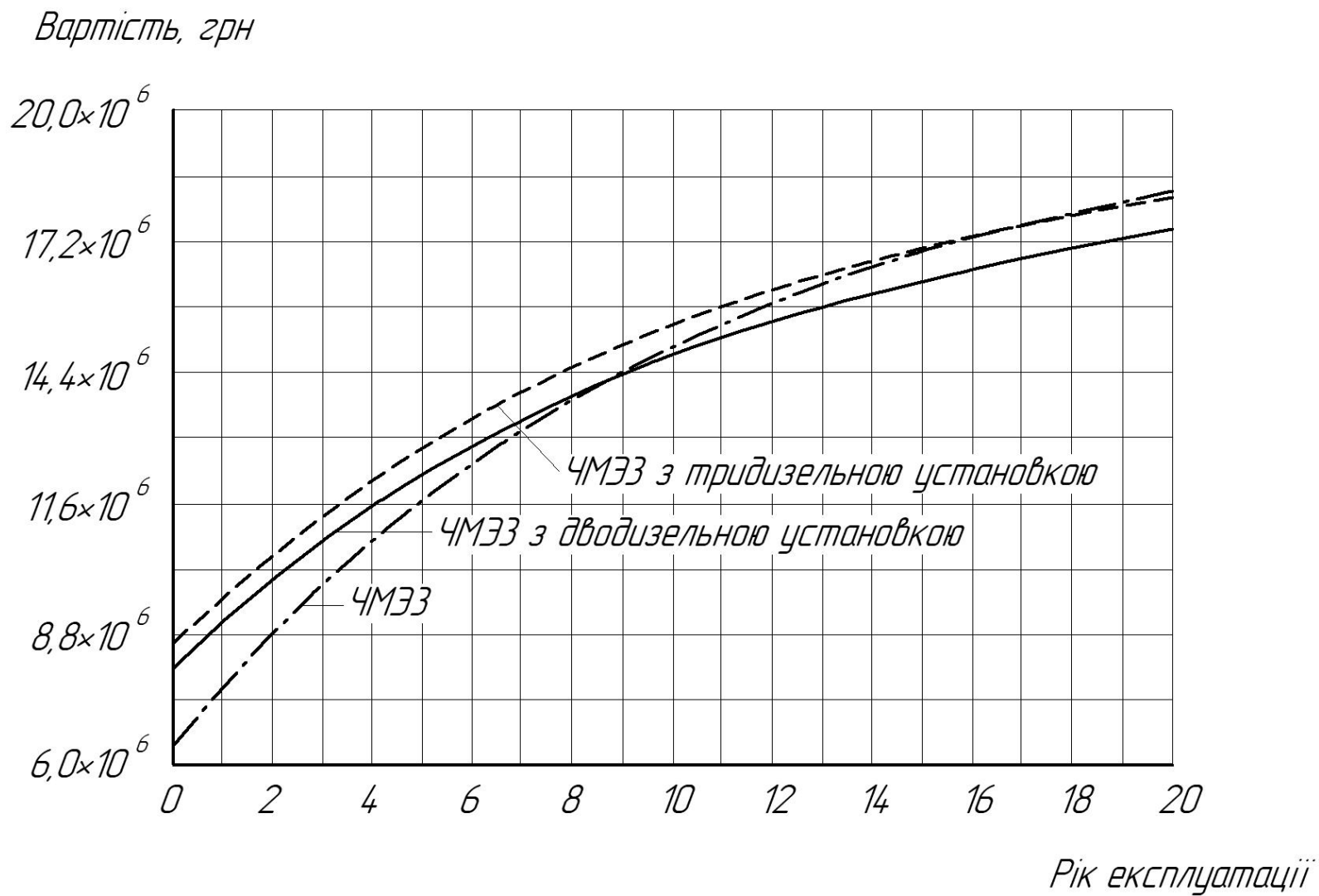


Рисунок 4.1 – Вартість життєвого циклу тепловозів ЧМЭЗ, ЧМЭЗ з дво- та тридизельною силовими установками при виконанні «легкої» маневрової роботи

Змін.	
Арк.	
№ док.ум.	
Підпис	
Дат.	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.	
------	--

