

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 **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИЛОВОЇ  
УСТАНОВКИ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА**

Theme **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE SHUNTING  
LOCOMOTIVE POWER PLANT**

Керівник дипломної роботи М. І. Мартишевський

Нормоконтролер Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1921 О. О. Питайло

Student Pytailo Oleh

Дніпро 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1 МАНЕВРОВІ ТЕПЛОВОЗИ ЯК ПРЕДСТАВНИКИ ТРС .....	8
1.1 Основні тенденції та напрямки розвитку в області автономного тягового рухомого складу для маневрової роботи .....	8
1.2 Техніко-економічні характеристики маневрових тепловозів ....	18
1.3 Дослідження умов та режимів роботи маневрових тепловозів	27
1.4 Бортова установка для прогріву тепловозних дизелів від зовнішнього джерела електроенергії .....	36
2 АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ .....	58
2.1 Аналіз основних режимів роботи маневрових тепловозів .....	58
2.2 Заходи щодо скорочення витрат дизельного палива тепловозами при маневровій роботі .....	60
2.3 Методика імітаційного математичного моделювання режимів роботи маневрового тепловоза .....	66
3 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАМІНИ ОДНОДИЗЕЛЬНИХ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ НА СУЧАСНІ ШЛЯХОМ ЇХ РЕМОТОРИЗАЦІЇ ...	73

<i>Літ</i>	<i>Зміни</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Підвищення ефективності роботи силової установки маневрового тепловоза</b>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Питайло О.</i>					Н	2	97
<i>Перев.</i>	<i>Мартишевський</i>					<b>ДНУЗТ, група ЛГ1921</b>		
<i>Т. контр.</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Колодій Л.</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Капіца М.</i>							

3.1 Основи методики порівняльного імітаційного моделювання визначення витрат палива при експлуатації маневрових тепловозів .....	73
3.2 Результати розрахунку та порівняння паливної ефективності маневрових тепловозів до і після їх ремоторизації	78
ВИСНОВКИ .....	81
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	82
ДОДАТОК А. Перелік умовних позначень .....	84
ДОДАТОК Б. Системи передпускового прогріву двигуна транспортного засобу .....	84
ДОДАТОК В. Теплові акумулятори фазового переходу будова та характеристики .....	88
ДОДАТОК Г. Система прогріву ДВЗ з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу .....	92

## ВСТУП

Сьогодні актуальним, важливим та перспективним напрямком удосконалення двигунів транспортних засобів є зменшення витрат палива на виконання транспортної роботи. Це питання можливо вирішувати різними шляхами: підвищити паливну «стендову» економічність дизеля шляхом цільового налаштування силової установки; підвищити експлуатаційну паливну ефективність тепловоза за рахунок грамотного вибору раціональних експлуатаційних режимів використання силової установки, а також шляхом суттєвого скорочення часу на проведення планових і позапланових ремонтів.

Досягнення зазначеного можливе широким спектром рішень технічного та організаційного характеру, одне з яких – це регулювання теплового стану двигуна. До цього переліку входять і мають найбільший вплив системи охолодження і змащування.

Більшість сучасних двигунів перебувають в оптимальному з точки зору паливної економічності тепловому стані на номінальному чи близьких до нього режимах роботи, чого не можна сказати про експлуатаційні режими роботи двигунів маневрових тепловозів. На цих режимах температури деталей циліндро-поршневої групи, колінчастого вала і т.і. часто залишаються нижче оптимальних. Це пов'язано з «універсальними» прагненнями мати запас за температурою деталей циліндро-поршневої групи на випадок більш високих температур навколишнього середовища в регіоні експлуатації тепловозів, утворення відкладень в порожнинах системи охолодження чи змащення та інших випадків, що призводять до підвищення температури теплоносіїв.

У разі частотої зміни рівнів навантажень, на яких працюють двигуни транспортних засобів, температури деталей циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатунного механізму також постійно змінюються, внаслідок недосконалості технічних характеристик систем автоматизованого управління охолодженням та змащенням двигуна (недостатня чутливість датчиків контролю температури чи «грубий» зворотній зв'язок).

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

В процесі роботи двигуна тепловоза його тепловий стан в багатьох випадках не відповідає оптимальному рівню. Особливо це стосується передпускового і післяпускового стану дизеля та подальшої його роботи в режимі тепловозної характеристики.

В процесі сезонної експлуатації тепловоза пуск дизеля, особливо при низьких температурах навколишнього середовища, деталі циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатунного механізму системи охолодження і мащення можуть приймати достатньо низькі температури. Все це ускладнює сам запуск двигуна, призводить до підвищеного зносу деталей, неоправдано високої витрати дизельного палива. Причина – низька якість сумішоутворення в циліндрі, конденсація палива на стінках циліндрів, клапанах та головках поршнів, а також суттєве погіршення змащувальних властивостей мастила.

Одним зі шляхів підвищення інтегральної ефективності тепловоза як представника тягового рухомого складу (ТРС) є підвищення ефективності використання дизельного палива.

Результати аналізу зовнішнього теплового балансу дизеля дозволяють зробити висновок про те, що, наприклад, з відпрацьованими газами відводиться достатньо значна кількість тепла, що складає суттєву долю теплової енергії в складі балансу, і її утилізація та цільове спрямувати на теплову підготовку двигуна були б далеко не надмірними.

Сьогодні існують спеціалізовані системи, які дозволяють поліпшити тепловий стан двигуна, але вкрай важливо дати максимально об'єктивну комплексну оцінку цим системам та запропонувати можливі способи чи технічні рішення, які зробили б позитивний вклад в підвищення ефективності цільового використання дизеля тепловоза.

З викладеного можливо зробити висновок про перспективність напрямів науково-дослідних чи конструкторських робіт, щодо створення, трансформування та використання сучасних системи підтримання теплового стану дизеля шляхом використання рідинних котлів підігріву, термостатів,

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		5

утилізацію та використання теплової енергії відпрацьованих газів з допомогою сучасних теплових акумуляторів фазового переходу та інше.

Автор магістерської дипломної роботи не залишив поза увагою можливість удосконалення технології передпускового змащування дизеля, впровадження сучасної системи паливоподачі, також активної модернізації самої конструкції допоміжних систем.

Тема даної магістерської дипломної роботи стосовно підвищення ефективності роботи силової установки маневрового тепловоза включає пропозиції та цільові розрахунки удосконаленням не тільки стендової паливної ефективності дизеля, але і експлуатаційної паливної ефективності, яка в значній мірі формується досконалістю елементів силової передачі (тяговий генератор чи гідравлічна передача), схем допоміжних систем охолодження чи змащення, комплектуванням тепловоза бортовим обладнанням і т. і.

Первинна робота над силовою установкою ТРС починається ще на стадії проектування та випуску його перших зразків. Результат такої роботи в частині паливної ефективності силової установки тепловоза можливо оцінити на випробувальних стендах того ж заводу, майбутній моторесурс силової установки – через деякий відрізок часу, а от вдалість конструкції тепловоза інколи оцінюють завдяки зворотному зв'язку вчених та конструкторів через отримані результати відповідних науково-дослідних робіт, конструкторських та технологічних напрацювань.

Звичайно, в основі поточної паливної експлуатаційної ефективності дизеля тепловоза лежать результати його стендових випробувань. Ця частина в кращу сторону суттєво вирізняє дизель маневрового тепловоза з електричною передачею, бо випробувати дизель з повним його навантаженням, вимірюванням характерних параметрів, їх регулювання та налаштуванням відповідних характеристик, дозволяє водяний чи сухий реостатний стенд. Для дизеля маневрового тепловоза з гідравлічною передачею все це як організаційно так і технічно більш складне і витратніше.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

Магістерська дипломна робота в більшій своїй частині висвітлює проблеми, не вирішені в свій час заводами-виготівниками серійних на сьогодні маневрових тепловозів, пропонує рішення на рівні модернізації конструкції з відповідними розрахунками та створенням корисної моделі елементів, включаючи при цьому техніко-економічне обґрунтування відповідних пропозицій.

На жаль, увага до цього питання з боку технічних спеціалістів Укрзалізниці абсолютно не достатня, причому потенціал практично всіх ТРЗ використовується мінімально.

Автору магістерської дипломної роботи приємно зазначити значний обсяг рекламно-технічного матеріалу, наданого зі сторони ТОВ «Метінвест Холдінг» з тематикою експлуатації тепловозних дизелів, їх порівняння для ремоторизації тепловозів (тягових агрегатів) та можливих варіантів застосування дизелів. Частина інформації буде використана в магістерській дипломній роботі з метою цільової порівняльної оцінки деяких вітчизняних та зарубіжних виробників тепловозних дизелів (фірми Cummins, ABC, Caterpillar) як транспортних силових установок.

Для підтвердження деяких кількісних експлуатаційних параметрів дизелів фірми Cummins автор реалізував модель-методику, що однозначно підтвердила високу паливну ефективність дизеля QST30-L1 порівняно з дизелем 211-ДЗ тепловоза ТГМ4. Суть самої методики більш детально показано в розділі 3 «Модельовання заміни ододизельних маневрових тепловозів на сучасні шляхом їх ремоторизації».

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 МАНЕВРОВІ ТЕПЛОВОЗИ ЯК ПРЕДСТАВНИКИ ТРС

## 1.1 Основні тенденції та напрямки розвитку в області автономного тягового рухомого складу для маневрової роботи

Важливу роль у виконанні транспортних завдань грає автономний рухомий склад, особливо в області виконання маневрових, збірно вивізних і внутрішніх робіт компаній, корпорацій та ін. Значна частина експлуатаційного парку локомотивів, наприклад, РФ зайнята виконанням маневрової роботи, з них 92% маневрової роботи виконується тепловозами. Не є виключенням і Укрзалізниця. Витрати на їх утримання становлять понад 25% від загальних експлуатаційних витрат, основною статтею витрат, як відомо, при цьому є витрати на дизельне паливо. В даний час особлива увага приділяється підвищенню паливної економічності автономного рухомого складу для маневрової роботи, що обумовлює розвиток різних тенденцій і напрямків в даній області.

Аналітичні дослідження парку маневрових тепловозів провідних країн Європи виконано за матеріалами журналів і сайтів [1]. Оброблені доступні статистичні дані провідних країн Європи представлені на рис. 1.1 - 1.2.

Загальна кількість маневрових тепловозів в західній Європі на даний час становить близько 7680 одиниць. Процентний склад маневрових тепловозів провідних країн Європи показано на рис. 1.1. Видно, що домінуюче становище (86,82%) за кількістю маневрових тепловозів в розглянутих країнах Європи займають Німеччина – 36,64%, Франція – 32,40%, Італія – 17,77%, наступну групу 11,75% складають Швеція, Фінляндія, Австрія і всього лише 1,43% парку маневрових тепловозів припадає на Норвегію, Данію, Бельгію.

Середній вік усіх маневрових тепловозів залізниць Франції, Німеччини, Італії, Фінляндії, Норвегії, Данії, Австрії та Бельгії становить близько 44 років.

Основний підйом маневрового тепловозобудування доводиться на 1961-1980 роки. В останні роки на тлі високих енергозберігаючих та екологічних

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

вимог знову проглядається тенденція збільшення обсягів тепловозобудування (рис. 1.2).

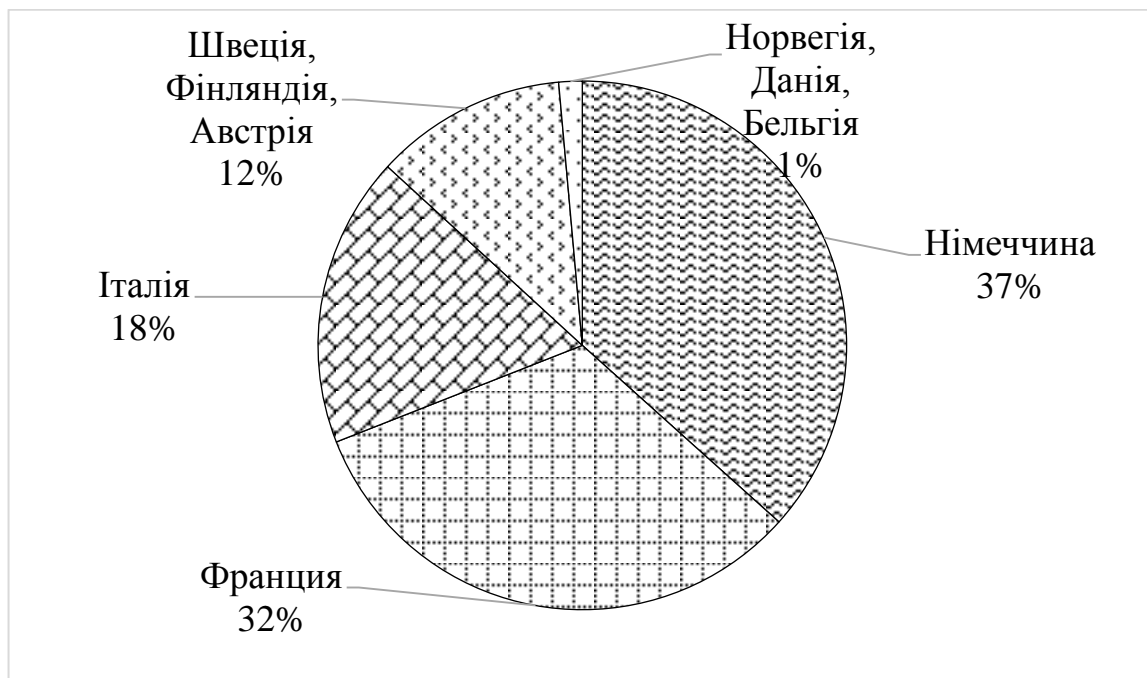


Рисунок 1.1 – Процентне співвідношення кількості маневрових тепловозів провідних країн Європи

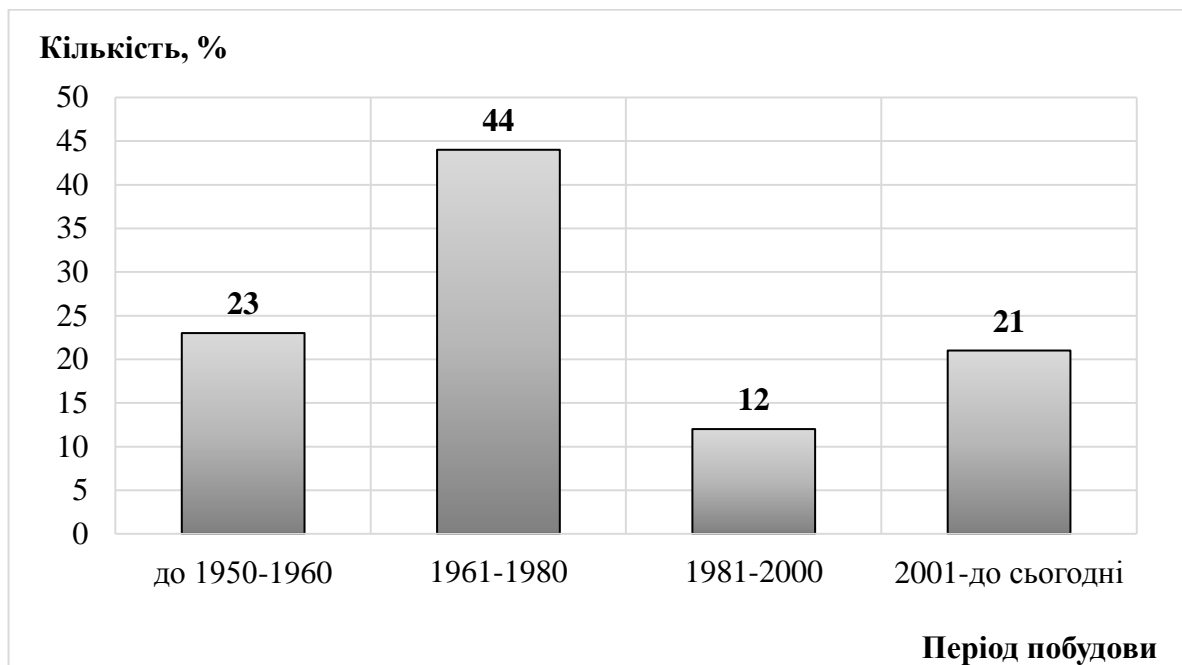


Рисунок 1.2 – Розподіл за часом кількості побудованих маневрових тепловозів

Триває процес оновлення, заміни застарілого парку і модернізації раніше випущених серій тепловозів шляхом впровадження прогресивних видів автономної тяги. Затребувані більш ефективні, економічні, екологічні конструкції.

За відкритими даними середній вік тепловозного парку за період з моменту створення ВАТ «РЖД» у 2003 р зріс з 22,3 до 25,8 років. В зв'язку з відсутністю власних тепловозобудівних заводів, ситуація з віком маневрового ТРС в Укрзалізниці суттєво тривожніша.

Маневрові машини потужністю 500-1000 кВт складають 39%, на машини, діапазон потужності яких варіюється в межах від 100 до 500 кВт доводиться 30%. Останнім часом характерна тенденція до підвищення потужності. Більш докладний розподіл кількості маневрових тепловозів провідних країн Європи за діапазонами потужності і типом силової передачі в разі необхідності можливо знайти на відповідних сайтах в Інтернеті. Причому необхідно зазначити, що, більшість нових маневрових тепловозів побудованих, починаючи з 2000 року, мають гідропередачу.

Останнім часом в Європі поживалася робота по модернізації і створенню маневрових локомотивів. Побудовано десятки нових локомотивів, що відрізняються поєднанням різних енергетичних установок.

З'явився термін «Гібридна установка, гібридний тепловоз». Гібридними вважаються локомотиви, які мають енергетичну установку, в якій поєднуються два або більше різних принципу дії, або застосовується функціональне дублювання, засноване на використанні різних джерел енергії.

Система вважається гібридною, якщо вона має хоча б одне додаткове рішення для виконання однієї і тієї ж функції.

Так, наприклад, канадська компанія Rail Power technologies Corp розробила нові маневрові локомотиви, в яких низькообертові 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 – «зелене 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 здійснюють живленням 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. Так само компанією Alstom було розроблено сімейство НЗ що складається з чотирьох типів: локомотив, що 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 [8].

Локомотиви сімейства НЗ всіх чотирьох типів, на думку авторів, відповідають наступним вимогам: максимальна продуктивність; відповідність найвищим екологічним вимогам; переваги в експлуатації; уніфікація за величиною сили тяги при рушанні з місця і технологією 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 [9].

В Обнінську (РФ) на НПП «Політ» створений маневровий тепловоз ЛГМ1 з комбінованою силовою установкою, що включає в себе модуль тягових акумуляторних батарей і дизель-генераторну установку. Тепловоз

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

ЛГМ1 з електричною передачею змінно-постійного струму призначений для виконання легких маневрових і господарських робіт на шляхах шириною колії 1520 мм промислових підприємств, залізничних станцій, ремонтних підприємств, підприємств колійного господарства, в тому числі в закритих приміщеннях без викиду випускних газів дизеля [6].

З'явилися дводизельні тепловози, тобто замість одного дизель-генератора застосовуються два з тієї ж сумарною потужністю. Сенс такого нововведення зрозумілий. На маневрах працює одна силова установка, і тільки в випадках, коли необхідна велика потужність, як правило, при виїзді на перегін, задіяні обидва дизеля.

Як відомо, сьогодні пішли ще далі, створивши тридизельний тепловоз, у якого крім двох основних дизель-генераторів є ще третій – допоміжний, потужність якого розрахована на забезпечення харчування ланцюгів управління, освітлення, опалення та приводу компресора [10]. Крім того, допоміжний дизель використовується для обігріву основних дизелів під час перерв у роботі.

Компанія National Railway Equipment (NRE) випустила кілька маневрових тепловозів сімейства N-Viro Motive, обладнаних двома або трьома дизель-генераторними силовими агрегатами потужністю по 500 кВт. Корпорація Brookville Equipment (BE) розробила маневровий тепловоз сімейства Co Generation з трьома дизель-генераторними агрегатами сумарною потужністю 1500 кВт, що відрізняється низькою питомою витратою дизельного палива і відповідає найсуворішим вимогам з охорони навколишнього середовища. наявність декількох силових агрегатів дозволяє реалізувати принцип «потужність за потребою» і виключити її непродуктивне використання [11].

З'явилися багатодизельні тепловози (MP21B (MPI, США), тепловози серії 3GS-21B, «CoGeneration» і RP20BH з рекуперативним гальмуванням, Terra Nova [12] та ін.). Застосування багатодизельних тепловозів дозволяє за різними

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

джерелами економити від 15% до 27% палива (в залежності від режиму роботи), значно знизити шум при маневровій роботі, зменшити до 50% емісії CO<sub>2</sub>, скоротити до 80% шкідливі викиди в атмосферу.

У Франції в рамках проекту Plathée створений гібридний локомотив ВВ63413. Економія палива була отримана при маневровій роботі 40% порівняно з традиційним тепловозом, а в режимі холостого ходу – 86% [13].

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 з порушенням від постійних магнітів. При випробуваннях на маневрової роботи була отримана економія палива близько 36%, а обсяг викидів окислів азоту був нижче на 61% в порівнянні з традиційними маневровими тепловозами з електричною передачею [13].

Російська компанія «Трансмашхолдинг» спроектувала маневровий тепловоз ТЭМ35 з силовою установкою на базі двох модульних дизель-генераторів в складі дизеля С18 фірми Caterpillar потужністю 2x571 кВт і синхронного тягового генератора. Тепловоз ТЭМ35 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 можливість відразу двох дизелів. призначений ТЭМ35 для виконання маневрової, маневрово-вивізної, гіркової і господарської роботи в депо, на станціях і промислових підприємствах на колії 1520 мм [14].

Перший російський гібридний тепловоз ТЭМ35 має цілу низку істотних переваг. При однаковій з серійними тепловозами потужності він витрачає

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

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. В ньому використовуються накопичувачі енергії, в якості яких застосовані електрохімічні конденсатори компанії «ЕЛТОН». ТЕМ35 обладнаний інтелектуальної векторної системою управління тяговим електроприводом і накопичувачами енергії. При русі гібридного тепловоза енергія від дизель-генератора потужністю 800 кВт передається до шести асинхронних двигунів потужністю 180 кВт кожен і конденсаторів, а при гальмуванні частина енергії передається в накопичувальні конденсатори – відбувається процес рекуперації.

Векторна система управління забезпечує передачу енергії ДГУ в накопичувач і до двигунів, а також повернення рекуперації в накопичувач.

Переваги зазначеної системи:

- збільшення ресурсу роботи колісних пар в півтора рази;
- збільшення надійності і довговічності роботи накопичувачів;
- досягнення сучасних стандартів автоматизації управління тепловозом, а також діагностики і тестування;
- зменшення питомих витрат енергії на тягу на 40-50%.

Також розробляються проекти по використанню в роботі гібридних тепловозів накопичувальних акумуляторних батарей [15].

Двовісний тепловоз з комбінованою (гібридною) установкою ТЕМ31 (Повна потужність 440 кВт) призначений для легкої маневрової і вивізної роботи на промислових підприємствах з шириною колії 1520 мм і служить для заміни застарілого парку маневрових тепловозів типу ТГМ, ЧМЭЗ, ТЭМ2 [14].

На тепловозі застосовані самі передові технології в області тепловозобудування використовуються інноваційні рішення:

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

- управління тяговими двигунами постійного струму за допомогою регуляторів, виконаних на IGBT-транзисторі;
- локальна мережа управління відкритої архітектури, яка об'єднує всі системи управління тепловозом, в тому числі тягою і гальмуванням, що дозволяє здійснювати дистанційне керування тепловозом за допомогою радіоканалу, а також системи GPRS і Wi-Fi;
- тепловоза гальмо з мікропроцесорним управлінням і автоматичне гальмо стоянки з електричним приводом;
- центральне мікропроцесорний пристрій керування тепловозом типу БУЛ розробки ВАТ «ВНІКТИ» 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» (РФ) випустило дводизельний маневрово-вивізний тепловоз з електричною передачею ТЭМ14. Конструкція тепловоза передбачає модульне виконання основних вузлів агрегатів, що забезпечує зручність обслуговування і ремонту тепловоза. Економія пального тепловоза при його експлуатації на думку авторів становить близько 20% [16].

Енергоефективний тепловоз з інтелектуальним гібридним асинхронним приводом ТЕМ9Н Sinara Hybrid включає більше 20 інноваційних технічних рішень в конструкції. За принципом виробництва і компанування «Sinara Hybrid» має модульну архітектуру.

На рамі тепловоза розміщені дизель-генераторний, кабіний, санітарно-побутовий модулі, а також модуль підготовки стисненого повітря, відсік чистого повітря, модуль перетворювачів і накопичувачів енергії. Електрична схема тепловоза передбачає наявність в своїй конструкції літій-залізо-фосфатних акумуляторів і суперконденсаторів для зберігання електричної

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

енергії. Тепловоз оснащений асинхронним тяговим приводом з векторних 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 [17].

Кілька багатодизельних локомотивів створені в Ярославлі на базі тепловоза ЧМЭЗ. Метою розробок було створення тепловозів, що відповідають сучасним перспективним вимогам з питань екології і витрати палива, а так само вимогам щодо поліпшення умов роботи машиніста.

Економія палива ЧМЭЗ з тридизельною силовою установкою 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 та роботу мікропроцесорної системи управління [17]. 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 [14].

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 Російських автономних тепловозів задоволення вимог споживачів залізничної техніки можливо на основі науково обґрунтованих рішень .

Створення гібридних маневрових тепловозів з рекуперацією енергії та 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,
- проектування альтернативного виду автономного рухомого складу.

При створенні маневрових тепловозів нового покоління прагнуть отримати такі позитивні ефекти як:

- максимальне використання енергії на створення сили тяги;
- зниження енергетичних витрат на допоміжні потреби тепловоза;
- зниження витрат на придбання пально-мастильних матеріалів;
- зниження витрат на обслуговування і ремонти всіх видів за весь термін служби тепловоза;
- скорочення терміну окупності капітальних вкладень;
- раціональне співвідношення категорій «ціна-якість»;
- забезпечення високих екологічних та ергономічних якостей, які задовольняють 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.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

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, частому 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.

З вище описаних 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 тепловозів.

## **1.2 Техніко-економічні характеристики маневрових тепловозів**

В якості вступу до магістерської роботи виконано достатньо змістовний огляд еволюційного розвитку маневрових тепловозів. В основному в ньому висвітлені маневрові тепловози як традиційний тяговий рухомий склад за останні 50–60 років. До оглядового переліку ввійшли маневрові тепловози як з електричною передачею так і з гідравлічною.

Для України сьогодні характерне формування парку маневрових тепловозів: Укрзалізниця забезпечує виконання маневрової роботи виключно тепловозами з електричною передачею (базова серія ЧМЭЗ і її модифікації ЧМЭЗМ, ЧМЭЗ<sup>T</sup>, ЧМЭЗ<sup>3</sup>), а промислові підприємства експлуатують тепловози як з електричною передачею (серія ТЭМ2 і її розвиток), так і з гідравлічною (серії ТГМ4, ТГМ6 і т. і.).

Автор планує присвятити розробці методики порівняння тепловозів цілий розділ.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

До основних інформаційних характеристик, важливих для маневрових тепловозів ввійдуть: потужність дизеля, навантаження від осі на рейки, конструкційна швидкість, найменший радіус кривих, роки випуску та завод-виробник. Інформація почерпнута з Інтернету [1]. Технічна характеристика тепловозу ЧМЭЗ приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика тепловозу ЧМЭЗ

Потужність Дизеля К6S310DR, кВт	993
Осьова формула	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>
Максимальна швидкість, км/год	95
Навантаження від осі на рейки, т	20,5
Найменший радіус кривих, м	80
Роки випуску	1963 – 1994
Всього побудовано, шт	7459
Виробник	ČKD Praha

За 30 років завод ČKD Praha, а пізніше і тепловозобудівні заводи РФ і України провели велику і різнопланову роботу для належного забезпечення замовників новими чи модернізованими тепловозами, що успішно виконують сьогодні маневрову та маневрово-вивізну транспортну роботу.

#### *1.2.1 Модернізовані тепловози ЧМЭЗ зі збереженням кузова.*

У 1995-1996 роках фахівці ВАТ «Пензадизельмаш» спільно зі співробітниками Уральського відділення «ВНИИЖТ» і «ВНИТИ» (РФ) розробили документацію на модернізацію, а Мічурінський ЛРЗ встановив новий дизель-генератор 1-ПД4В на тепловоз ЧМЭЗ-5188, який отримав позначення ЧМЭЗП (в даному випадку «П» – значило з пензенським дизелем).

Фахівцями Коломенського заводу був розроблений проект модернізації ЧМЭЗ з установкою дизель-генератора сімейства Д49 і реостатного гальма.

Першим модернізованим тепловозом виявився ЧМЭЗ-1026 Північної залізниці. Він отримав серію ЧМЭЗК.

У 2008 році Ярославським електровозоремонтний завод була проведена модернізація тепловоза ЧМЭЗ-4342, в ході якої застаріла ДГУ була замінена на дві сучасні виробництва Ярославського Моторного заводу (такій же модернізації піддалися ЧМЭЗ-2781, 2365, 2134, 4423, 1246 і 6184).

Майже одночасно чеська фірма ZOS Nymburk створила свій концепт модернізації. Фактично замінюється дизель, тяговий генератор, осучаснюється електроніка; капот, візки і кабіна залишаються колишніми. Зокрема за таким проектом в 2010 році були модернізовані шість ЧМЭЗ Азербайджанської залізниці.

У середині 2019 року на ЧМЭЗ-1562 приписки депо Лоста Північної залізниці пройшло тестування програмно-апаратного комплексу, який працює за технологією технічного зору. Комплекс містить обчислювальний блок, відеокамери, пристрій позиціонування та інше обладнання. Розробник комплексу – російська компанія Cognitive Technologies. У разі небезпеки (неправильно поставлена стрілка, на рейках людина або інша перешкода, заборонний сигнал світлофора) система спочатку подає сигнал машиністу. За відсутності реакції машиніста на попередження система віддає команду на гальмування бортовою системою локомотива (зв'язок з електропневматичним клапаном). Також є можливість контролювати в автоматичному режимі швидкість локомотива при зчепленні з іншим рухомим складом.

### *1.2.2 Модернізовані тепловози ЧМЭЗ з новим кузовом.*

Чеська фірма CZ LOKO a.s. розробила проект модернізації тепловозів серії ЧМЭЗ. Фактично від старої машини залишається рама і візки, замінюється кузов і кабіна, ставиться дизель «Caterpillar» з тяговим генератором «Siemens»; замінені також всі силові та допоміжні агрегати і механізми.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

На Україні такий модернізований тепловоз отримав серію ЧМЭЗП (в даному випадку «П» – значить проходив модернізацію на Полтавському ТРЗ); в Литві – серію ЧМЭЗМЕ; в Латвії –серію ЧМЭЗМ.

Фірма CZ LOKO a.s. надала технологію виготовлення, а депо Ліда (РФ) взялося за проект модернізації тепловозів ЧМЭЗ з присвоєнням нової серії ТМЭ1 і ТМЭ2.

### *1.2.3 Модернізований тепловоз ЧМЭЗ з трьома дизелями.*

Тридизельний маневровий тепловоз призначений для маневрової і маневрово-вивізної роботи на залізничних коліях з шириною колії 1520 мм. Тепловоз побудований на базі екіпажної частини і кузова тепловоза ЧМЭЗ.

При переобладнанні на тепловоз встановлені:

– два нових дизель-генератора з дизелями ЯМЗ-Е8502.10-08 потужністю по 478 кВт (кожен) і допоміжний дизель-генератор (для забезпечення живлення допоміжних агрегатів тепловоза) потужністю 24 кВт замість штатного дизеля К6S310DR;

- апаратура тягової електропередачі змінно-постійного струму;
- мікропроцесорна система управління і діагностування;
- модульний компресорний агрегат на базі гвинтового компресора;
- система вимірювання та контролю рівня палива в баку;
- електроприводи вентиляторів охолодження тягового обладнання.

Кабіна управління модернізована відповідно до діючих Санітарних правил з установкою ергономічних робочих місць машиніста (пультів управління і крісел), електричне обігрівання лобових і бічних стекол, нової обшивки і теплозвукоізоляції з сучасних матеріалів. Технічна характеристика тепловозу ЧМЭЗ з трьома дизелями приведена в таблиці 1.2.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика тепловоза ЧМЭЗ з трьома дизелями

Потужність , кВт	2 x 485 + 25 кВт
Швидкість , км/год	95
Роки випуску	з 2011 р. по наші дні
Виробники	Ярославський електровозоремонтний завод

#### 1.2.4 Розвиток маневрового тепловоза ТЭМ2.

Тепловоз серії **ТЭМ2** – маневровий, підвищеної потужності. Конструкція кузова у цих тепловозів незначно відрізняється від кузова тепловозів ТЭМ1 перших випусків. Крім заміни дизеля був замінений головний генератор і внесений ряд інших змін. Вперше у світовій практиці, на тепловозі ТЭМ2 була застосована система для управління тепловозом однією особою, як з лівого, так і з правого боку, тому водити локомотив на маневрах стало простіше.

Сьогодні це найпоширеніший маневровий тепловоз на території колишнього Союзу. Технічна характеристика тепловозу ТЭМ3 приведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика тепловоза ТЭМ2

Потужність , кВт	1200
Швидкість , км/год	100
Роки випуску	1960-2000
Побудовано, шт	3160
Виробники	Брянський МБЗ, Ворошиловградський ТБЗ (з 1969 по 1979 р. р.);
Експортувався	в Польщу, Монголію , Кубу

Тепловоз серії **ТЭМ2У** на відміну від тепловозів ТЭМ2 мав змінену форму капота і кабіни машиніста, а також ряд нових пристроїв (новий пульт управління, глушник шуму, поліпшену теплоізоляцію і ін.).

На тепловозі поліпшена конструкція дизель-генератора, ресорного підвішування, передбачений електричний підігрів води в системі охолодження. Зчіпна маса тепловоза збільшена до 123,6 т.

Тепловози ТЭМ2У були розраховані як на колію 1524, так і на колію 1435 мм (серія ТЭМ2). Технічна характеристика тепловозу ТЭМ2У приведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика тепловоза ТЭМ2У

Потужність , кВт	882
Швидкість , км/год	100
Роки випуску	1978, 1984-1989
Побудовано, шт	1390 (включаючи ТЭМ2)
Виробники	Брянський машинобудівний завод

Тепловоз серії **ТЭМ2М** - на першому дослідному тепловозі ТЭМ2М-001, на якому на відміну від тепловоза ТЭМ2 замість дизеля ПД1М був встановлений дизель 2-6Д49 Коломенського тепловозобудівного заводу. Починаючи з 1984 року тепловози ТЭМ2М стали випускатися в невеликій кількості з метою накопичення експлуатаційного досвіду.

У конструкцію локомотива були внесені зміни, зумовлені застосуванням іншого дизеля, ознайомитись з його характеристиками можна в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика тепловоза ТЭМ2М

Потужність , кВт	895
Швидкість , км/год	100
Роки випуску	1974-1988
Побудовано, шт	286
Виробники	Брянський машинобудівний завод

### 1.2.5 Маневрові тепловози з гідравлічною передачею

Тепловоз серії **ТГМ4** чотиривісний з гідромеханічною передачею, сконструйований на базі тепловозів ТГМ3 і ТГМ6А, але з новим дизелем замість не зовсім вдалого М753. На тепловозі ТГМ4 встановлений баласт вагою 15 тон. Технічна характеристика тепловозу ТГМ4 приведена в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика тепловоза ТГМ4

Потужність , кВт	560
Швидкість , км/год	55
Роки випуску	1973-1985
Побудовано, шт	2659
Виробники	Людинівський тепловозобудівний завод

Тепловоз серії **ТГМ4А** Основною відмінністю тепловозів ТГМ4А від тепловозів ТГМ4 є зменшена зчїпна вага за рахунок зменшення маси баласту. У 1989 році почав виготовлятися під серією ТГМ4Л, де "Л" – значить легкий. Технічна характеристика тепловозу ТГМ4А приведена в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика тепловоза ТГМ4А

Потужність , кВт	560
Швидкість , км/год	55
Роки випуску	1971
Побудовано, шт	2918
Виробники	Людинівський тепловозобудівний завод

Тепловоз серії **ТГМ4Б** призначений для виконання маневрової і вивізної роботи на станціях залізниць і на промислових підприємствах. Модернізований тепловоз, створений на базі ТГМ4 і уніфікований з ТГМ6Д. Частина локомотивів поставлялася з кабіною аналогічній ТГМ6Д, а частина – мала кабіни аналогічні ТГМ4А (приблизно до 300-их номерів). З 985-го номера

випускається на безщелепних візках. Технічна характеристика тепловозу ТГМ4Б приведена в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічна характеристика тепловоза ТГМ4Б

Потужність , кВт	607
Швидкість , км/год	65
Роки випуску	з 1971 по наші дні
Побудовано, шт	1069
Виробники	Людинівський тепловозобудівний завод

*1.2.6 Основні тенденції та напрямки розвитку в області автономного тягового рухомого складу для маневрової роботи.*

Нажаль, як видно з оглядової інформації, тільки на одному з маневрових тепловозів ТЭМ2У знайшлося місце для електричного підігріву води в системі охолодження силових установок. До цього пристрої для електричного підігріву води в системі охолодження можливо було віднайти на маневровому тепловозі ЧМЭЗ. Інформація про регулярність і ефективність використання електричного підігріву води у автора роботи відсутня, але виконана попередня економічна оцінка заміни режиму прогрівання на холостому ходу режимом електропідігрівання теплоносіїв показала, що не зважаючи на рівень діючих оптових цін на дизельне паливо і електроенергію, температуру навколишнього середовища і інтенсивність використання маневрового тепловоза за прямим призначенням, використання електроенергії зовнішнього джерела дозволяє реально знизити ціну теплової енергії (порівняно з режимом холостого ходу) від 3 до 6 разів.