Економічний ефект, грн

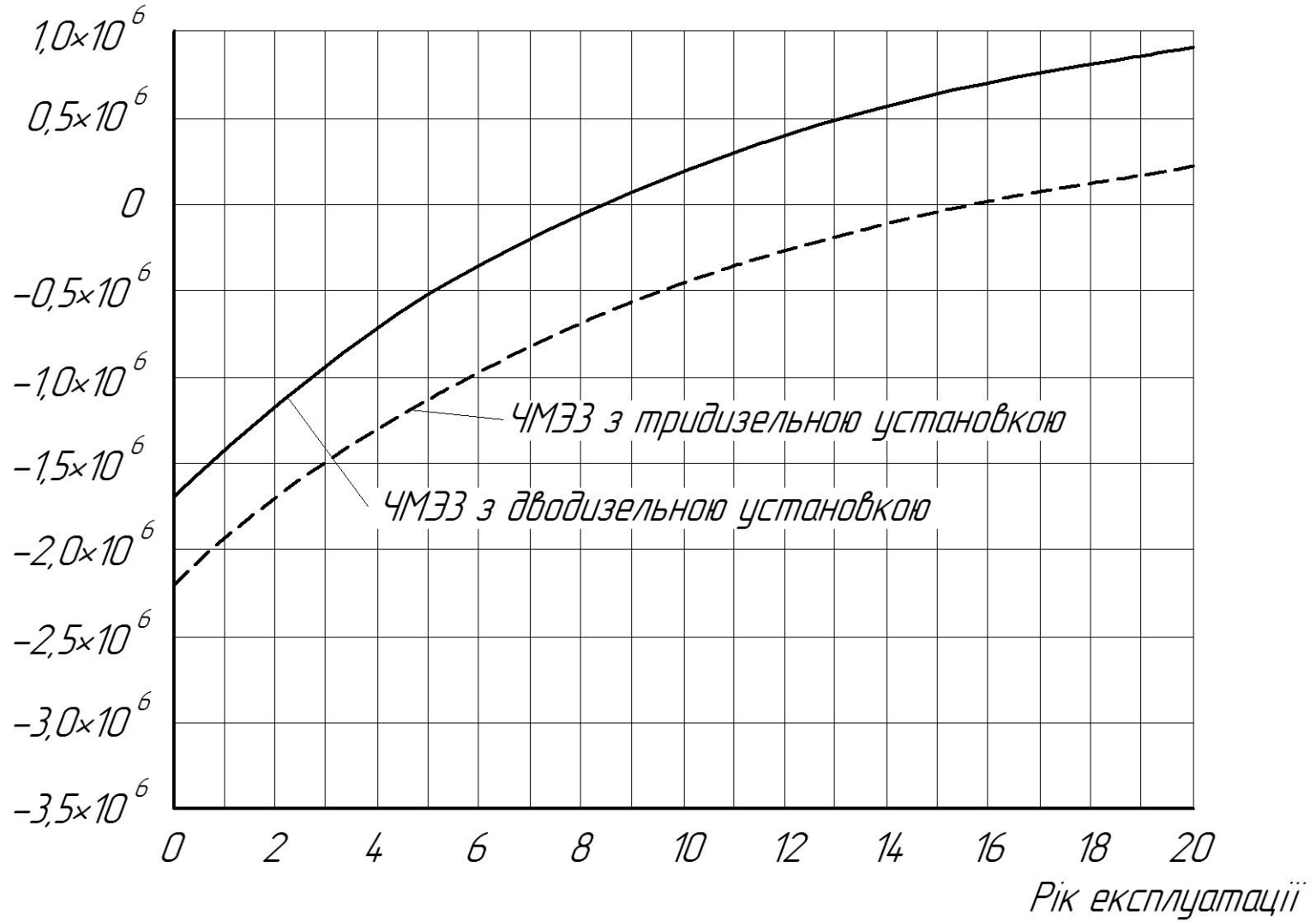


Рисунок 4.2 – Економічний ефект від впровадження нових локомотивів для виконання «легкої» маневрової роботи

Змн.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дат	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.	
------	--