Сама тема використання електричної енергії зовнішнього джерела чи спеціального бортового генератора – не є новою. Дієвих способів підвищити експлуатаційну паливну ефективність силової установки тепловоза лише через удосконалення допоміжних режимів, в тому числі і режимів теплової

підготовки чи належного рівня теплового забезпечення всього бортового обладнання, є чимало і відрізнятися вони можуть:

- рівнем позитивного впливу на економічну ефективність ТРС;
- строком окупності додаткових витрат;
- складністю впровадження способу;
- рівнем ризиків в разі відмови вибраного способу;
- складністю поточного контролю за рівнем ефективності;
- відсутністю належної мотивації у працівників.

Найбільшу негативну характеристику якості використання теплової енергії спаленого дизельного палива на режимі холостого ходу диктує зовнішній тепловий баланс тепловозного дизеля, звідки видно, що до систем охолодження і мащення відводиться частка від всього отриманого тепла десь в межах 0,4 - 0,5.

Умовно «конфлікт інтересів» дизеля тепловоза можливо формулювати таким чином: чим гірше спалюємо паливо – тим більша частка тепла піде на підігрів теплоносіїв в системах охолодження та мащення. Тут однозначно діє «парадокс самовара»: чим більше енергії буде відведено в систему охолодження чи мащення на режимах «гарячого» резерву маневрового тепловоза, тим краще для задіяного способу прогрівання.

По-перше. У самовара частка теплової енергії, на підігрів води для майбутнього чаю складає десь 0,8-0,9. А у дизеля тепловоза? В найкращому для нього (як самовара) ця частка складає тільки половину, тобто 0,4-0,5.

Навіть, якщо сюди (якимсь чином) доповнити енергію відпрацьованих газів, то самовар зі своїм ККД свого цільового призначення «як самовара» буде ефективніше. Тобто, спалювання палива в топці самовара суттєво ефективніше ніж спалювання дизельного палива в циліндрах двигуна.

По-друге. Важливо не тільки ефективно спалити паливо, але і зберегти його для подальшого цільового використання.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Напрошується термін «тепловий акумулятор». І якщо «баба на чайник», виконуючи роль теплового ізолятора, дозволяє суттєво зберегти енергію чайника-заварювальника, то для допоміжних систем тепловозів пристрої такої конструкції для використання їх в процесі експлуатації тепловоза – не підходять.

По-третє. Яким чином донести акумуляовану енергію до теплоносія допоміжної системи тепловоза (водяної чи масляної).

Дивно, що коли в 60–80 роки минулого століття моторні палива «лилися рікою», удосконаленням способів збереження енергії займалися на рівні аспірантів спеціалізованих кафедр технічних вузів та пошукачів в науково-дослідних інститутах транспортного напрямку.

Свого часу пропонувалися ідеї з варіантами подвійної дії позитивного впливу. Характерний приклад такого варіанту викладено в книзі Хомича А.З. де автором книги пропонувалася удосконалена схема водяної системи потужного тепловоза, рисунок 1.3

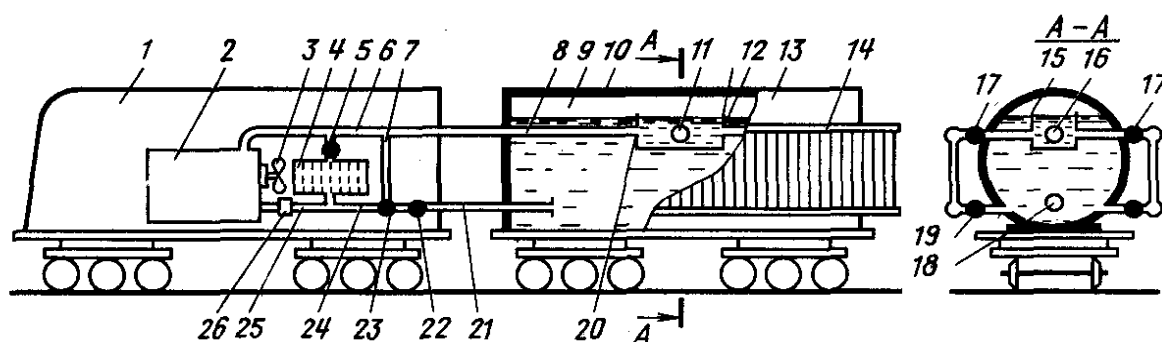


Рисунок 1.3 – Схема водяної системи потужного тепловоза

Основна задача, що успішно вирішувалася завдяки запропонованій схемі охолодження дизеля, полегшити перетворення великої секційної потужності в тягове зусилля тепловоза. Для забезпечення реалізації тягового зусилля локомотива на цистерні передбачена установка тягових електродвигунів.

Обмоторені секції – це платформи, навантажені супутньою породою (баластом), зазвичай використовують на тягових агрегатах, що виконують

вивіз руди з кар'єрів з метою надійної реалізації наявного тягового зусилля при вимушено малих навантаженнях на вісь.

Подвійне позитивне використання такого компоновання – в наступному:

– роль додаткового «баласту» виконує вода, яку використовують для охолодження дизеля тепловоза, суттєвий об'єм якої може бути задіяно як для додаткового використання в разі недостатньої потужності системи охолодження (висока температура навколишнього середовища, неналежні характеристики водо-повітряних радіаторів і т. і.);

– запас води з достатньо високою температурою може бути успішно використаний як акумулятор тепла для підтримання належного теплового стану силової установки тепловоза.

Для маневрових тепловозів така ідея подвійного використання не підходить, але в ролі реального теплового акумулятора, де в якості робочого тіла використовується вода системи охолодження чи інша рідина – варіант позитивний.

Не варто зупинятися лише на проблемах сезонної експлуатації тепловозів і, в тому числі, дизеля, силової передачі чи іншого агрегата. Вразливих місць на тепловозі – достатньо багато. Нажаль, сьогодні майже загублено зв'язок Департаменту локомотивного господарства Укрзалізниці з науковим потенціалом кадрового складу вузів.

### **1.3 Дослідження умов та режимів роботи маневрових тепловозів**

*1.3.1 Вплив температур навколишнього середовища на двигуни транспортних засобів при пуску.*

Пуск сучасного двигуна транспортного засобу при позитивних температурах навколишнього повітря не викликає труднощів. Крутний момент пускового пристрою забезпечує частоту обертання колінчастого вала двигуна, що значно перевищує за значенням необхідну для пуску.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

В результаті створюються умови для нормального протікання процесів сумішоутворення і підготовки робочої суміші. Зазвичай двигун, що знаходиться технічно в справному стані, починає працювати в стійкому режимі при появі перших спалахів в циліндрах і пусковий пристрій відключається.

При низьких температурах навколишнього повітря пуск того ж самого двигуна інколи створює великі труднощі. Ці обставини обумовлюються конструкцією самого двигуна внутрішнього згоряння і особливостями його робочого процесу, а також значними змінами фізичних властивостей палив, мастил і матеріалів, використовуваних в двигуні, під дією низьких температур.

Частота обертання колінчастого вала двигуна при пуску в умовах низьких температур навколишнього повітря значно нестабільніша і менша, ніж при пуску в умовах високих температур навколишнього середовища. Основні причини цього явища відомі: недостатня ємність акумуляторної батареї і висока в'язкість мастила. В більшій мірі це явище спостерігається на дизелях і дизелі тепловозів не є виключенням.

При невеликих швидкостях обертання колінчастого вала дизеля транспортного засобу (ТЗ) різко знижується тиск впорскування паливних форсунок, що разом із збільшенням в'язкості дизельного палива, погіршує його розпорошення та сумішоутворення, порушує нормальні умови займання робочої суміші через втрати тепла на нагрів стінок циліндрів і недостатньою компресією.

Кожен пуск двигуна транспортного засобу при від'ємній температурі мастила без попереднього розігріву мастила чи двигуна в цілому призводить до дуже інтенсивного утворення зносу основних деталей: циліндрів, поршневих кілець, шийок колінчастого вала та вкладенів і т. і.

Можливо вважати, що за амортизаційний термін служби двигуна ТЗ близько 70% зносу його деталей викликано пуском і роботою непрогрітого двигуна, особливо під навантаженням.

В залежності від кількості холодних пусків протягом року, застосувавши підігрів, викиди шкідливих речовин можливо зменшити на 60-80%. Останні дослідження показали, що взимку після запуску холодного двигуна викид 90% всіх шкідливих викидів CO і CH відбувається саме під час перших кілометрів руху. При запуску попередньо прогрітого двигуна ТЗ вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ) зменшується до 5 разів, тому використання підігрівача двигуна в холодну пору року має суттєвий екологічний ефект [12].

У відповідності до основних напрямків полегшення холодного пуску всі пристрої передпускової підготовки поділяються на системи, прилади і пристрої, дія яких спрямована на передпускову підготовку двигуна та на системи, прилади і пристрої, які скорочують час прогріву двигуна вже після його запуску.

Аналіз наукових досліджень показав, що одним із шляхів підвищення ефективності систем енергетичних установок є використання в їх складі теплоакумулюючих засобів, що представляють собою сукупність елементів енергетичного обладнання та теплових акумуляторів (ТА) фазового переходу .

Дослідження в цій області як правило зосереджені на одержанні ефективних теплоакумулюючих матеріалів (ТАМ), вирішенні питань їх корозійної сумісності з наявними конструкційними матеріалами, визначенні критичного числа термічних циклів «зарядка-розряд», розробці схем теплоакумулюючих систем у складі транспортних засобів.

Не зважаючи на чисельні публікації, присвячені питанням накопичення теплової енергії в складі енергетичних установок і транспортних засобів (ТЗ), до теперішнього часу не вирішені питання вибору раціональних схем теплоакумулюючих систем теплової підготовки ДВЗ для транспортного засобу з урахуванням особливостей режимів їх експлуатації.

### *1.3.2 Аналіз систем прогріву ДВЗ транспортних засобів*

Системи прогріву (СП) можуть однозначно застосовуватись, як перспективні індивідуальні системи отримання, накопичення, розподілу і

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

передачі теплової енергії, що призначені для передпускової і післяпускової теплової підготовки двигунів ТЗ при непрацюючому ДВЗ.

Таке відношення до систем прогріву стало можливим завдяки тому, що по-перше, існує досить велика кількість різних апробованих і перспективних технічних рішень у цьому напрямку, по-друге, в останні роки з'явилась багато різноманітних нових типів і конструкцій систем прогріву, а по-третє, системи прогріву або їх окремі складові випускаються невеликими партіями вітчизняними і закордонними підприємствами. Тому представляється доцільним виконати аналіз відомих схем і конструкцій систем прогріву і на основі цього аналізу скоректувати можливість їх використання.

Основні визначення і поняття стосовно систем прогріву наведені в [7]. В напрямку систем прогріву двигунів внутрішнього згорання в технічній літературі найчастіше зустрічається термін «система прогріву тепловозів маневрових (СПТМ)» [11].

Принцип роботи СПТМ заснований на підігріві і підтриманні допустимого рівня передпускової температури охолоджуючої рідини (ОР) і моторної оливи мастила (МО) дизеля тепловоза на основі аналізу інформації про температури ОС і дизеля тепловоза. Для реалізації цього принципу у виробі використовуються пристрої та вимірювальна апаратура, які поділяється на такі функціональні групи [7, 11]: апаратура контролю і управління; апаратура передачі даних; апаратура електропостачання; пристрої підігріву.

Апаратура контролю і управління забезпечує збір інформації про температури ОР і МО дизеля, ОС, відсутність або наявність руху тепловоза, стан апаратури електропостачання та вторинного електроживлення, а також пристрої підігріву, аналізу отриманої інформації з наступним формуванням керуючих команд.

Апаратура передачі даних призначена для формування повідомлень про стан СПТМ і подальшої їх передачі за бездротовими каналами зв'язку стандарту GSM і за протоколом GPRS. Апаратура електропостачання

призначена для забезпечення СПТМ електроенергією і розподілу її між різними споживачами.

Пристрої підігріву призначені для підігріву ОР і МО в дизелі тепловоза.

Інформація про використання аналогічних систем або перспективних схем теплоакumuлюючих систем (ТА) теплової підготовки двигунів транспортних засобів (ТЗ) не було знайдено.

Для подальшого формування перспективних схем теплоакumuлюючих систем теплової підготовки пропонується використовувати термін «системи прогріву» (СП) не тільки для локомотивних двигунів, а і для всіх без виключення ДВЗ колісних транспортних засобів, якщо виникає потреба в передпусковому і післяпусковому їх прогріванні. Це положення і підхід є актуальним для проектування, створення і експлуатації СП на основі теплових акумуляторів (ТА) фазового переходу [5]

Регулювання за допомогою систем прогріву з тепловими акумуляторами [7] теплового стану двигуна транспортного засобу позитивно впливає на паливну економічність та моторесурс. Воно може реалізоване на практиці: зміною витрати потоку рідини в системі охолодження двигуна або потоку повітря через теплорозсіюючі елементи системи охолодження, використанням термостатів чи навіть підсистем з термостатами та можливістю відключення вентилятора (чи вентиляторів), систем регулювання вентилятором, теплових акумуляторів в системі охолодження і мащення двигуна, багатосекційних одно та різнотемпературних ТА в СОД і СМ, теплової енергії системи охолодження і ВГ, утилізації теплової енергії ВГ в ТА, сторонніх джерел енергії, тощо.

Проведений аналіз показує, що цим питанням приділяється велика увага, схеми і конструкції систем удосконалюються, ефективність їх роботи підвищується, що сприяє зниженню витрати палива та шкідливих викидів двигунами ТЗ в умовах експлуатації. Основні системи передпускового прогріву двигунів ТЗ представлені в додатку Б.

Пошуки шляхів і оцінка ефективності експлуатації маневрових тепловозів, режимів роботи і паливної економічності можлива тільки при ретельному вивченні, аналізі їх експлуатації, параметрів режимів навантаження дизель-генераторних установок (ДГУ), системи технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР).

Умови експлуатації та режими роботи маневрових локомотивів істотно відрізняються від режимів роботи магістральних тепловозів. Це пояснюється великою кількістю додаткових специфічних факторів, властивих тільки маневровій роботі.

До таких факторів належать: стан шляху, вид виконуваної роботи, низькі швидкості руху, часта зміна маси поїздів, велике число перемикачів позицій контролера і реверсування локомотива, малі радіуси кривих, безліч стрілочних переводів; обмежена видимість сигналів і ряд інших факторів, що впливають безпосередньо на режими навантаження ДГУ і паливну економічність в процесі їх експлуатації [1].

Узагальнення і аналіз результатів досліджень показують, що режими роботи ДГУ тепловозів в експлуатації досить повно оцінюються наступними основними показниками: потужністю  $Ne$ , коефіцієнтами реалізованої потужності, які враховують роботу дизель-генератора (ДГ) в режимі навантаження  $v_D^{(H)}$  і на холостому ходу  $v_D^{(6p)}$ , числом перемикачів позицій контролера  $K_{KM}$ , числом пусків дизеля  $K_D^{(II)}$ , часом роботи ДГУ в режимі повного навантаження  $T_D^{(H)}$  і на холостому ходу  $T_D^{(XX)}$ , витратою палива в режимі холостого ходу  $V_{xx}$ , числом включень ДГ в режимі навантаження  $K_D^{(H)}$ , частотою обертання колінчастого вала дизеля  $n_D$ , температурою охолоджуючої води  $t_e$  і дизельного мастила  $t_m$  на виході з дизеля.

Наприклад, для оцінки ефективності використання маневрових тепловозів на полігоні залізниць і промислових підприємствах РФ проводилися тривалі експлуатаційні випробування тепловозів ЧМЭЗ, ТЭМ2. Маневрову роботу (зазначалося автором раніше) на станціях виконують, в основному,

тепловози серії ЧМЭЗ, а на промислових підприємствах залізничного транспорту (ППЗТ) – ТЭМ2, ТГМ4, ТГМ6 [2].

Аналіз роботи тепловозів показав, що до 75% локомотивів ВАТ «РЖД» задіяні на виконанні маневрових операцій по формуванню поїздів, інші – забезпечують господарський рух і допоміжні роботи, що не входять в перевізний процес. При експлуатації тепловозів значення параметрів ДГУ навіть на одній позиції контролера мають значні відхилення, тому оцінювати числові значення параметрів необхідно у всьому діапазоні навантажень.