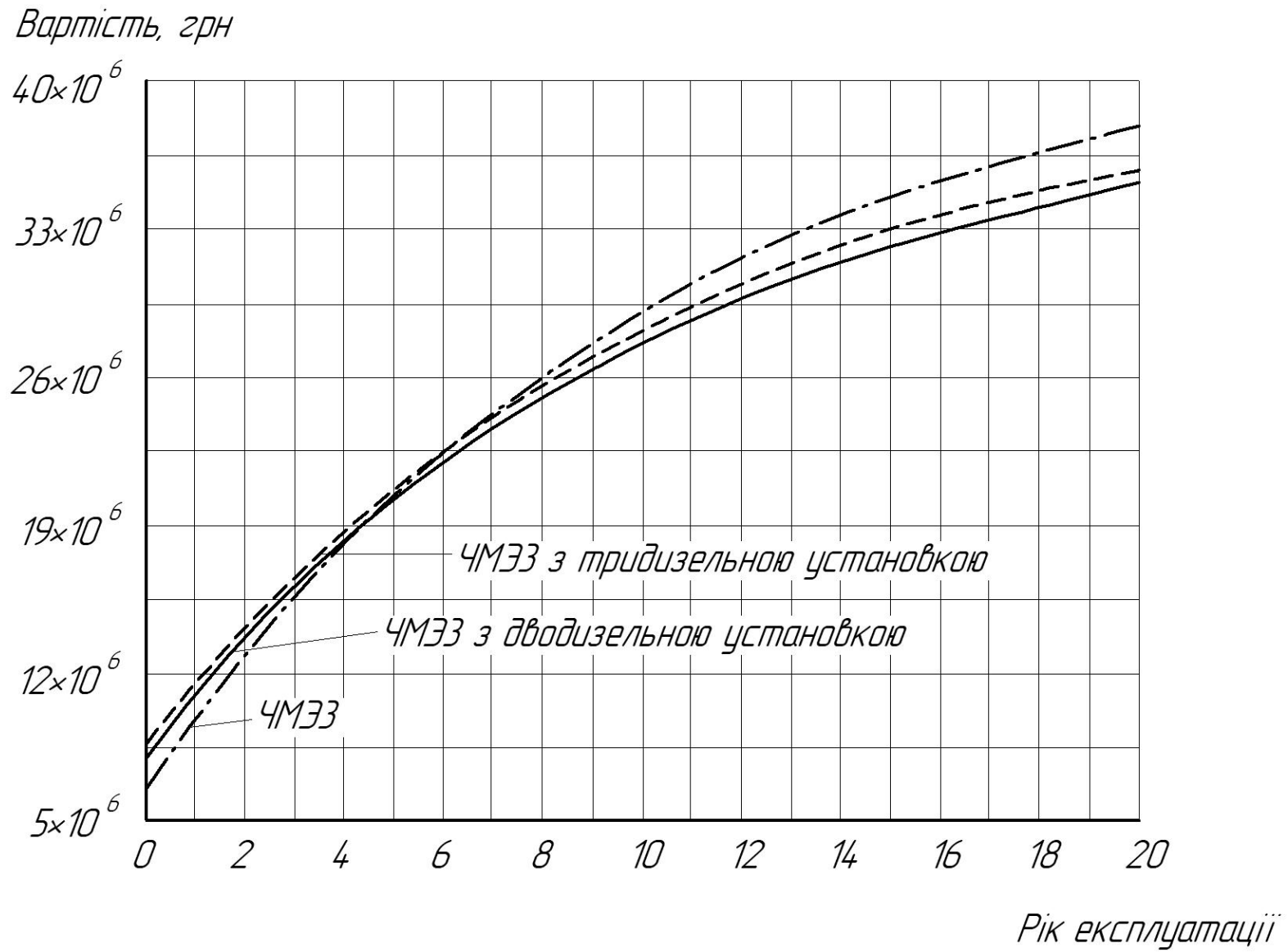


Рисунок 4.3 – Вартість життєвого циклу тепловозів ЧМЭЗ, ЧМЭЗ з дво- та тридизельною силовими установками при виконанні «важкої» вивізної роботи

Змін.	
Арк.	
№ докум.	
Підпис	
Дат.	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Економічний ефект, грн

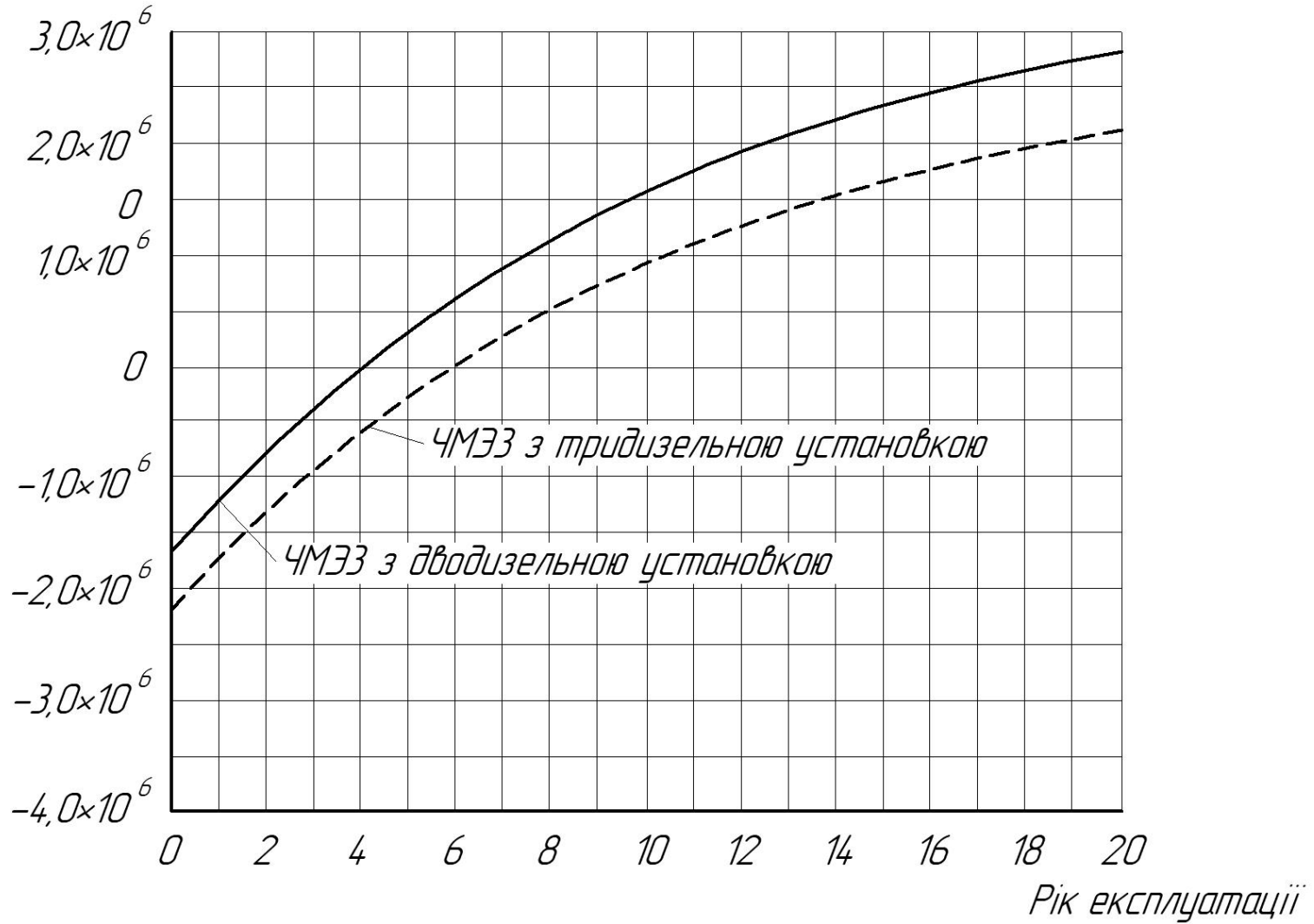


Рисунок 4.4 – Економічний ефект від впровадження нових локомотивів для виконання «важкої» вивізної роботи