Узагальнені значення і діапазон зміни характерних параметрів режимів роботи маневрових тепловозів в системі залізниць ВАТ «РЖД» і ППЗТ наведені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Параметри режимів роботи тепловозів в експлуатації

Позначення параметру	Значення параметрів для тепловозів				
	ВАТ «РЖД»			ППЗТ	
	ТЭМ2	ЧМЭЗ	ТЭМ18	ТЭМ2	ТЭМ7
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
$v_d^{(H)}$	0,21 – 0,24	0,23 – 0,27	0,20 – 0,26	0,20 – 0,26	0,18 – 0,24
$v_d^{(6p)}$	0,07 – 0,10	0,09 – 0,12	0,09 – 0,11	0,03 – 0,08	0,10 – 0,12
$T_d^{(XX)}, \%$	61,0 – 73,0	53,0 – 69,0	56,0 – 70,0	72,0 – 84,0	64,7 – 76,9
$V_{XX}, \%$	18,4 – 24,3	16,4 – 21,7	17,6 – 23,4	40,0 – 46,0	38,4 – 43,6
$T_d^{(H)}, \%$	0,01 – 0,04	0,02 – 0,04	0,02 – 0,05	0,05 – 0,18	0,14 – 0,20
$T_d^{(H)}, \text{од/год.}$	33 – 56	30 – 58	34 – 60	34 – 48	26 – 42
$K_d^{(II)}, \text{од/год.}$	0,06 – 0,14	0,08 – 0,15	0,06 – 0,09	0,17 – 0,26	0,09 – 0,17
$K_{KM}, \text{од/год.}$	172 – 198	167 – 189	160 – 190	183 – 289	154 – 176

У локомотивів, що працюють в маневровому русі, режим холостого ходу складає від 52 до 67%. При цьому від 15 до 26% часу ДГУ тепловозів працюють в режимі вибігу.

Слід зазначити, що при виконанні маневрових операцій з вантажними поїздами відсутня можливість економії палива за рахунок зупинки дизеля

тепловоза, так як тривалість стоянки локомотива становить від 2 до 23 хвилин, що не дозволяє зупиняти дизель [3].

Тепловози, використовувані на господарських і допоміжних роботах, основний час (більше 96%) експлуатують в режимі холостого ходу і малих навантажень. Час роботи ДГУ в режимі холостого ходу складає від 70 до 82%, при цьому непродуктивна витрата палива досягає 25% від загальних його витрат на допоміжну роботу тепловоза. В режимі номінальної потужності дизеля використовують до 1% сумарного часу експлуатації тепловоза.

Час роботи тепловозів на холостому ходу в умовах ППЖТ змінюється від 65 до 84% від сумарного часу їх експлуатації при цьому непродуктивну витрату палива складає від 26 до 42% від загальної витрати на виконану роботу. При проектуванні локомотивів, удосконаленні системи їх експлуатації та оцінці паливної економічності недостатньо знати тільки один параметр – час роботи локомотива  $T$  в інтервалі потужності, так як на кожній позиції контролера навіть у дизель-генератора одного типу, встановленого на тепловозі, розвивається різна потужність, а для ДГУ різного типу не представляється можливим побудувати узагальнену характеристику [4].

Тому для аналізу режимів навантаження і оцінки паливної економічності ДГУ маневрових тепловозів в умовах реальної експлуатації запропоновано комплекс енергетичних параметрів: вироблена дизель-генератором енергія  $A_e$ , кВт-год і витрата палива  $B_e$ , кг/год. За абсолютним значенням часу  $T$ , виконаної роботи  $A_e$  та витрати палива,  $B_e$  розраховуються параметри спектра режимів навантаження ДГУ тепловозів в відносних одиницях (табл. 1.2).

У режимі навантаження ДГУ тепловозів найбільший час (16%) працюють на 1-4-й позиціях контролера, відповідно потужності від 25 до 230 кВт на тепловозах ТЭМ2 і 20-290 кВт – ЧМЭЗ. Номінальна потужність, при якій регламентуються всі параметри ДГУ, використовується менше 1,5% сумарного часу роботи тепловоза, причому вироблена енергія ДГ в цьому режимі не перевищує 5%. Важливо пам'ятати, що значення питомої ефективної витрати

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

палива на номінальному режимі потужності дизеля не завжди може служити досить об'єктивним показником експлуатаційної економічності тепловозів, дані наведені в табл. 1.10, рис. 1.4

Таблиця 1.10 – Узагальнені значення параметрів спектра режимів навантаження ДГУ маневрових тепловозів в експлуатації, в процентах

Режим навантаження	Значення параметрів навантаження, %		
	$T$	$Ae$	$Be$
$I$	2	3	4
Холостий хід	69,10 / 79,80	12,4 / 21,7	21,7 / 46,0
$(0 - 0,25) N_{e ном}$	26,53 / 16,00	52,6 / 38,1	49,2 / 30,2
$(0,26 - 0,5) N_{e ном}$	4,12 / 3,10	27,2 / 27,8	23,4 / 17,1
$(0,51 - 0,75) N_{e ном}$	0,19 / 0,60	6,7 / 6,5	4,8 / 3,5
$(0,76 - 1,0) N_{e ном}$	0,06 / 0,50	1,1 / 5,9	0,9 / 3,2
В тому числі $N_{e ном}$	0,02 / 0,20	0,4 / 4,6	0,1 / 2,6

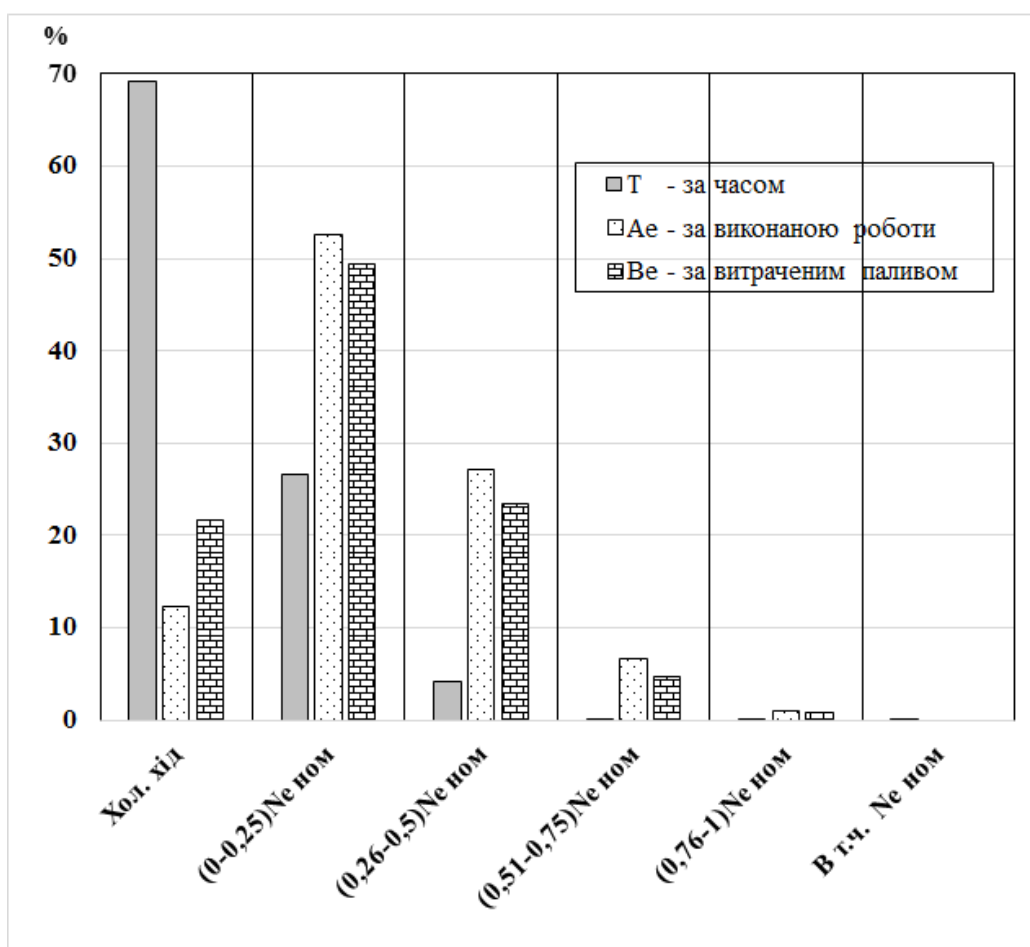


Рисунок 1.4 – Приклад спектра режимів навантаження маневрових тепловозів

У режимі тяги вантажних поїздів переважним режимом роботи ДГУ маневрових тепловозів за часом, виконаної ефективній роботі і витраті палива є режим до  $0,51 \cdot N_{e \text{ ном}}$ , який відповідає 1–6-й позиціям контролера. Таким чином, тепловозів на стадії їх створення і в умовах експлуатації [5].

Одним зі шляхів підвищення ефективності роботи маневрових тепловозів є правильне і якісне налаштування характеристик ДГУ з урахуванням реальних умов їх експлуатації. Як приклад, досвід експлуатації тепловозів показує, що зниження потужності ДГУ на тягових позиціях на 50 кВт підвищує витрата палива тепловозами ТЭМ2, ТЭМ18 на 1,3-1,5%; ЧМЭЗ на 1,1-1,4%. При виконанні вивізної роботи з поїздами підвищеної маси часто використовуються маневрові тепловози в режимі подвійної тяги. Обстеження технологічного процесу і режиму ведення поїзда підвищеної маси показує, що є можливість зупинити дизель тепловоза в літній період і отримати економію до 20-25 кг палива за зміну, а також подовжити ресурс дизеля. Теплові параметри дизелів як в зимовий, так і в літній періоди збігаються з нижнім рівнем температури, рекомендованим інструкцією з експлуатації, тому є можливість підвищення температури води і мастила на 10-12°C, що сприятиме зниженню витрати палива дизелем в процесі експлуатації тепловоза. Так, підвищення температури моторного масла на 10°C призводить до зниження витрати палива на тепловозах ТЭМ2, ТЭМ18 від 0,8 до 1,0%, ЧМЭЗ від 0,9 до 1,1%.

#### **1.4 Бортова установка для прогріву тепловозних дизелів від зовнішнього джерела електроенергії**

*1.4.1 Огляд і пропозиції електричних схем бортової установки електричного прогріву силової установки.*

Щоб підтримувати необхідну температуру теплоносіїв при непрацюючому дизелі в системах тепловозів передбачається бортова установка, яка працює від мережі змінного струму, напругою 380 В [5].

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37



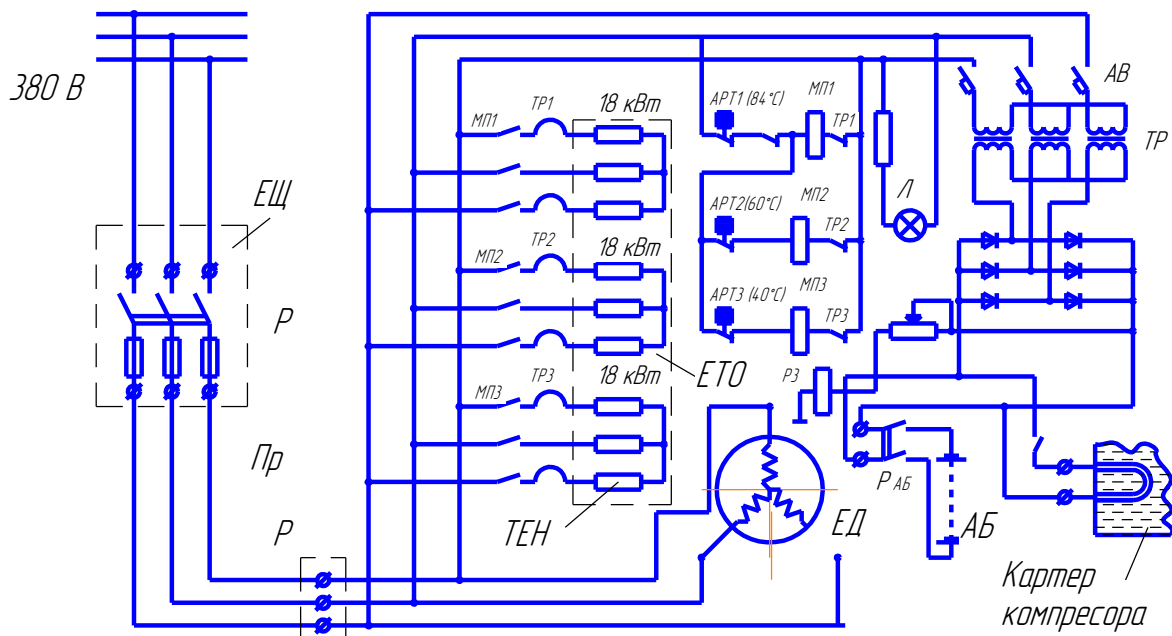


Рисунок 1.6 – Схема підключення електронагрівачів, електродвигуна і апаратів бортової установки

У даній схемі енергоспоживачів, крім електротеплообмінника (ЕТО), електродвигуна (ЕД) і магнітних пускачів МП1, МП2, МП3 передбачено обладнання тепловоза зовнішньої силової розеткою Р і установка в місцях тривалого простою тепловозів електроцифрів ЕЩ, обладнаних комутуючими апаратами із захистом від короткого замикання в силових ланцюгах.

Нагрівальні елементи розподілені на три групи з однаковою потужністю по 18 кВт, кожна група з'єднана за схемою «зірка» через магнітні пускачі МП1 - МП3. Котушки магнітних пускачів МП1 - МП3 підключені до мережі через блокувальні контакти температурних реле АРТ1, АРТ2 і АРТ3, відрегульованих на відключення при температурах рівних 84, 60 і 40°C відповідно.

Така схема підключення електронагрівачів забезпечує варіанти теплопродуктивності електротеплообмінника в залежності від температури зовнішнього повітря.

У схемі захисту та оповіщення передбачена установка сигнальної лампи Л, температурного реле АРТ1 і реле заземлення РЗ. Зокрема, в разі підвищення температури води в теплообміннику більш допустимої норми (до 84°C),



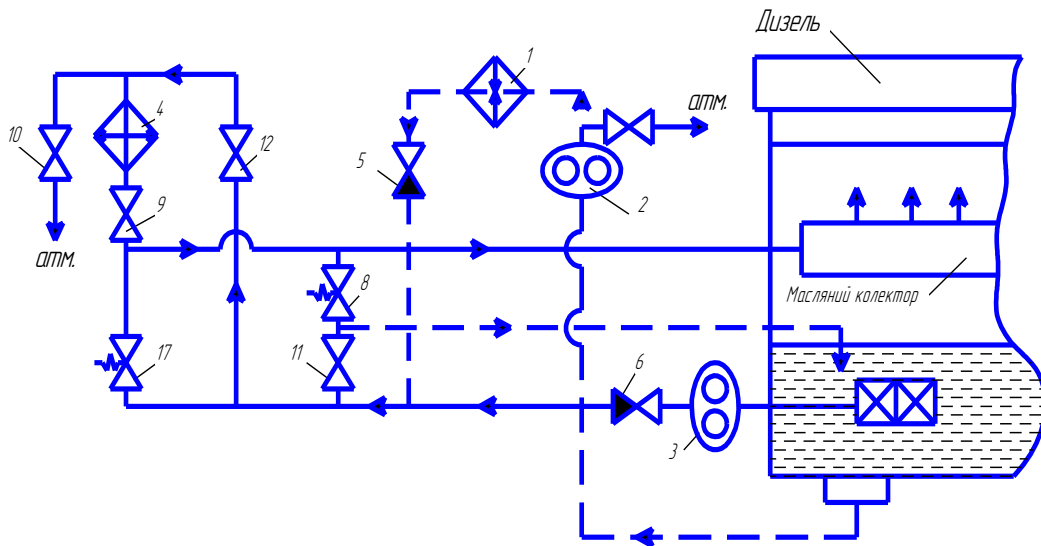


Рисунок 1.8 – Схема масляної системи дизеля в режимі циркуляції та підігріву мастила:

1 – водомасляний теплообмінник; 2 – маслопрокачний насос; 3 – основний насос; 4 – масляні секції; 5, 6 – зворотні клапани; 7, 8 – перепускні клапани; 9 – 12 – вентилі

#### 1.4.2 Розрахунок потужності, необхідної для прогріву тепловозного дизеля.

При використанні бортової установки з підключенням до зовнішнього джерела електроенергії слід передбачити споживання електроенергії: електронагрівачів водяного теплообмінника; електродвигуна відцентрового насоса; електродвигуна паливного насоса; електродвигуна маслопрокачного насоса; підзарядки акумуляторної батареї; підігріву компресорного масла.

Середня годинна витрата палива дизелями ПД1М при роботі їх на режимі холостого ходу в середньому становить 10 кг/год. На підставі довідкових даних теплових балансів дизелів відомо, що відведення тепла з випускними газами становить близько 36% і приблизно 4% за рахунок неповноти згоряння палива від усього виробленого тепла при згорянні палива в циліндрах тепловозного дизеля. Отже, для того, щоб підтримати необхідну температуру систем тепловозного дизеля в середньому витрачається 6 кг палива за кожну годину його роботи [2].

Виходячи з еквівалентного співвідношення, необхідна потужність водяного електротеплообмінника дорівнює, кВт:

$$P_{ETO} = \frac{H_{и} \cdot \Delta B_{ГОД}}{3,6} \eta_{i_{XX}}, \quad (1.1)$$

де 3,6 – перевідний коефіцієнт;

$H_{и}$  – теплота згоряння дизельного палива,  $H_{и} = 42,5$  МДж/кг;

$\Delta B_{ГОД}$  – середня годинна витрата палива, що витрачається для прогріву систем дизеля, кг/год;

$\eta_{i_{XX}}$  – індикаторний коефіцієнт корисної дії в режимі холостого ходу,  $\eta_{i_{XX}} = 0,3-0,4$ .

$$P_{ETO} = \frac{42,5 \cdot 6}{3,6} \cdot 0,35 = 24,7 \text{ кВт},$$

Продуктивність відцентрового насоса, що забезпечує циркуляцію води через електротеплообмінник і через водяну систему дизеля, визначається з рівняння теплового балансу, м<sup>3</sup>/год

$$G_{ПН} = 3,6 \frac{P_{Н}}{c_{в} \Delta t}, \quad (1.2)$$

де  $P_{Н}$  – номінальна потужність електротеплообмінника, кВт;

$c_{в}$  – питома теплоємність води,  $c_{в} = 4,2$  кДж / (кг·К);

$\Delta t$  – перепад температури води в електротеплообміннику між входом і виходом  $\Delta T = 10$  К.

З урахуванням простою тепловозів в зимову пору року при температурі нижче мінус 20°C, приймаємо номінальну потужність електротеплообмінника не менше  $P_{Н} = 54$  кВт.

$$G_{ПН} = 3,6 \frac{54}{4,2 \cdot 10} = 4,62 \text{ м}^3/\text{год},$$

Розрахункова продуктивність водяного відцентрового насоса приймається на 20-30% більшою і становить  $G_{ц.н.} = 6,12$  м<sup>3</sup>/год [12].

Виходячи з досвіду експлуатації бортової установки в локомотивного депо,

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

гідрравлічний опір водяної системи (статичний напір)  $H_n$  знаходиться в межах 400000-500000 Н/м<sup>2</sup>.

Відповідно до рівняння гідродинамічної залежності, потужність електродвигуна дорівнює, кВт:

$$P_E = \frac{H_n \cdot G_n}{1000 \eta_n}, \quad (1.3)$$

де  $H_n$  – гідрравлічний опір водяної системи, Н/м<sup>2</sup>;

$G_n$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/с;

$\eta_n$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса,  $\eta_n = 0,6-0,7$ .

$$P_E = \frac{450000 \cdot 0,0017}{1000 \cdot 0,65} = 1,2 \text{ кВт},$$

Остаточно, для приводу відцентрового насоса вибираємо електродвигун потужністю  $P_e=1,5$  кВт, при частоті обертання  $1450 \text{ хв}^{-1}$ . Для підігріву палива і масла передбачається циркуляція води через теплообмінники з застосуванням палива і маслопрокачних насосів, що приводяться в обертання електродвигунами типу П21М, потужністю 0,5 кВт. З досвіду експлуатації акумуляторних батарей відомо, що струм зарядки акумуляторної батареї становить 20 А.

Згідно із законом Ома, витрата електроенергії для заряджання батареї дорівнює, кВт

$$P_{AB} = \frac{I \cdot U}{1000}, \quad (1.4)$$

$$P_{AB} = \frac{20 \cdot 75}{1000} = 1,5 \text{ кВт},$$

Витрата електроенергії для підігріву компресорного масла, при середньому струмі  $I = 12$  А, аналогічно визначається за виразом (1.4):

$$P_{AB} = \frac{12 \cdot 75}{1000} = 0,9 \text{ кВт},$$

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

Сумарна споживана електроенергія для прогріву систем дизеля, з підзарядкою акумуляторної батареї, дорівнює, кВт:

$$\sum P_{CEP.T} = P_{ET} + P_E + P_D + P_{AB} + P_{MK} , \quad (1.5)$$

$$\sum P_{CEP.T} = 24,7 + 1,5 + 1,0 + 1,5 + 0,9 = 29,6 \text{ кВт},$$

Споживана електроенергія, яка визначається за виразом (1.5) тільки для середньорічних параметрів навколишнього середовища. При температурі зовнішнього повітря нижче мінус 20°C потужність електротеплообмінника повинна бути не менше 54 кВт. Тоді номінальна потужність, споживана бортовий установкою за виразом (1.5), становить, кВт:

$$\sum P_{CEP.T} = 54,0 + 1,5 + 1,0 + 1,5 + 0,9 = 58,9 \text{ кВт},$$

Бортова установка з використанням електроенергії від зовнішнього джерела дозволяє: в місцях тривалого простою тепловозів в автоматичному режимі переходити на прогрів водяної системи дизеля, дизельного палива в баку, картерного масла і тепловоза в цілому, а при необхідності забезпечувати підзарядку акумуляторної батареї і підігрів масла в картері компресора КТ6; при аварійних ситуаціях забезпечувати автоматичне відключення установки від енергомережі, а також передбачати захист при пробіі ізоляції в силовому ланцюзі.

#### *1.4.3 Аналіз систем прогріву двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів з використанням теплових акумуляторів*

Використання енергії відпрацьованих газів є одним із пріоритетних напрямків розвитку двигунобудування. Воно стає можливим при використанні утилізаційних теплообмінників у випускному трубопроводі.

Для здійснення поставленої мети було розглянуто задачу утилізації теплової енергії відпрацьованих газів енергетичної установки з двигуном внутрішнього згорання з метою отримати гарячий теплоносій в системі утилізації відпрацьованих газів з тепловим акумулятором фазового переходу [12]. Розроблений акумулятор дозволяє здійснювати відбір теплової енергії від

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

відпрацьованих газів ДВЗ в більш широкому температурному діапазоні і тим самим накопичувати і утримувати більшу кількість теплоти, а також забезпечує вибірковість діапазону робочих температур.

В результаті реалізації завдання, пропонується провести дослідження і сформуванню систему теплової підготовки для ТЗ, в якій за рахунок використання фазоперехідного теплового акумулятора в системі охолодження транспортного двигуна, підтримувати температуру системи охолодження при зупиненому транспортному двигуні, в межах  $+40...55^{\circ}\text{C}$  при низьких температурах навколишнього середовища в реальних умовах експлуатації, а при зменшенні температури теплоносія в тепловому акумуляторі – підтримання її у встановлених межах за рахунок теплоти відпрацьованих газів транспортного двигуна шляхом здійснення його роботи при періодичному чередуванні зупинки та роботи (циклічний режим).

Виконаний аналіз систем передпускового прогріву ТЗ, а також систем підтримання температури двигуна ТЗ на основі ТА фазового переходу і результати, проведених досліджень дозволяють прийняти за основу класифікацію ТА фазового переходу, які можливо використовувати в експлуатації двигунів ТЗ. Це потрібно для того, щоб у процесі подальших досліджень і проектування ТА і систем, на їх основі, були визначені можливі перспективи розвитку їх схем та конструктивних рішень та використання ТАМ.

Наведена на рис. 1.9 класифікація ТА фазового переходу, яка була розроблена за основними ознаками на основі відомих та перспективних конструкцій ТА, за основу якої була прийнята, попередньо представлена в літературних джерелах [6-8] класифікації теплових акумуляторів.

Удосконалена класифікація має широку перспективу всебічного розвитку, бо її можливо змінювати та доповнювати в розвиток теорії теплового акумулявання і систем на основі ТА з різними ТАМ.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45



Встановлено, що двигуни ТЗ піддаються значним змінам кліматичних і температурних умов і тому повинні бути здатними працювати в різних умовах навколишнього середовища: в зимових і літніх. Кліматичні зміни, що відбуваються в умовах навколишнього середовища, серед іншого, викликають зміни в частині загальної витрати палива, кількості відпрацьованих газів і температур двигуна ТЗ. У реальних умовах експлуатації ТЗ існують значні теплові втрати в навколишнє середовище, використання яких, з метою підвищення ефективності роботи двигуна ТЗ, можливо за допомогою застосування засобів накопичення або утилізації теплової енергії, що забезпечують, в тому числі, і передпусковий прогрів ДВЗ транспортного засобу.

#### *1.4.4 Процеси теплової підготовки двигуна транспортного засобу*

Сучасний двигун внутрішнього згорання транспортного засобу з системою комбінованого прогріву може розглядатися як складна технічна система [10]. Відомо, що система охолодження тісно співпрацює з іншими системами ДВЗ і здійснює визначальний вплив на протікання робочого процесу двигуна.

Найбільш суттєво пов'язана робота системи охолодження з циліндропоршневою групою двигуна і системою мащення. Робота системи охолодження впливає на працездатність, ресурс, потужність двигуна, екологічні та економічні показники його роботи в усьому діапазоні робочих температур [5, 6, 10], а особливо на процеси пуску і прогріву ДВЗ після пуску.

При дослідженні теплових процесів в ДВЗ, оснащеного системою прогріву (СП), доцільно застосовувати наступні принципи підходу: комплексне дослідження системи, як єдиного цілого, з урахуванням параметрів взаємодії спільної роботи підсистем, декомпозиція і ієрархічність описів складових елементів системи, багатоетапність та ітераційність дослідження, типізація та уніфікація основних рішень та засобів в дослідженнях [10, 11].

На кожному етапі формування СП виконується вибір раціонального рішення для кожної підсистеми. Визначальними параметрами при цьому є ефективність роботи системи, вимоги і потреби споживачів та екологічні й економічні показники. Під ефективністю роботи системи розуміється вплив прийнятого рішення на енергетичні, економічні та екологічні показники роботи двигуна внутрішнього згорання ТЗ в цілому, а також конструктивна складність, економічність та надійність того чи іншого рішення.

До основних характеристик ДВЗ транспортного засобу в дослідженні відносимо енергетичні, економічні і екологічні характеристики (параметри ДВЗ при роботі на холостому ході в залежності від повороту колінчастого валу, а саме температур в випускному колекторі та циліндрі, витрати відпрацьованих газів, швидкості тепловиділення; характеристики прогріву ДВЗ; тепловий баланс; зміна швидкості циркуляції охолоджуючої рідини; характеристики перехідних процесів), конструктивна складність СП ДВЗ, яка визначає її надійність і вартість двигуна. Ці характеристики визначаються для різних варіантів роботи СП.

Виділення основних варіантів виконання СП для порівняння здійснюється на основі аналізу основних схемних варіантів її реалізації для порівняння способів прискореного прогрівання ДВЗ: прогрівання ДВЗ без СП, прогрівання ДВЗ з СП при відключеній і включеній підсистемі прискореного прогріву. Подальша зміна варіантів систем здійснюється на більш низькому рівні: за способом циркуляції ОР, способом підключення СП до ДВЗ, потужністю ТА, регулювання глибини утилізації ВГ у відповідності до вибору схемних і конструвальних рішень. Ще більш низький, агрегатний, рівень розглядається при виборі типів раціональних параметрів електроклапанів, теплоакумулюючого матеріалу ТА, розгляді способів його конструктивного виконання. Має місце взаємний зв'язок виділених рівнів.

Засобами реалізації системного підходу стали теоретичні методи дослідження.

#### 1.4.5 Основні відомості про тепловий акумулятор фазового переходу.

Тепловим акумулятором (ТА) називається пристрій (або сукупність пристроїв), що забезпечують зворотні процеси накопичення, збереження і вироблення теплової енергії у відповідності з вимогами споживача.

Процеси акумуляції теплоти відбуваються шляхом зміни фізичних параметрів теплоакumuлюючого матеріалу і за рахунок використання енергії зв'язку атомів і молекул речовин. Використання теплоти плавлення для акумуляції теплоти забезпечує високу густину енергії, що запасується при використанні невеликих перепадів температур і досить стабільну температуру на виході з ТА.

Однак більшість теплоакumuлюючих матеріалів (ТАМ) в розплавленому стані є корозійно активними речовинами, в основному мають низький коефіцієнт теплопровідності, змінюють обсяг при плавленні і відносно дорогі.

Основні відомості про види теплових акумуляторів фазового переходу та теплоакumuлюючого матеріалу приведені в додатку В.

Був обраний тепловий акумулятор із ТАМ фазового переходу, корпус ТА виконано із нержавіючої сталі й він має одну основну секцію з теплообмінником, що виготовлено із латуні.

У корпусі ТА є два патрубки, поєднані з компенсаторами теплового розширення ТАМ і входом термопар. З метою зниження втрат теплової енергії в процесі випробувань зовнішня поверхня ТА була теплоізолювана подвійним шаром спіненого поліетилену, покритим із двох боків шарами алюмінієвої фольги (рис. 1.10).

Основні характеристики теплового акумулятора фазового переходу наведені в таблиці 5.1. В.

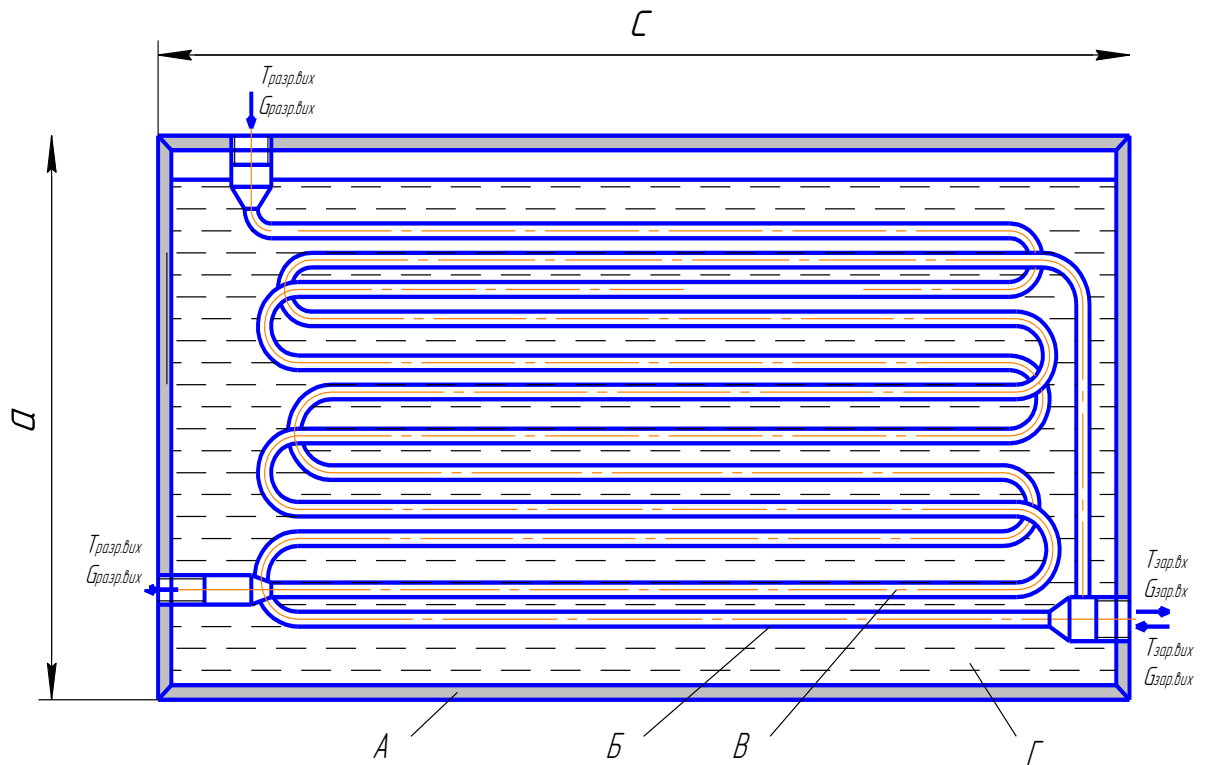


Рисунок 1.10 – Принципова схема теплового акумулятора:

А – зовнішня стінка теплового акумулятора; Б – теплообмінник зарядки ТА;  
 В – теплообмінник розрядки ТА; Г – фазоперехідний теплоакумуючий матеріал

#### 1.4.6 Схема системи прогріву ДВЗ транспортного засобу за допомогою теплового акумулятора та принцип її роботи

При експлуатації двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) транспортних засобів в умовах повсякденної експлуатації (низьких температур, постійні зупинки та пуски, зміна навантаження) виникає проблема їх стійкого і безаварійного пуску, а також підготовки до прийняття навантаження при виконанні штатних режимів, тобто прогріванні їх до відповідної температури.

Тому виробники сучасних ДВЗ транспортних засобів рекомендують комплектувати їх агрегатами, що забезпечують теплову підготовку двигунів.

Для виконання означеної задачі запропонована система утилізації відпрацьованих газів з тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу для прискореного прогріву ДВЗ.

Схема системи прогріву ДВЗ транспортного засобу з застосуванням ТА приведена на рис. 1.11.

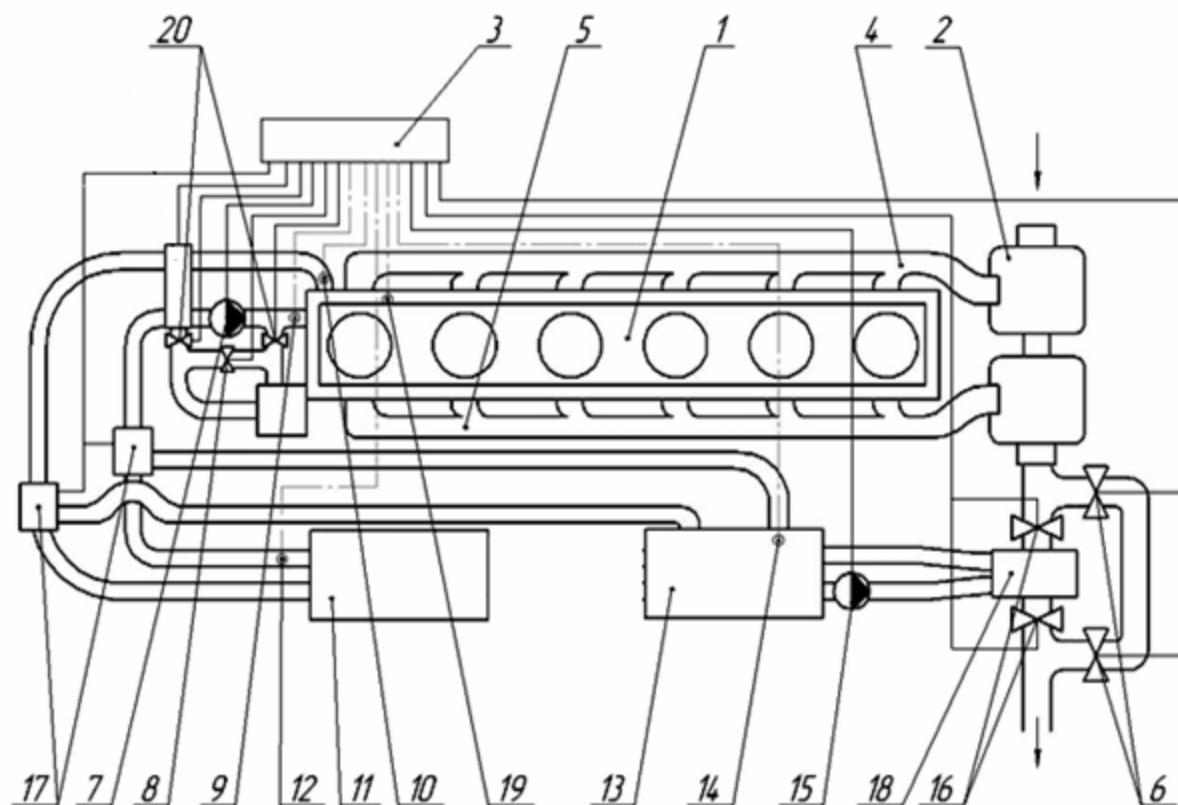


Рисунок 1.11 – Схема встановлення теплового акумулятора фазового переходу та пристрою для утилізації теплової енергії ВГ на ДВЗ транспортного засобу:

1 – ДВЗ, 2 – турбокомпресор, 3 – блок керування системи регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ, 4 – впускний колектор, 5 – випускний колектор, 6 – клапани байпасу, 7 – електричний насос системи охолодження, 8 – електромагнітний клапан байпасу штатного насосу системи охолодження, 9 – датчик температури охолоджуючої рідини на вході в ДВЗ, 10 – датчик температури охолоджуючої рідини на виході з ДВЗ, 11 – радіатор системи охолодження, 12 – датчик температури охолоджуючої рідини на виході з радіатора, 13 – тепловий акумулятор фазового переходу, 14 – датчик температури охолоджуючої рідини на виході з теплового акумулятора, 15 – насос теплового акумулятора, 16 – клапани теплообмінника теплового акумулятора, 17 – двопозиційні клапани, 18 – теплообмінник теплового акумулятора фазового переходу, 19 – датчик температури охолоджуючої рідини в ДВЗ, 20 – електромагнітний клапан включення штатного насосу системи охолодження.