Змн.	
Арк.	
№ док.ум.	
Підпис	
Дат	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

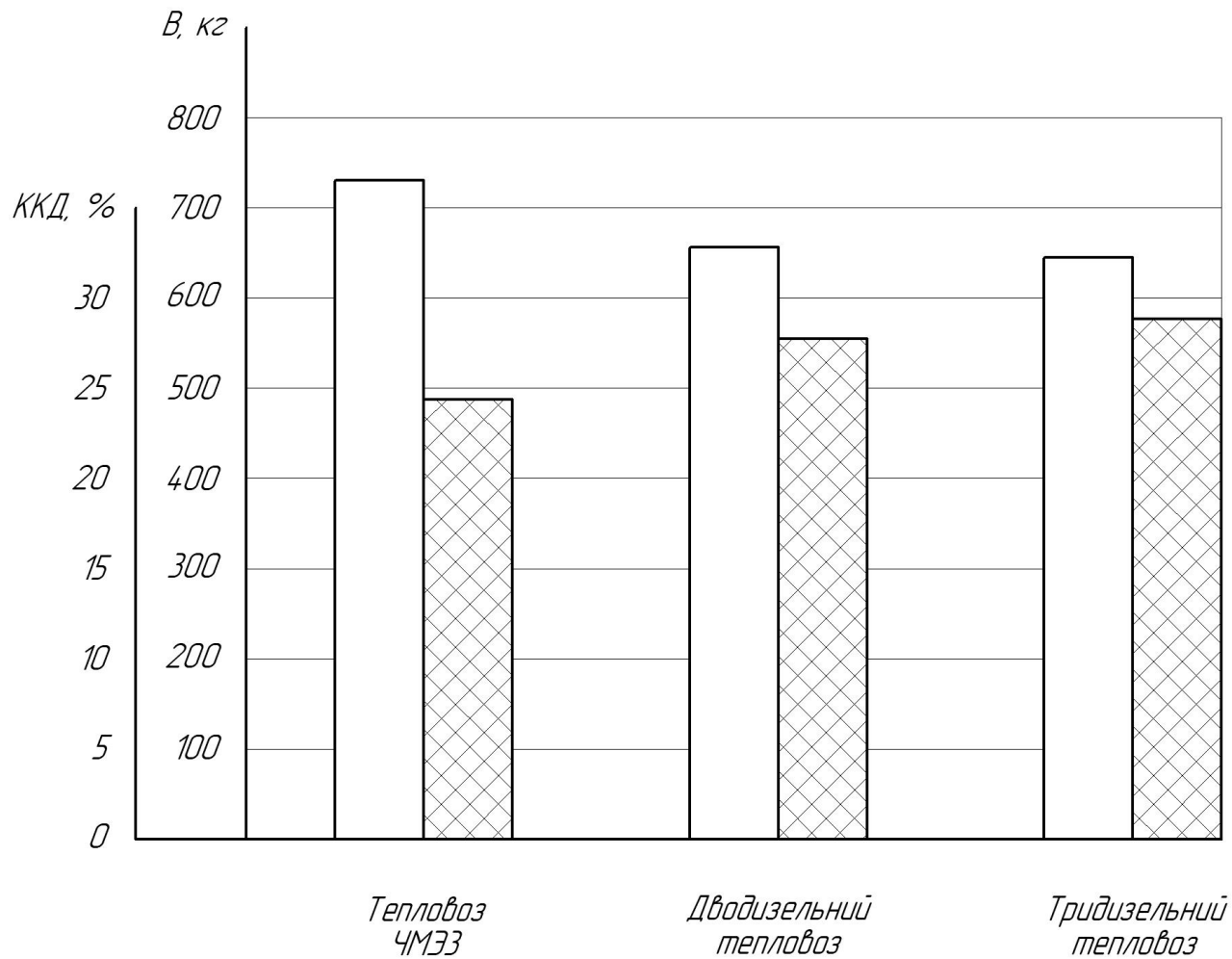


Рисунок 4.5 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки тепловозами при сортувальній роботі на горці

Змн.	
Арк.	
№ док.ум.	
Підпис	
Дат	

0032.140290.000.04MP.ПЗ

Арк.