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

0032.150204.000.04MP.ПЗ

Лист

51

Система прогріву ДВЗ з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу входить, як складова частина, до системи охолодження ДВЗ та виконує частину її функцій, а саме забезпечує швидкий прогрів ДВЗ до робочої температури та підтримує її у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна.

Принцип роботи в цілому полягає в накопиченні теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ), яка утворюється при згоранні палива та не використовується на корисну роботу, а викидається в атмосферу з ВГ Основні характеристики та принцип роботи схеми приведені в додатку Г

*1.4.7 Результати дослідження впливу конструктивних параметрів системи прогріву на паливну економічність двигуна транспортного засобу в умовах експлуатації (приклад MAN D2876).*

Результати математичного моделювання для транспортного двигуна проводилось за умов встановлення СКП на дизельний двигун MAN D2876 транспортного засобу [12], конструктивні і технологічні параметри якого закладені в математичну модель.

В процесах дослідження, за допомогою математичної моделі, розглядалися процеси передпускового прогріву ДВЗ MAN D2876 при різних фіксованих температурах оточуючого середовища в залежності від експлуатації, а саме:  $+20^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Результатами проведеного дослідження є також те, що при збільшенні швидкості циркуляції потоку ОР в СОД ДВЗ з 0,08 м/с (що відповідає швидкості циркуляції ОР при прогріві ДВЗ на холостих обертах зі штатним насосом) до 0,22 м/с (що відповідає характеристикам циркуляційного насосу СП), ми отримуємо зменшення часу прогріву  $\tau$  в середньому на 14%, витрати палива  $G_t$  на 25%, а в деяких випадках зменшення витрати палива за прогрів ДВЗ з СП може сягати 64-65%, приведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.11 – Результати досліджень на математичній моделі роботи ДВЗ MAN D 2876 транспортного засобу з системою прогріву

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

Параметр	Величина при температурі навколишнього середовища, °С		
	+20	0	-20
Час прогріву ДВЗ в інтервалі від температури навколишнього середовища до температури «гарячого пуску двигуна»			
До +40°С зі штатним насосом СОД (штатна система) (ШС), с	1342	1830	2740
Попередній прогрів від ТА до +40°С, с економія часу у порівнянні зі ШС, с (%)	833 509 (38)	1344 486 (27)	1816 923 (34)
Попередній прогрів від ТА до +50°С, с економія часу у порівнянні зі ШС, с (%)	862 479 (36)	1433 396 (21)	1956 783 (29)
Попередній прогрів від ТА до +60°С, с економія часу у порівнянні зі ШС, с (%)	890 451 (34)	1541 288 (16)	2124 615 (22)
Витрати палива в інтервалі при прогріві ДВЗ від температури навколишнього середовища до температури «гарячого пуску»			
До +40°С зі штатним насосом СОД (штатна система) (ШС), кг	0,785	0,983	1,313
Попередній прогрів від ТА до +40°С, кг економія палива у порівнянні зі ШС, кг (%)	0,292 0,393 (50)	0,378 0,605 (62)	0,621 0,692 (52)
Попередній прогрів від ТА до +50°С, кг економія палива у порівнянні зі ШС, кг (%)	0,374 0,410 (52)	0,323 0,660 (67)	0,549 0,764 (59)
Попередній прогрів від ТА до +60°С, кг економія палива у порівнянні зі ШС, кг (%)	0,356 0,428 (55)	0,249 0,734 (75)	0,455 0,858 (65)

У той час як прогрів ДВЗ класичним методом буде тривати 1342 с, 1830 с та 2740 с відповідно. З цих залежностей часу теплової підготовки видно, що ДВЗ з СП прогривається до температури  $t = 40$  (50/60)°С відповідно за 1344 (1433/1541) с, що менше на 486 с (27%) (396 с. (21%) / 288 с. (16%)) у порівнянні з прогрівом ДВЗ зі штатною СОД до температури 50°С, яка становить 183°С.

При цьому двигун витрачає менше палива відповідно на 0,378 (0,323 / 0,249) кг, що менше на 0,605 кг (62%) (0,660 кг (67%) / 0,734 кг (75%)) у порівнянні з прогрівом ДВЗ зі штатною системою охолодження (СОД) до температури 50°C, яка становить 0,983кг.

Отримані результати можливо пояснити тим, що в процесі прогріву досліджуваній ДВЗ транспортного засобу з СП спочатку прогривається від накопиченої в ТА теплової енергії, коли ДВЗ взагалі не працює, а після пуску двигуна зразу ж прогривається від розробленої підсистеми прискореного прогріву СП, а не від штатного водяного насоса СОД ДВЗ.

При чому передпусковий прогрів здійснюється для досягнення різних температур ОР в СОД двигуна, тобто до  $t = 40$  (50/60) °C, а вже після досягнення цієї температури запускається двигун і починає працювати підсистема прискорено прогріву СП. Це відбувається на відміну від параметрів ДВЗ зі штатною СОД, коли двигун починає працювати на холостому ході. від моменту пуску до досягнення температури «гарячого пуску» (50°C), з усіма недоліками прогріву в режимі холостого ходу. роботи двигуна в залежності також від умов експлуатації, в процесі роботи якого все одне витрачається паливо.

На рисунку. 1.12 показана порівняльна діаграма значень часу прогріву двигуна MAN D 2876 з різними комплектаціями СОД (без СП і з СП), а саме: ШС – штатна система (без СП (при швидкості циркуляції ОР 0,08 м/с); 40, 50, 60°C– температура, до якої проводився попередній прогрів перед пуском (з СП при швидкості циркуляції ОР 0,22 м/с).

Зменшення часу на прогрів при використанні СП для забезпечення теплової підготовки ДВЗ транспортного засобу в залежності від умов експлуатації має однозначний наявний характер.



однозначно суттєво зменшується сумарна витрата палива двигуна у порівнянні зі штатною СОД.

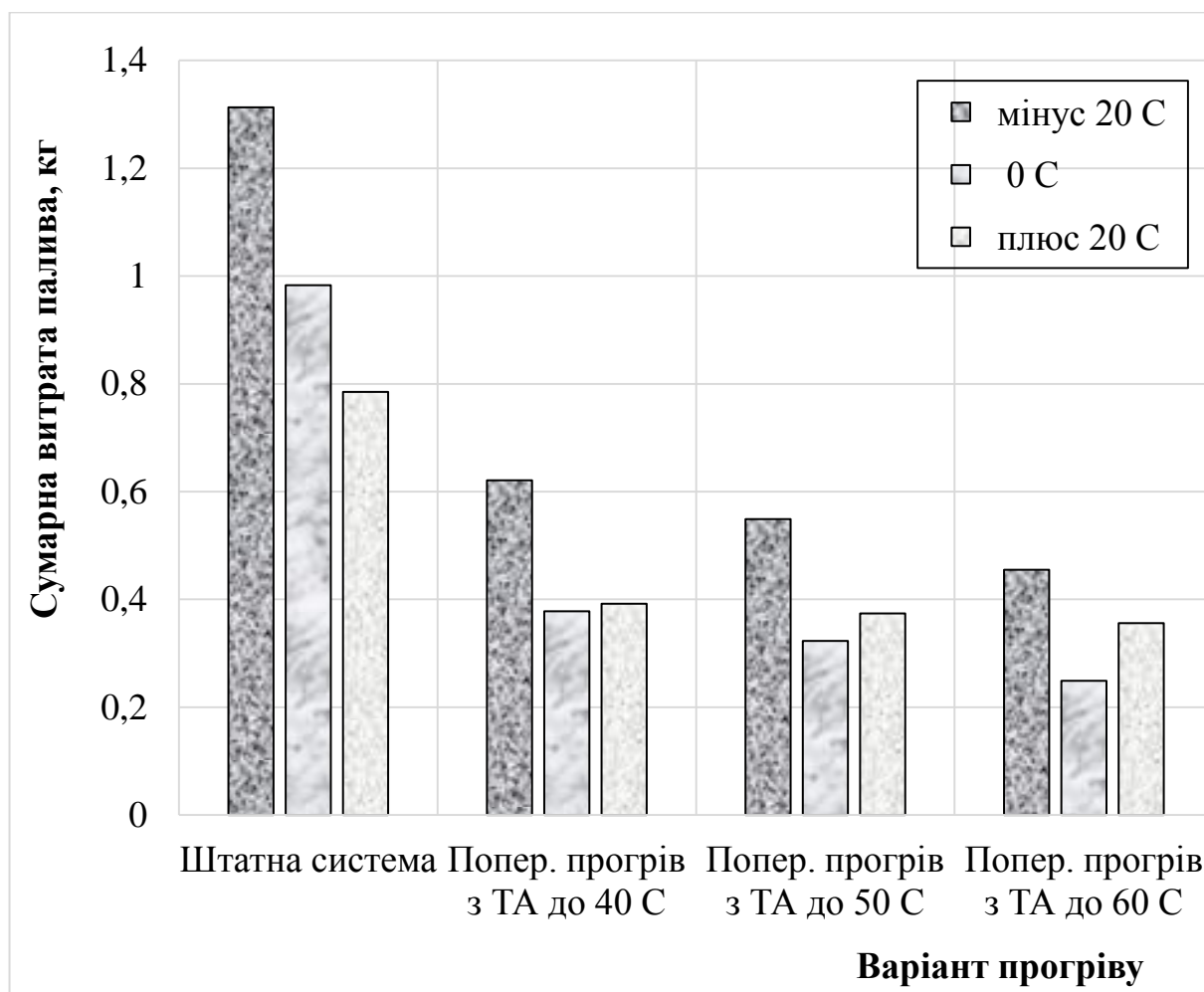


Рисунок 1.13 – Порівняльна діаграма сумарної витрати палива при прогріві двигуна MAN D 2876 з різними комплектаціями СОД (без СП і з СП) за однаковий проміжок часу:

де ШС – штатна система (без СП (при швидкості циркуляції ОР 0,08 м/с);  
 40, 50, 60 °С – температура, до якої проводився попередній прогрів перед пуском (з СП (при швидкості циркуляції ОР 0,22 м/с)

Таким чином, порівнюючи час прогріву  $\tau$ , годинні витрати  $G_t$  дизельного палива, під час виконання передпускового прогріву до температури «гарячого прогріву» видно, що система прогріву дозволяє суттєво зменшити експлуатаційний час прогріву двигуна транспортного засобу (до 16-27%), а для паливної економічності (до 62-75%) дослідного ДВЗ транспортного засобу

при вирішенні проблем теплової підготовки на основі ТА фазового переходу й прискорення прогріву ДВЗ за допомогою системи прогріву, з умовою впливу експлуатаційної невідповідності під час використання транспортного засобу.

Таким чином, в умовах експлуатації двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів, особливо при змінних низьких (екстремальних) температурах оточуючого середовища, значне місце займає прогрів двигуна. Одним із способів покращення термінових показників, теплового стану, зниження шкідливих викидів, підвищення паливної економічності при прогріві двигуна є застосування системи прогріву (СП).

Використання СП дозволяє проводити попередній прогрів двигуна без витрати палива та викидів шкідливих речовин та проводити прискорений прогрів двигуна після його пуску.

У роботі визначено оптимальний склад та регулювання СП на прикладі дизельного двигуна транспортного засобу MAN D 2876, який встановлюється на сідельний тягач MAN TGA з урахуванням умов експлуатації ТЗ при виконанні передпускового і післяпускового прогріву двигуна.

Алгоритм роботи системи комбінованого прогріву двигуна ТЗ в залежності від умов експлуатації.

Дослідження на моделі системи прогріву двигуна MAN D 2876 показало, що зі збільшенням швидкості циркуляції ОР ДВЗ ТЗ до 0,22 м/с можливо скоротити час його прогріву до 6 хвилин, при тому, що при штатній системі охолодження і прогріві в режимі холостого ходу – буде становити близько 11 хвилин. Дослідження на удосконаленій математичній моделі ефективності застосування розробленої СП в різних умовах експлуатації показали, що СП дозволяє суттєво покращити показники часу прогріву дослідного двигуна MAN D 2876 (до 16-27%), показники паливної економічності (до 62-75%).

## **2 АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

### **2.1 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.д., тобто режим роботи обумовлюють особливості витрачання палива при виконанні маневрової роботи.

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 той же час маневрово-вивізним тепловозам 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 експлуатаційну 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:

- 1). Маневрова робота тепловоза на станції (спеціально – маневрова робота):
  - Гіркова робота;
  - Виконання сортування вагонів на станціях, не обладнаних гірками;
  - Технологічна операція (подача - прибирання складів або вагонів до місця навантаження - вивантаження, до місця простою, на мийку, перестановка і т. і.);
- 2). Одиночне проходження маневрового тепловоза (вихід з депо, захід у депо та ін.);
- 3). Передавальна робота маневрового тепловоза;
- 4). Вивізна робота маневрового тепловоза;
- 5). Робота на коліях промислових підприємств, складських комплексів і ін.

Кожна маневрова операція  $O_j$  є випадковою величиною, що складається з набору напіврейсів – пересувань без зміни напрямку:

$$O_j = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2.1)$$

де  $O_j$  – маневрова операція  $j$ -го виду (наприклад, сукупність напіврейсів при виконанні гіркової роботи);

$P_i$  – напіврейс  $i$ -го виду (наприклад, осаджування);

$n$  – кількість напіврейсів.

Маневрові тепловози, як правило, працюють в зоні низьких швидкостей, суттєвого недовикористання потужності силових агрегатів, на проміжних позиціях контролера машиніста, значну частину часу працюють в перехідних режимах і не тільки дизеля, але і силової передачі не залежно від її типу.

Такі режими негативно впливають на ефективність як самого дизеля, так і бортового силового обладнання. Нажаль, одиниць вимірювання виконаної транспортної маневрової роботи сьогодні немає.

## 2.2 Заходи щодо скорочення витрат дизельного палива тепловозами при маневровій роботі

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.

До технічних заходів належать: установка засобів обліку палива [6] і систем контролю (АПК «Борт», РПРТ, АСК ВИС, СКІТ, MWAS і ін.).

Неоднозначно можливо оцінити впровадження електронних систем управління дизель-генераторами, модернізація елементів паливної системи (форсунок), застосування систем прогріву дизеля («Гольфстрім» і ін.), апаратно-програмних комплексів обліку параметрів роботи тепловозів, уніфікованих мікропроцесорних систем управління електричною передачею тепловоза використання бортової апаратури управління тепловозом і ін.

Бортова апаратура управління тепловозом може експлуатуватися в складі систем маневрової і гіркової автоматичної локомотивної сигналізації (МАЛС і ГАЛС), встановлюватися на тепловози типів ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ, ТЭМ2, ТЭМ7 і може бути адаптована для інших типів тепловозів, застосовуваних у маневрових і / або сортувальних роботах. апаратура може використовуватися як у складі комплексної системи управління маневровими роботами або процесами підтягування, насування та розпуску складів на станціях або сортувальних гірках, обладнаних різними засобами централізації, так і в якості автономної системи управління маневровими тепловозами [8].

Так як значну частку часу займає робота дизеля на холостому ходу, велике значення має скорочення витрати палива на цьому режимі.

Цьому сприяє максимально можливе зниження частоти обертання колінчастого вала на нульовій позиції контролера машиніста. У найбільш поширених тепловозів ТЭМ2, ЧМЭЗ, ТГМ4 цей параметр становить відповідно десь 300 і 350 об/хв. Подальшому зниженню мінімальної частоти обертання перешкоджають наступні фактори:

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

- Зниження тиску масла в системі дизеля, що може привести до масляного голодування пар тертя і спрацьовування апаратів захисту.
- Зниження напруги допоміжного генератора і, як наслідок, припинення заряду акумуляторної батареї.
- Зниження продуктивності гальмівного компресора.

У локомотивному депо Брянськ-2 в порядку експерименту на тепловозі ТЭМ2-014 знизили частоту обертання колінчастого вала на нульовій позиції до 240 об/хв . При цьому, як вказують автори пропозиції, тиск масла вдалося підтримувати на рівні 1,75 кг/см<sup>2</sup>, а напругу допоміжного генератора 75 В.

В результаті загальна витрата палива скоротився на 3-4%. Однак дані показники досягаються тільки при хорошому технічному стані тепловоза, зокрема, дизеля і електрообладнання.

Так, у вказаному ступені тиску масла (1,75 кг/см<sup>2</sup>) незначно перевищує значення уставки реле тиску масла РДМ (1,5 кг/см<sup>2</sup>). при неминучою «просідання оборотів» у разі різкого скидання позицій і при гальмуванні тепловоза, при якому відбувається зсув обсягу масла в картері, значення тиску масла може знижуватися до рівня уставки РДМ, і дизель буде часто зупинятися.

Крім того, за існуючої системи управління дизелем зниження частоти обертання колінчастого вала на нульовій позиції призведе до пропорційного зниження цього показника на проміжних позиціях, що негативно може позначитися на роботі силової установки, вимушеного завищення необхідної в конкретному випадку позиції.

При створенні на базі тепловоза ЧМЭЗ удосконалених модифікацій ЧМЭЗТ і ЧМЭЗЕ також була знижена частота обертання колінчастого вала на нульовій позиції. Однак, як показав досвід, для досягнення стійкої роботи дизелів при зниженій частоті обертання колінчастого вала, доцільно впровадження електронних регуляторів частоти обертання і електронної системи упорскування палива.

До організаційних заходів належать різні методики і рекомендації, призначені для машиністів. Відповідно до рекомендацій машиністам пропонується скорочувати час роботи маневрового тепловоза на холостому ходу. Однак не весь час перебування тепловоза в режимі холостого ходу може бути розглянуто з точки зору можливості зупинки дизельного двигуна з метою економії палива.

Кількість запланованих зупинок з припиненням роботи дизеля залежить від ряду факторів, у тому числі від режиму роботи, плану формування, часу року і т. і. Витрата дизельного палива за один пуск величина незначна, тому фахівці не рекомендують глушити дизель під час частих коротких зупинок. Однак при простої тепловоза з непрацюючим дизелем протягом однієї години економія дизельного палива складає істотну величину.

На маневрах більшість машиністів домагаються економії палива за рахунок раціонального управління тепловозом. Як відомо, кожне перемикання контролера машиніста викликає перехідний процес в енергетичних ланцюгах тепловоза, який (в залежності від позиції контролера) тимчасово знижує ККД дизеля на 1,5-2,0%. Тому маневровим машиністам необхідно вибирати такі режими розгону і руху, при яких можливо рідше доводилося б змінювати позиції контролера. Необхідно попереджати можливі боксування, так як вони призводять до різкої зміни навантаження на дизель і, як наслідок, до збільшення витрати палива. Досвідчені машиністи працюють на одній з проміжних позицій контролера, допускаючи мінімальну кількість перемикань. Однак встановити найбільш доцільне число перемикань при виконанні різних пересувань практично досить важко, так як маневрова робота вкрай різноманітна. Дії різних машиністів, що виконують однакову роботу в одних і тих же умовах, завжди будуть відрізнятися один одного. Ці відмінності тим більше зростають при відсутності достатнього рівня вмінь і досвіду.

На підтвердження, співробітники тепловозної лабораторії Уральського відділення ЦНДІ проаналізували роботу машиністів на сортувальній гірці.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

В першому випадку машиніст за час однієї операції справив 30 перемикачів контролера, тобто 2,3 перемикачів за хвилину. При цьому основні параметри роботи тепловоза носили плавно змінний характер.

У другому випадку за той же період інший машиніст перемкнув контролер 298 раз, або 22,4 за хвилину, що майже в десять разів більше. При такому управлінні тепловоз працював постійно на перехідних режимах з великими коливаннями струму і напруги головного генератора. Аналогічна картина повторювалася на кожній операції протягом всієї зміни.

Відмінність характеру управління тепловозом призвело до того, що другий машиніст перевитратив за зміну 65 кг палива.

У різний час пропонували оснащувати маневрові тепловози системою підтримання постійної швидкості руху незалежно від маси складу та профілю колії. Така система покликана сприяти найбільш повному використанню пропускної здатності сортувальної гірки, з тим, щоб насування складу на гірку проводився з найбільшою допустимою швидкістю.

Крім того, застосування цієї системи має зменшити перепади навантажень на обладнання тепловоза і зменшити кількість і тривалість перехідних процесів, що має привести до зниження витрати палива.

Подібної системою (мікро процесорна система управління і діагностики СУ7А.00.000.000) оснащена частина тепловозів ТЭМ2 і ТЭМ7.

Принцип дії полягає в тому, що додатковий електронний блок дає сигнал на плавну зміну струму збудження тягового генератора, прагнучи підтримати задану швидкість. Як відомо у гідромеханічних регуляторів дизелів Д49 система завдання частоти обертання колінчастого вала включає в себе чотири електромагніти МР1-МР4. Перші три впливають через трикутну пластину на золотник. Включення кожного з магнітів забезпечує збільшення частоти обертання на певну величину.

Відповідно, можливі комбінації включення магнітів МР1-МР3 дають 8 варіантів. Магніт МР4 переміщує втулку золотника, тобто діє в зворотному

					0032.150204.000.04МР.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

напрямку, зменшуючи частоту обертання на величину, приблизно вдвічі менше, ніж ступінь при дії магніту МР1. На маневрових тепловозах ТЭМ7 і ТЭМ7 при ручному управлінні машиністом для більш інтенсивного розгону використовуються тільки 8 ступенів, тому в штатною схемою тепловоза магніт МР4 не використовується. Для більш ефективного автоматичного регулювання швидкості ТЭМ2 і ТЭМ7, в режимі автоматичного управління задіяний так само магніт МР4. Таким чином, при включенні режиму автоматичної підтримки швидкості тепловоза (АПС) регулювання зміни частоти обертання колінчастого вала виходить як при 15-ступеневою схемою на магістральних тепловозах.

На жаль, дана, а так само інші аналогічні системи, практично не застосовуються. Що стосується швидкості набору позицій в ручному режимі, то цей фактор сильно залежить від безлічі обставин. Так, при виконанні маневрів поштовхами необхідно повідомити складу максимально можливе прискорення. Для цього необхідний найбільш інтенсивний набір позицій. З іншого боку, коли треба виконувати маневри з невеликою кількістю вагонів при мінімальній швидкості, потрібно набирати позиції повільно, щоб слідом за набором позицій відразу не було потрібно гальмувати, так як це призведе до непродуктивної витраті палива.

Досвідчені машиністи в процесі роботи самі вибирають оптимальні варіанти управління тепловозом в конкретних умовах і при наборі позицій роблять витримку 2-3 секунди на кожній позиції.

Складність виконання маневрової роботи обумовлює необхідність створення автоматичних систем управління окремим обладнанням і апаратурою тепловоза, а так само створення гібридних людино-машинних автоматизованих систем управління тепловозом. Гібридні людино машинні автоматизовані системи управління тепловозом повинні забезпечувати прийняття раціональних рішень на основі комбінованого використання

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

сучасних математичних методів і знань, отриманих від фахівців з метою підвищення паливної економічності маневрових тепловозів.

У людино-машинних системах передбачається наступний поділ функцій людини і машини: машина зберігає і переробляє великі масиви інформації, здійснює інформаційне забезпечення прийняття рішення машиністом; машиніст приймає управлінські рішення.

Аналіз показує, що на маневрах можна значно зменшити витрату палива. Важливо тільки вибрати відповідну для заданих умов експлуатації серію тепловоза з експлуатаційного парку має різні технічні характеристики і режим управління тепловозом.

Постановка задач дослідження вимагає достатньо багато вихідних даних.

Для реалізації задачі необхідно вирішити як найменше такі завдання:

- розробити методику імітації експлуатаційних режимів роботи маневрових і промислових тепловозів у вигляді безлічі обмеженого числа характерних одиничних режимів;
- розробити математичну модель розрахунку показників виконання маневрової операції, яка відображатиме реальні процеси в силовій установці і обладнанні тепловоза, що дозволяє встановити об'єктивний витрата палива і витрати часу на виконання маневрових операцій з урахуванням перехідних процесів;
- врахувати втрати в тяговій передачі при виконанні тягових розрахунків;
- розробити методику розрахунку витрат енергії на привід агрегатів автономного тепловоза;
- розробити методику імітації процесів розформування складу з сортувальної гірки при змінній масі складу.
- розробити програмний комплекс розрахунку показників виконання маневрової операції з моделюванням реальних процесів в основних агрегатах і обладнанні тепловоза;

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

- виконати дослідження з використанням програмного комплексу і порівняти їх з результатами даних випробувань;
- розробити методику вибору серії тепловоза з експлуатаційного парку має різні технічні характеристики.

Нажаль, сьогодні провести більшість дослідницьких експериментів в обсязі магістерської дипломної роботи в силу деяких причин не представляється можливим, а узгоджені для прямого користування відповідні методики – відсутні.

Для прикладу, нижче приведена методика розрахунку витрат енергії на забезпечення витрат енергії обладнання тепловоза.

### **2.3 Методика розрахунку витрат енергії на забезпечення обладнання тепловоза**

Одним з найбільш поширених способів розрахунку витрат енергії автономного тепловоза на забезпечення роботи власної силової установки і складу є оцінка середньої потужності агрегатів тепловоза в процесі експлуатації.

В цілому для оцінки продуктивності тепловоза і його паливної економічності такий підхід цілком задовільний, так як помилка в обчисленнях повної витрати палива тепловозом в цьому випадку не перевищує 5%.

При виборі конструкції тепловоза, його допоміжного обладнання та способів харчування агрегатів власних потреб прийнята оцінка енерговитрат може бути незадовільною. Наприклад, при наявності на тепловозі накопичувача енергії агрегати тепловоза можуть мати живлення як безпосередньо від дизеля, так і через накопичувач і перетворювач. У першому випадку збільшується час роботи дизеля на холостому ходу, в другому з'являються додаткові витрати енергії, пов'язані з ККД накопичувача і перетворювачів. Оцінку переваг того чи іншого способу може дати тяговий розрахунок конкретних маневрових операцій. При цьому точність оцінки

енергетичних витрат на агрегати власних потреб повинна бути істотно поліпшено.

Витрати енергії на забезпечення роботи тепловоза і ведення складу, виключаючи тягу, можна розбити на групи:

- витрати енергії, пов'язані з підготовкою до роботи (прокачування, пуск, зарядка батареї і накопичувача);
- витрати енергії на освітлення, управління, зарядку акумуляторів, опалення, фільтрацію, кондиціонування тощо (витрати, незалежні від ведення поїзда);
- витрати енергії на охолодження (підігрів) теплоносіїв, силових перетворювачів, генератора і тягових двигунів;
- витрати енергії на забезпечення потреб складу (наповнення гальмової магістралі, опалення пасажирських вагонів).

*Витрати енергії при пуску*, пов'язані з підготовкою до роботи можна оцінити по аналізу характеристик тепловозів. У першому наближенні будемо вважати, що ці витрати не залежать від зовнішніх умов і частоти пусків. Тобто для здійснення одного пуску необхідні певні операції, пов'язані з витратами енергії:

- попередня прокачування масла і палива;
- розкрутка колінчастого вала до частоти обертання пуску;
- подача пускового палива і вихід на режим холостого ходу;
- заповнення витрат енергії за допомогою допоміжного або тягового генератора при роботі силової установки з частотою обертання холостого ходу.

Уявімо процеси пуску у вигляді трьох періодів:

$t_{p1}$  – передпускова підготовка, тривалість і витрати енергії, які залежать від інтервалу часу пройшов після останньої зупинки;

$t_{p2}$  – інтервал часу, за який проводиться збільшення частоти обертання до пускових оборотів і вихід на режим холостого ходу;

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

$t_{p3}$  – інтервал часу, від виходу на режим холостого ходу до моменту коли витрачена в інтервалах  $t_{p1}$  і  $t_{p2}$  енергія поповнена при роботі без тягового навантаження. Зручно прийняти, що пускова частота обертання близька до частоти обертання холостого ходу і система управління негайно після досягнення частоти обертання холостого ходу з найбільшим швидкодією поповнює енергію, витрачену на пускові операції за рахунок відповідного збільшення подачі палива. Загальну тривалість пуску вважатимемо як суму  $t_{p1}$ ,  $t_{p2}$  і  $t_{p3}$ , вважаючи, що після закінчення третього періоду тепловоз готовий до маневрової роботи. Для кожного тепловоза можуть бути регламентовані час пуску і витрати палива ( $\epsilon_{mp}$ ) на його здійснення. Як приклад розрахуємо витрати енергії при запуску дизель-генератора тепловоза ЧМЭЗ.

*Перший період тривалістю  $t_{p1}$ .*

Витрати енергії пов'язані з попередньою прокачуванням палива і масла:

$$E_1 = (P_T \eta_T^{-1} + P_M \eta_M^{-1}) \cdot t_{p1}, \quad (2.1)$$

де  $P_T$  – потужність паливопрокачного агрегату, Вт;

$P_M$  – потужність маслопрокачного агрегату, Вт;

$\eta_T, \eta_M$  – ККД приводу, відповідно.

Для тепловоза ЧМЭЗ можна прийняти:

$$t_{p1} = 60 \text{ с}; P_T = 500 \text{ Вт}; P_M = 3500 \text{ Вт}; \eta_T = 0,85; \eta_M = 0,85.$$

Тоді енергія, що витрачається в передпусковий період, буде:

$$E_1 = (500 / 0,85 + 3500 / 0,85) \cdot 60 = 282353 \text{ Дж.}$$

*Другий період тривалістю  $t_{p2}$ .*

Витрати енергії пов'язані з підвищенням кінетичної енергії обертання дизеля і приєднаних агрегатів та з витратами енергії тертя в дизелі і агрегатах:

$$E_2 = E_{кин} + E_{ТАР}, \quad (2.2)$$

або

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$E_2 = 0,5J_{\Sigma}\omega_{XX}^2 + \int_{\varphi=0}^{\varphi=\varphi_{\Sigma}} M_{TP}d\varphi,$$

де  $J_{\Sigma}$  – сумарний момент інерції обертових деталей двигуна і приєднаних агрегатів, кг м<sup>2</sup>;

$\omega_{XX}$  – частота обертання колінчастого вала на холостому ході, рад/с;

$M_{TP}$  – момент тертя в дизелі і агрегатах, Нм;

$\varphi$  – кут повороту колінчастого вала, рад.

Для дизель-генератора тепловоза ЧМЭЗ можна прийняти:

$$J_{\Sigma} = 750 \text{ кг м}^2, \quad \omega_{XX} = 36,6 \text{ рад / с.}$$

Момент тертя при пуску можна представити у вигляді:

$$M_{TP} = A + K(\omega_{XX} - \omega_i)^2, \quad (2.3)$$

де  $A$  і  $K$  – постійні коефіцієнти;

$\omega_i$  – поточна частота обертання колінчастого вала, рад/с.

Будемо вважати, що розгін колінчастого вала здійснюється з заданим постійним прискоренням ( $d\omega / dt$ ) рівним 5 рад/с<sup>2</sup>.

З огляду на те, що

$$\varphi = \omega \cdot t \quad \text{і} \quad t_{p2} = \omega_{XX} / (d\omega / dt) = 7,32 \text{ с}, \quad (2.4)$$

отримаємо значення  $E_2$ .

$$\text{При } A = 778 \text{ Нм і } K = 3,12 \text{ Н м с}^2/\text{рад},: \quad E_2 = 699863 \text{ Дж}$$

*Третій період  $t_{p3}$ .*

Будемо вважати, що поповнення витраченої на перших двох етапах енергії проводиться при роботі дизеля на частоті обертання холостого ходу від тягового генератора.

Прийmemo тривалість цього періоду 15 с, ККД тягового генератора тепловоза  $\eta_r = 0,95$ , ККД акумулятора накопичувача  $\eta_A = 0,85$ .

Величина, поповнюваної енергії:

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_{\Sigma} = (E_1 + E_2) \eta_{Г}^{-1} \eta_{А}^{-1} + M_{TPXX} \cdot \omega_{XX} t_{P3} \cdot \quad (2.5)$$

Для тепловоза ЧМЭЗ отримаємо  $E_{\Sigma} = 1643488$  Дж.

При  $t_{P3} = 15$  с індикаторна потужність дизеля буде

$$Pi = E_{\Sigma} / t_{P3} \cdot \quad (2.6)$$

$$Pi = 1643 / 15 = 109,6 \text{ кВт.}$$

При індикаторному ККД двигуна  $\eta_i = 0,38$  поповнення витраченої енергії для одного пуску відповідає витраті палива:

$$B_{T \text{ ПУСК}} = P_i t_{P3} / H_{и} / \eta_i \quad (2.7)$$

$$B_{T \text{ ПУСК}} = 109,6 \cdot 15 / 42500 / 0,38 = 0,101 \text{ кг.}$$

де  $H_{и}$  – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг.

*Витрати енергії на постійно працююче обладнання.*

Витрати енергії на освітлення, живлення системи управління, зарядку акумуляторної батареї, опалення та кондиціонування кабіни і інші потреби, безпосередньо не пов'язані з тяговою операцією можуть розглядатися постійними для нормальних зовнішніх умов  $T_0$ ,  $P_0$  і визначаються за характеристиками тепловоза.

При зміні зовнішніх умов величина витрат буде збільшуватися в залежності від зміни зовнішньої температури як в бік зростання, так і в бік зменшення внаслідок зміни витрат на опалення, кондиціонування, зарядку батареї і т. і.

Конкретні величини витрат енергії визначаються для кожної серії тепловоза із застосуванням відомих залежностей витрат енергії від температури зовнішнього повітря.

*Витрати енергії на охолодження теплоносіїв і електричних машин.*

На різних серіях тепловозів витрати енергії на охолодження залежать від величин тепловиділення (в залежності від потужності) і конструкції приводу вентиляторів охолоджуючих пристроїв. найбільш поширеним конструктивним виконанням є нерегульований привід вентиляторів.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Найчастіше така конструкція застосовується при механічному приводі вентиляторів охолодження електричних машин. застосовують асинхронний нерегульований привід, наприклад на магістральних тепловозах 2ТЕ116.

У цих випадках витрати енергії можуть визначатися як добуток потужності на час роботи:

$$E_{OX} = \tau \cdot P_B \cdot \eta_G^{-1} \cdot \eta_{ДВ}^{-1} \cdot \xi(P_1) / P_o \cdot T_o / \xi(T_1) \cdot n_o^3 / n_{он}^3, \text{ Дж} \quad (2.8)$$

де  $\tau$  – час роботи в секундах;

$P_B$  – потужність вентилятора, Вт;

$P_o, \xi(P_1)$  – нормальне і дійсне тиск навколишнього середовища, Па;

$T_o, \xi(T_1)$  – нормальна і дійсна температури навколишнього середовища, К;

$\eta_G, \eta_{Д}$  – ККД тягового генератора і двигуна приводу вентилятора;

$n_o, n_{он}$  – дійсна і номінальна частота обертання колінчатого вала дизеля, об/с.

У приводі вентиляторів охолодження теплоносіїв часто застосовують сезонні перемикання режимів, тоді у формулі (2.7) з'являється коефіцієнт редукції.

У сучасних конструкціях тепловозів застосовують регульований привід вентиляторів, як в системі охолодження тягових електричних машин, так і в приводі вентиляторів охолодження теплоносіїв. Можуть застосовуватися системи з відключенням приводу при досягненні заданої температури і системи плавного регулювання частоти обертання або витрати повітря. У цих випадках облік енергії витрат на охолодження при виробництві тягових розрахунків викликає певні труднощі. Пропонується при застосуванні автоматичного управління охолодженням проводити розрахунок мінімальних витрат енергії на охолодження, визначаючи кількість енергії, виділену в об'єкті охолодження при виробництві тягової операції, з урахуванням ККД приводу і умов довкілля.