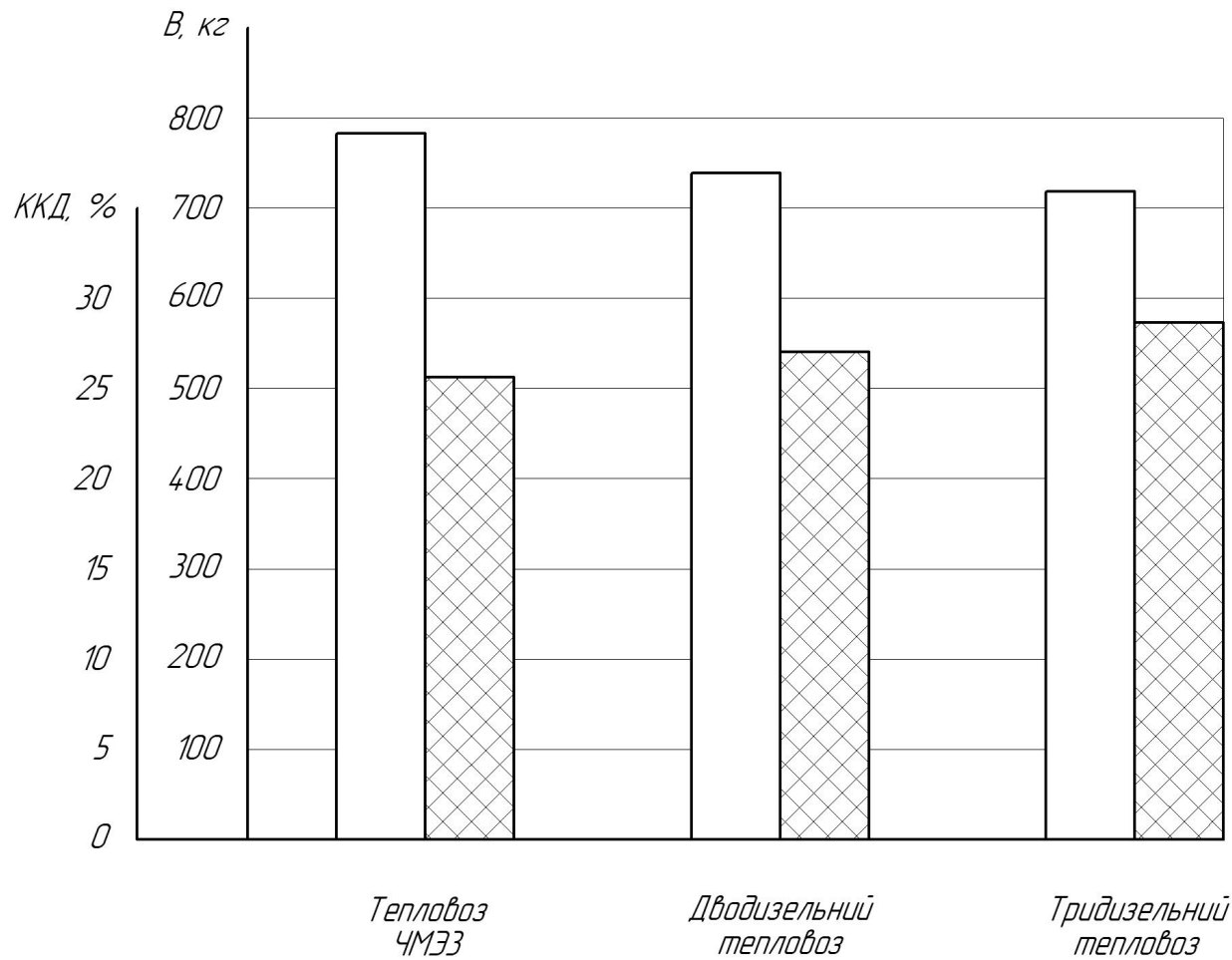


Рисунок 4.6 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки тепловозами при сортувальній роботі на витяжці

Змн.	
Арк.	
№ док.ум.	
Підпис	
Дат	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

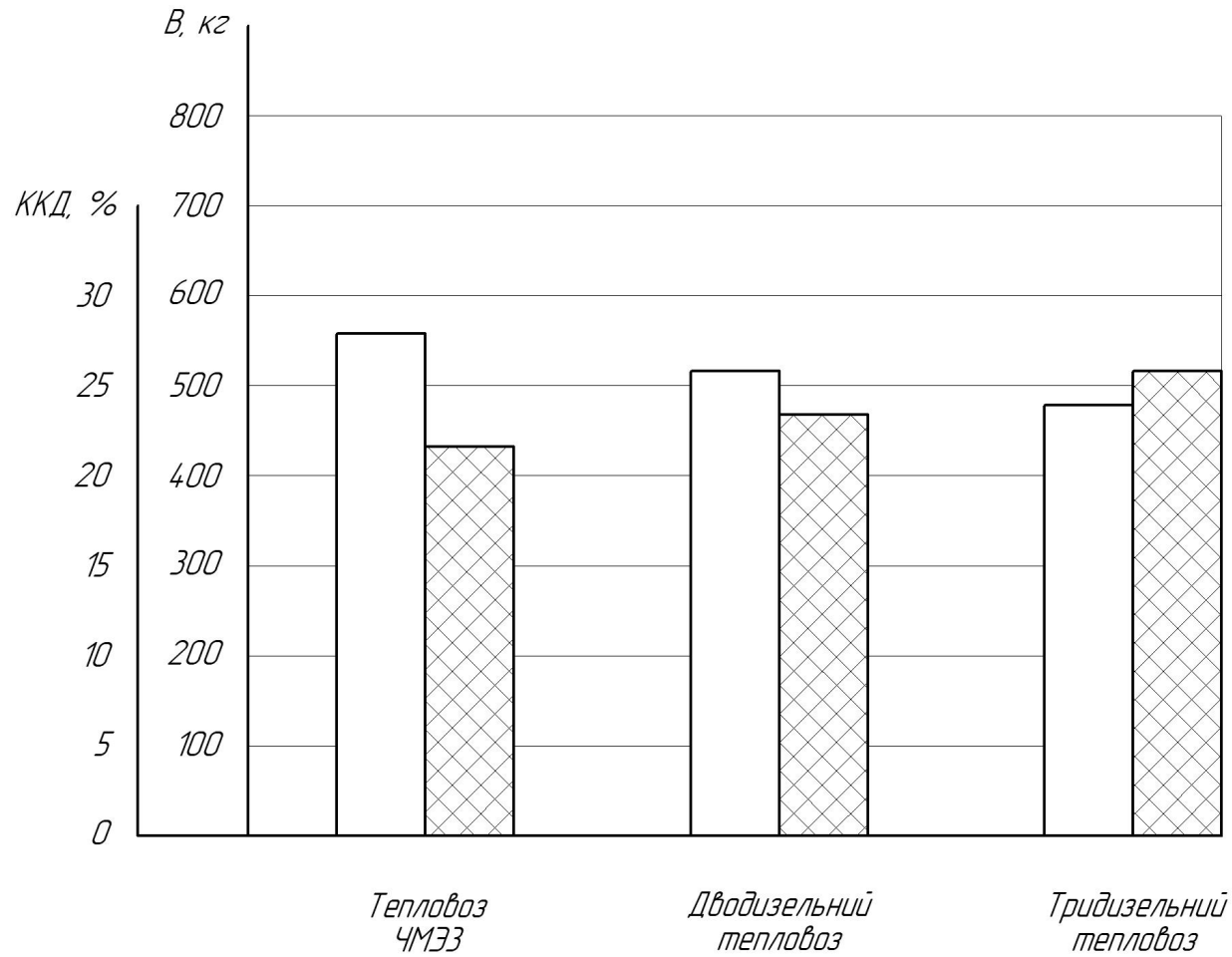


Рисунок 4.7 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки тепловозами при вантажній роботі

Змн.	
Арк.	
№ док.ум.	
Підпис	
Дат	

0032.140290.000.04МР.ПЗ

Арк.

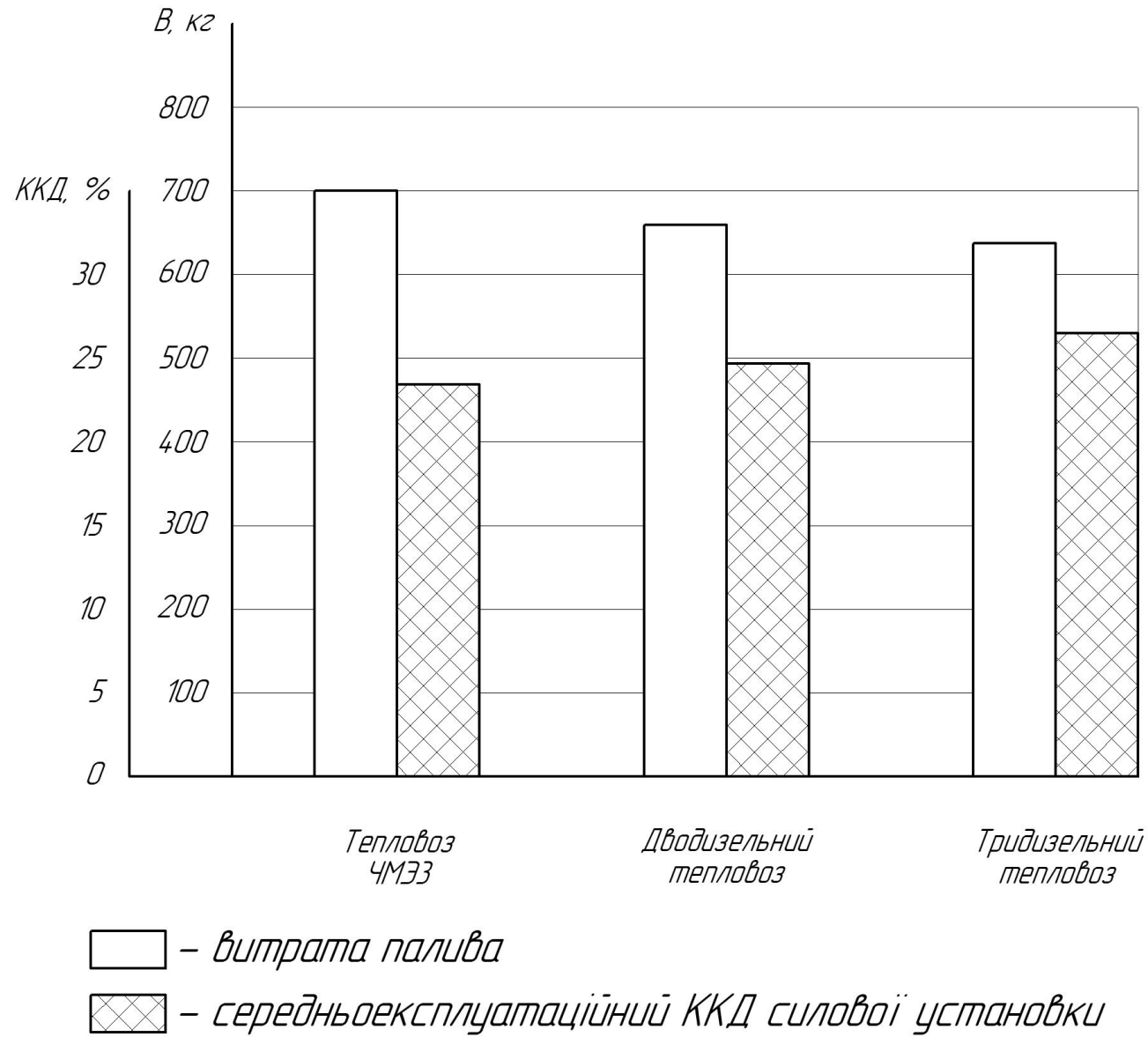


Рисунок 4.8 – Результати розрахунку середньодобової витрати палива та середньоексплуатаційного ККД силової установки тепловозами при господарчій роботі

Змн.				
Арк.				
№ докум.				
Підпис				
Дат				
0032.140290.000.04МР.ПЗ				
Арк.				

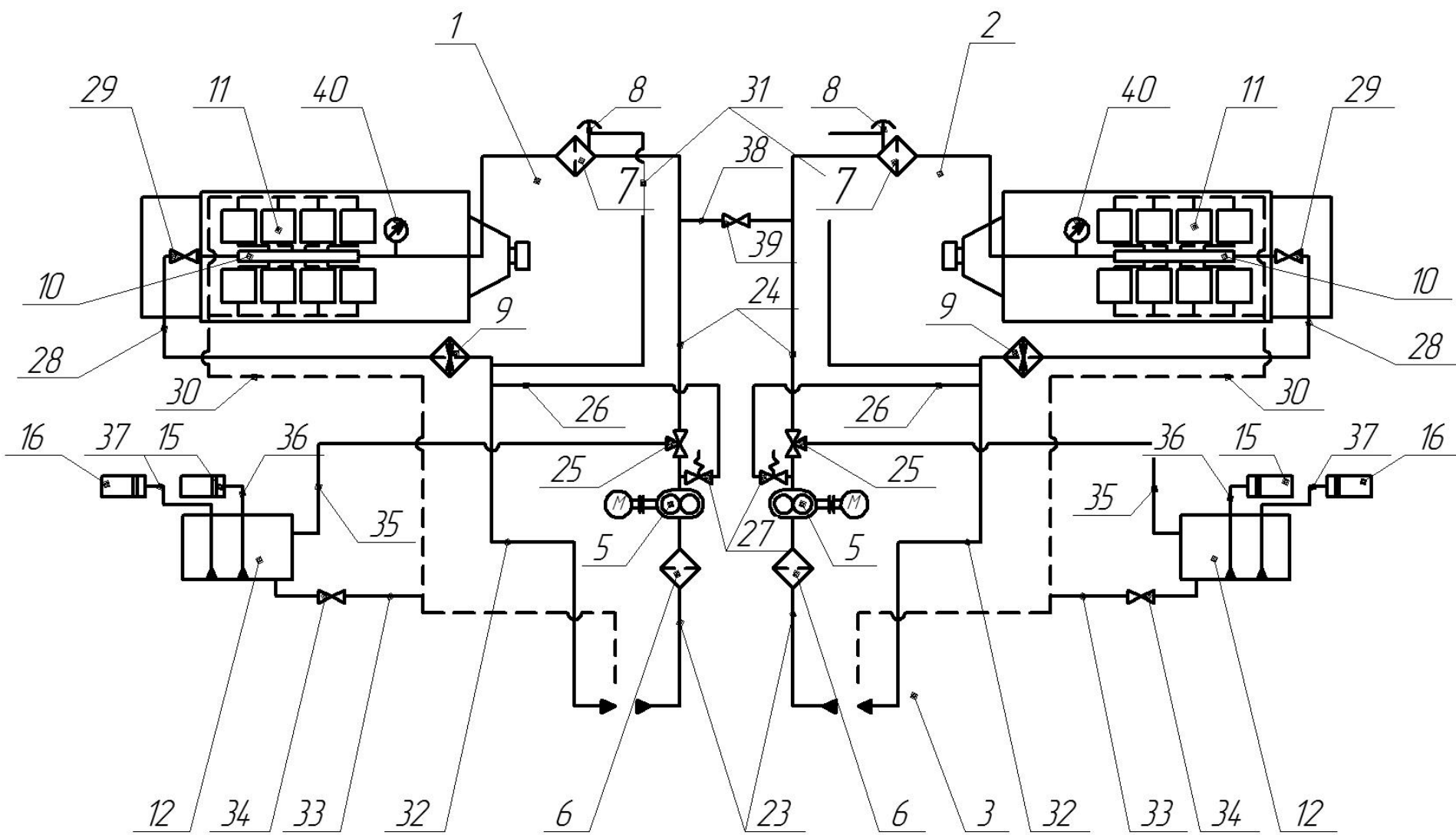


Рисунок 5.1 – Схема паливної системи дводизельного тепловоза

Змн.				
Арк.				
№ докум.				
Підпис				
Дат				
0032.140290.000.04МР.ПЗ				
Арк.				

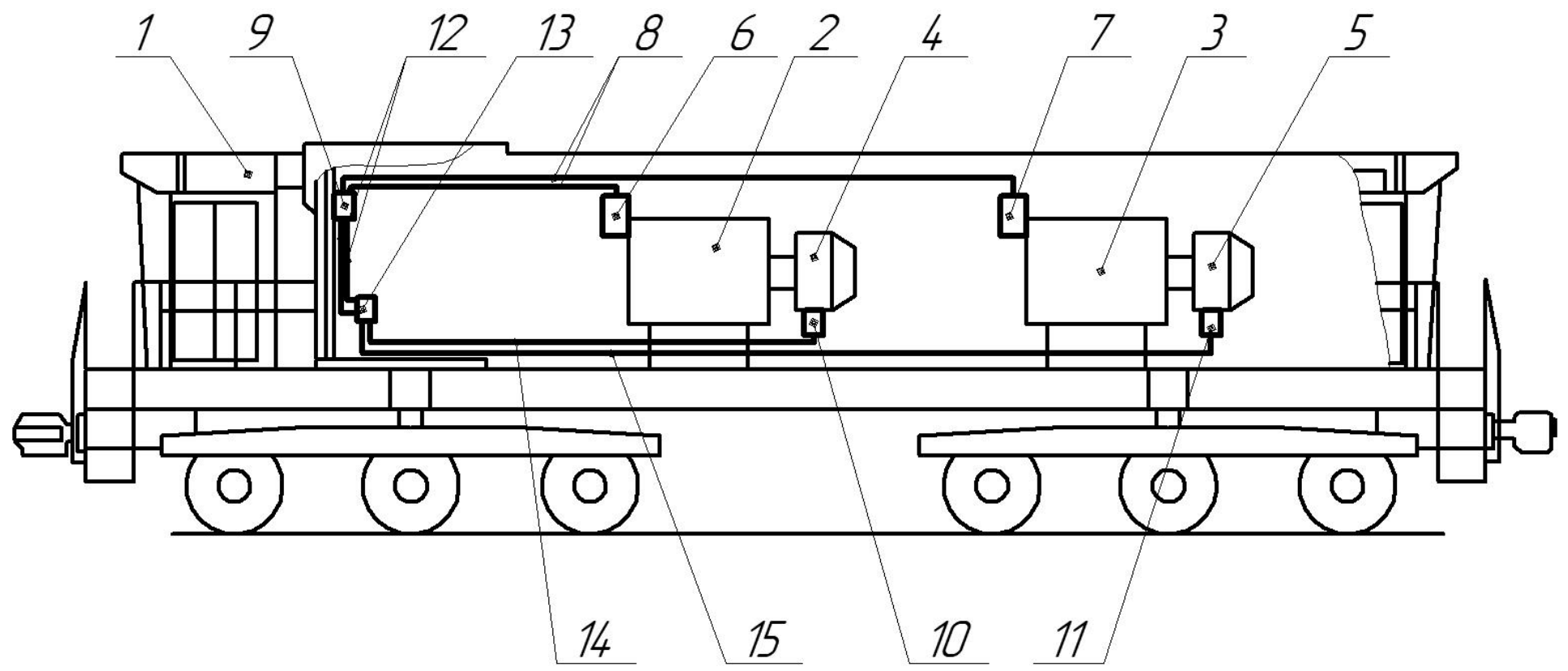


Рисунок 5.2 – Схема пристрою для регулювання роботи дводизельного тепловоза

4%.

Отже, впровадження розглянутих маневрових тепловозів на залізницях України замість ЧМЭЗ є ефективним рішенням.

Був розглянутий метод оцінки працездатності тепловозів в експлуатації.

Для підвищення надійності роботи багатодизельних тепловозів запропонована схема паливної системи та пристрій регулювання роботи багатодизельної силової установки.

					0032.140290.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щуров Н.И. Анализ режимов работы силовых установок маневровых тепловозов / Н.И. Щуров, Е.Г. Гурова, С.В. Макаров, Д.М. Стрельникова //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 104.
2. Перспективы рынка дизельного подвижного состава в Европе //Железные дороги мира. – 2012. – № 1 – С. 38–42.
3. Фалендыш, А.П. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах / А.П. Фалендыш, Н.В. Володарец // Локомотив-информ. – 2010. – № 12. – С. 4–6.
4. Новые тепловозы для маневровой и поездной работы // Железные дороги мира. – 2012. – № 10. – С. 38–42.
5. Оценка технико-энергетической эффективности работы маневровых тепловозов путем моделирования рабочих процессов оборудования в режимах эксплуатации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кузнецова И. А., Москва – 2018.
6. Хомич, А. З. Экономия топлива и техническая модернизация тепловозов [Текст] /А. З. Хомич, О. И. Тупчихин, А. Э. Симсон. – М.: Транспорт, 1975. – 264 с.
7. Фофанов, Г. А. Режимы работы тепловозов и пути повышения их топливной экономичности [Текст] / Г. А. Фофанов, Э. А. Пахомов, А. А. Лосев // Вестник ВНИИЖТа. – М., 1983. – № 6. – С. 21 – 25.
8. Вероятностная модель формирования режимов работы тепловозных дизель-генераторных установок в эксплуатации / А.С. Анисимов, Е.И. Сковородников, А.В. Чулков. Омск. Известия Транссиба, №4(16), 2013.
9. Кручек В.В. Двухдизельная силовая установка для маневровых тепловозов // Современные технологии транспорта. 2011. - №3.
10. Грищенко А.В., Кручек В.А., Кручек В.В. Оценка эффективности тепловозной многодизельной энергетической установки с объединенной системой охлаждения // Известия ПГУПС. 2012. - №1.

					0032.140290.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