*Витрати енергії на забезпечення потреб складу.*

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

Витрати енергії на забезпечення потреб складу складаються з витрат на забезпечення роботи пневматичних гальм і енергопостачання пасажирських вагонів. При водінні спеціальних складів можуть бути додаткові витрати енергії на забезпечення повітрям пристроїв, що забезпечують розвантаження.

У даній роботі розглядаються тільки питання, пов'язані з витратами енергії на забезпечення роботи системи пневматичного гальма. при оцінці витрат енергії на пневматична гальмування зазвичай приймають, що час роботи компресора з електричним приводом відповідає 25% від часу роботи силової установки [14]. Так як потужність компресора і ККД його приводу відомі з характеристик тепловоза, то витрати на забезпечення роботи пневматичного гальма будуть:

$$E_K = 0,25P_K / \eta_K^{-1} \cdot \tau \quad (2.9)$$

де  $P_K$  – потужність компресора, Вт;

$\eta_K$  – ККД приводу, включаючи ККД електродвигуна і допоміжного генератора або накопичувача енергії в залежності від схеми живлення;

$\tau$  – час роботи установки, с.

Викладений вище підхід визначення витрат енергії на привод допоміжних агрегатів тепловоза дозволяє при виробництві тягових розрахунків порівняти компоновальні схеми тепловозів, що відрізняються по комплектуванню і схемою підключення агрегатів, з точки зору їх впливу на витрата палива і ефективність його використання.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАМІНИ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ НА СУЧАСНІ ШЛЯХОМ ЇХ РЕМОТОРИЗАЦІЇ ДИЗЕЛЯМИ CUMMINS QST30

#### 3.1 Ремоторизація маневрових тепловозів як спосіб поновлення ТРС

Ціль ремоторизації маневрових тепловозів:

- збільшення маневреності тепловоза;
- підвищення ефективності, надійності і безпеки руху вантажних перевезень;
- зниження експлуатаційних витрат;
- зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище.

В якості типового прикладу ремоторизації маневрового тепловоза взято тепловоз ТГМ-4 з двигуном 211Д-3М, оскільки література пропонує на цей тепловоз найбільший довголітній досвід робіт ТРЗ України.

##### *3.1.1 Основні технічні характеристики и обґрунтування вибору двигунів для ремоторизації тепловоза ТГМ4*

Найбільш важливі характеристики штатного двигуна тепловоза ТГМ4 і найбільш перспективних двигунів кандидатів для ремоторизації представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Найбільш важливі характеристики штатного двигуна

Параметр	Величина по типу двигуна		
	СAТ С27	QST30-L1	211Д-3М
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Ефективна потужність, кВт	783	634	629
Частота обертання колінчастого вала, об/хв	2100	1800	1200
Питома ефективна витрата палива, кг/(кВт-год)	0,207	0,206	0,210
Моторесурс до капітального ремонту, год	60000	60000	60000

Критерії оцінювання як більш універсальні показники двигунів кандидатів для майбутньої ремоторизації тепловоза ТГМ4 представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Критерії оцінювання

Параметр	Величина по типу двигуна		
	CAT C27	QST30-L1	211Д-3М
Маса	5	5	5
Ефективна потужність	4	5	5
Частота обертання колінчастого вала	4	5	3
Питома ефективна витрата палива	5	5	3
Моторесурс до капітального ремонту	5	5	3
Тип системи управління двигуном	5	5	2
Вимоги до якості палива	4	4	5
Наявність сервісу в Україні	5	5	5
ВСЬОГО	37	39	31

Двигун QST30-L1 розроблений на базі двигуна Komatsu SA12V140 нова паливна апаратура, турбокомпресори, система управління, фільтри, діапазон потужності від 559 до 1103 кВт, завод-виробник Cummins в м. Сеймур (штат Індіана, США). На рис.3.1 представлені двигуни QST30-L1 та CAT C27.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Двигуни: а) QST30-L1; б) CAT C27

В таблиці 3.3 подається порівняльна характеристика експлуатаційних витрат двигунів кандидатів для ремоторизації тепловоза ТГМ4.

Таблиця 3.3 – Порівняльна характеристика

Параметр	Величина по типу двигуна	
	CAT C27	QST30-L1
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Ефективна потужність дизеля, кВт	746	625
Вартість нового дизеля, тис \$	122140	123975
Вартість установочного комплексу, тис \$	10500	14678
Витрати на ТО і ремонти, тис \$	344709	275366
Витрати на дизельне паливо, тис \$	711965	680905
<b>ВСЬОГО ВИТРАТ</b>	<b>1189314</b>	<b>1094924</b>
Життєвий цикл, год.	108000	108000
Витрати на 1 год., тис \$	11,01	10,14

В таблиці 3.4 подаються основні характеристики дизеля QST30-L1

Таблиця 3.4 – Основні характеристики дизеля QST30-L1

Тип дизеля	4-х тактний
Робочий об'єм, л	30,5
Кількість циліндрів	15
Діаметр і хід поршня, мм	140 x 165
Конфігурація	V-подібний з кутом розвалу циліндрів 50 градусів
Позначення за ГОСТ 4393-82	12ЧН14/16,5
Тип наддуву	Турбокомпресори, охолоджувачі наддувного повітря
Номінальна потужність, кВт (к.с.)	634 (850)
Частота обертання колінчастого вала (номінальна), об/хв.	1800
Частота обертання колінчастого вала (холостий хід), об/хв.	650

Продовження табл. 3.4

Питома витрата палива на номінальній потужності, г/(кВт*год)	206
Витрата палива на холостому ходу, л/год	~3
Напрямок обертання	правий
Система охолодження	закрита, одноконтурна
Охолоджуюча рідина	антифриз
Система змазки	Закрита, під тиском, з «мокрим» картером і вбудованим водомасляним теплообмінником
Об'єм масла в системі змазки, л	148
Паливна система	Bosch Electronic, з підкачуючими насосами і витратним баком, два рядних ПНВТ з електронним управлінням цикловою подачею і кутом випередження впрыску, форсунки закритого типу
Напруга електрообладнання, В	24
Вага дизеля («суха»), кг	~3600

В таблиці 3.5 подаються основні характеристики дизеля Caterpillar C27

Таблиця 3.5 – Характерні параметри двигуна Caterpillar C27

Конфігурація	V-12, 4-тактний дизельний двигун
Діаметр циліндрів, мм	137,2
Хід поршнів, мм	152,4
Забір повітря	з турбонаддувом і проміжним охолоджувачем наддувного повітря
Робочий об'єм двигуна, л	27,03
Ступінь стиску	16,5
Система згоряння	з прямим впрыском палива
Обертання (зі сторони маховика)	Проти годинникової стрілки

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

0032.150204.000.04MP.ПЗ

Лист

76

В результаті опрацювання отриманої технічної інформації є можливість зробити висновки:

- Модернізація тепловоза шляхом заміни силового агрегату дозволяє істотно поліпшити його експлуатаційні характеристики, підвищити потужність, знизити експлуатаційний витрата палива і моторного масла і різко знизити рівень викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.
- Після модернізації тепловоз отримує більшу маневреність за рахунок поліпшення тягових характеристик, збільшуються терміни міжремонтного пробігу.
- Двигуни компаній Cummins QST30-L1 і Caterpillar C27 мають поліпшені питомі і абсолютні показники в порівнянні зі штатним двигуном тепловоза ТГМ4 - 211Д-3 (6ЧН 21/21).
- Найважливішими з них є більш низька питома витрата палива, більш висока питома і агрегатна потужність, більш низька питома металоємність і зменшена довжина, більш досконала система управління і поліпшені показники токсичності відпрацьованих газів (ОГ), шумності і плавності роботи.

Всі ці переваги забезпечують дизелям QST30-L1 і C27 не тільки більш високу конкурентоспроможність, а й дають можливість розміщення в тепловозі додаткового допоміжного обладнання, поліпшення умов роботи обслуговуючого персоналу, зниження експлуатаційних витрат.

#### *Порівняння показників штатного дизеля і двигунів-варіантів*

Дизелі QST30-L1 і C27 мають більш високі експлуатаційні показники, ніж дизель 211Д-3: більш високе значення номінальної потужності; менша питома витрата палива; більш низьку токсичність відпрацьованих газів; більший ресурс до капітального ремонту.

В результаті ремоторизації тепловоза ТГМ4 буде отримано: збільшення терміну служби тепловоза; зниження витрати палива і масла на 15-20%;

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		77

зменшення витрат на обслуговування і ремонт; зниження рівня шуму і вібрацій; істотне зниження рівня шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Таблиця 3.6 – Експлуатаційних характеристик дизелів QST30-L1 і 211Д-3

Параметри	Величина по типу дизеля		
	211Д-3	QST30-L1	C27
Потужність, кВт	554	634	783
Питома ефективна витрата палива, кг/(кВт-год)	0,222	0,205	0,206
Ефективний ККД	0,38	0,412	0,42
Крутний момент, Нм	3781	3365	3547
Емісія твердих частин, г/(кВт-год)	0,135	0,066	0,101
Емісія диму за шкалою Бош	0,61	0,35	0,55

*Модернізації тепловоза ТГМ4 с установкою дизеля CUMMINS (США)*

Як видно з графіка на рисунку 3.2, ремоторизація тепловоза ТГМ4 дизелем CUMMINS дозволила зменшити експлуатаційні витрати на дизельне паливо на 11%, на мастило – більше ніж вдвічі. При цьому витрати на поточні технічні огляди і поточні ремонти тепловоза зменшилися більше ніж вдвічі без втрат тягових характеристик

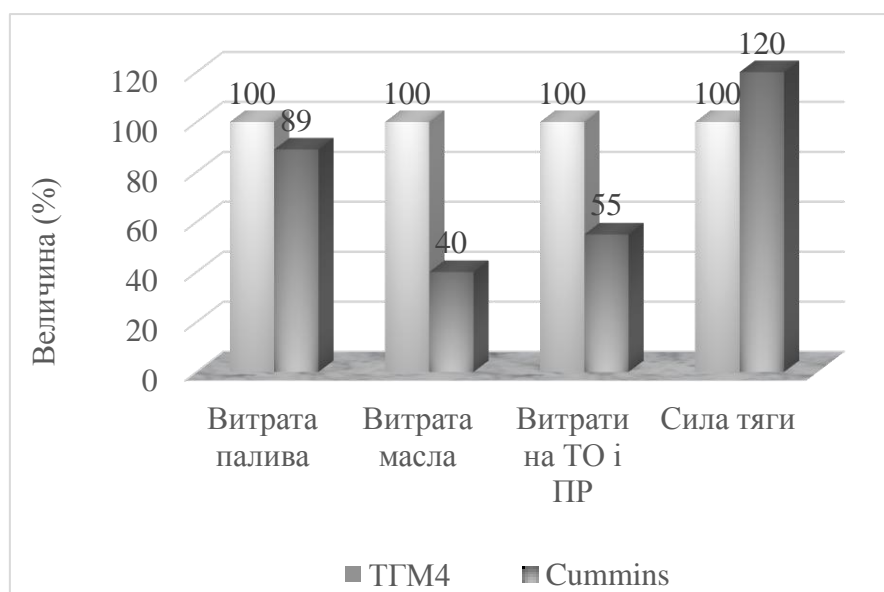


Рисунок 3.2 – Порівняння техніко-економічних параметрів штатного тепловоза ТГМ4 і після його ремоторизації

### 3.2 Основи методики порівняльного імітаційного моделювання визначення витрат палива експлуатаційної роботи маневрових тепловозів

В основі математичної моделі визначення експлуатаційної витрати палива дизелем тепловоза покладено використання стендових показників енергетичної досконалості силової установки тепловоза і статистичні показники використання тепловоза за прямим призначенням.

Оскільки порівнювальні маневрові тепловози дуже схожі не тільки за призначенням, то порівняння витрат дизельного палива (за зміну чи за добу) є можливість визначати з виразу

$$B = \sum_{i=1}^n N_{ei} \cdot g_{ei} \cdot \tau_{ni} + b_x \cdot \tau_x + \sum_{j=1}^k B_j \cdot N_j, \quad (3.1)$$

де  $B$  – розрахункова витрата палива тепловозом за зміну (добу), кг;

$N_{ei}$  – потужність дизеля на  $i$ -ій позиції, кВт;

$g_{ei}$  – питома стендова витрата палива дизелем на  $i$ -ій позиції при даній потужності  $N_e$ , кг/(кВт·год.);

$\Delta\tau_{ni}$  – тривалість роботи дизеля на  $i$ -ій позиції при потужності  $N_e$ , год.;

$b_x$  – питома стендова витрата палива дизелем на холостому ходу, кг/год.;

$\tau_x$  – загальний час роботи тепловоза на холостому ходу, год.;

$B_j$  – витрата палива при переході на  $j$ -ий режим роботи, кг;

$N_j$  – кількість переходів на  $j$ -ий режим роботи.

Для тепловозів з електричною силовою передачею визначити такий стендовий показник як потужність для подальшого його використання – не проблема. Для тепловозів з гідравлічною силовою передачею – задача є дещо складнішою, але вирішується.

Якщо маневровий тепловоз стабільно налаштований для виконання транспортної роботи, то вираз (3.1) є можливість спростити



В таблиці 3.7 приведено порівняння витрат дизельного палива тепловозами ТГМ4 і Камминз.

Таблиця 3.7 – Порівняння витрат дизельного палива тепловозами

Режим Роботи ПКМ	$b_{год}$ кг/год		Бюджет часу, год		В, кг		Різниця витрати $\Delta B$ , кг
	ТГМ4	Камминз	Час від всього бюджету	Час год.	ТГМ4	Камминз	
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8
Хол. хід	10	3	0,50	11,50	115,0	34,5	80,5
1	30,5	28,8	0,16	3,68	112,2	106,0	6,3
2	56,0	54,6	0,15	3,45	193,2	188,4	4,8
3	78,0	77,6	0,07	1,61	125,6	124,9	0,6
4	98,0	99,0	0,05	1,15	112,7	113,9	-1,1
5	115,5	118,8	0,03	0,69	79,7	82,0	-2,3
6	132,0	138,6	0,02	0,46	60,7	63,8	-3,0
7	149,1	158,6	0,01	0,23	34,3	36,5	-2,2
8	168,0	180,4	0,01	0,23	38,6	41,5	-2,9
Всього за добу:					872,1	791,3	80,7

## Висновки до розділу

Підтверджений розділ присвячений доцільності впровадження технологій ремоторизації маневрових тепловозів. Технології успішно реалізуються зусиллями ТРЗ вже декілька років. Ремоторизацію в Україні успішно пройшли тепловози деяких промислових підприємств Запоріжжя, Кривого Рогу, Дніпра.

- Запропонований спрощений варіант методики порівняльного розрахунку підтвердив достовірність заявленої інформації стосовно зниження експлуатаційних витрати дизельного палива (рис. 3.2).
- Сама методика потребує удосконалення і її програмної реалізації для Замовника.
- Крім питань, пов'язаних з витратою дизельного палива, методика мала б включати в себе і питання моторних змазок.
- Більш широке поле для розвитку і удосконалення подібних методик додали б проблемні питання технічних оглядів та поточних ремонтів ремоторизованих тепловозів.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		82

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Варшамов А.В. Выбор перспективных схем теплоаккумулирующих систем предпускового прогрева двигателей внутреннего сгорания / А.В. Варшамов, В.В. Голеншин, М.Ю.Харитонов // Наукові праці. Техногенна безпека. Радіобіологія – Випуск 268 – Том 280. // Миколаївський університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, 2016 - С. 21-27.
2. Харитонов Ю.Н. Судовые теплоаккумулирующие комплексы // (Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні; VII міжнародна науково-технічна конференція 2012.) [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/14962.pdf> - 24.12.2015
3. Голеншин В. В. Экспериментальные исследования температурного состояния оборудования и корпусных конструкций в машинном отделении / В. В. Голеншин, В. И. Шалухин, А. В. Варшамов – Вісник Інженерної академії України. – К. : КНАУ–2011. – № 2. – С. 159–162.
4. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы транспортных средств / В.В. Шульгин. // СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. - 268 с.
5. Волков В.П. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров - Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015. - 314 с.
6. В.Д. Александров Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів – монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук і др. - Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014. - 230 с.
7. Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – №27. Донецьк, ДонІЗТ 2011. - с. 117 – 125.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		83

8. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.
9. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В.С. Найман. // – АСТ.: Астрель, 2007. – 213.
10. Звонов В.А. Экологическая безопасность автомобиля с учетом полного жизненного цикла/ В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев // Автомобильная промышленность. – 2000. - №11. – С. 7-12.
11. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей/ Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Издательство Машиностроение, 1983, 375 с.
12. Грицук І.В. Особливості розробки циклу теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора / І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.В. Володарець, З.І. Краснокутська, Д.С. Погорлецький, С.І. Бородин // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 25 – 27
13. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев // Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2005. - 550 с.
14. Грицук, І. В. Формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т . - Харьков : ХНАДУ, 2015. – Вып. 70. – С. 23–32.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А Перелік умовних позначень

- ТЗ – транспортний засіб;  
ВГ - відпрацьовані гази;  
МО – моторна олива;  
ОР – охолоджуюча рідина;  
СП - система прогріву;  
СМ – система мащення;  
СОД – система охолодження двигуна;  
СППД – підсистема прискореного прогріву двигуна;  
СУТТА – підсистема утилізації теплової енергії ВГ тепловим акумулятором фазового переходу;  
СТП – система теплової підготовки;  
ТА – тепловий акумулятор;  
ТАФП – тепловий акумулятор фазового переходу;  
ТАМ – теплоакумлюючий матеріал (фазоперехідний);  
ЦПГ – циліндро-поршнева група;  
ШС – штатна система.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		85

## ДОДАТОК Б Системи передпускового прогріву двигуна транспортного засобу

Нижче наведенні широко представленні системи передпускового прогріву двигунів ТЗ. Це рідинні опалювачі (рідинні автономні опалювачі) фірм «Webasto» (рис. Б.1) і «Eberspächer» працюючі незалежно від двигуна і в поєднанні зі штатною системою опалення ТЗ (з рідинним охолодження) або в складі окремої системи опалення, призначені для передпускового прогріву транспортного двигуна [5].

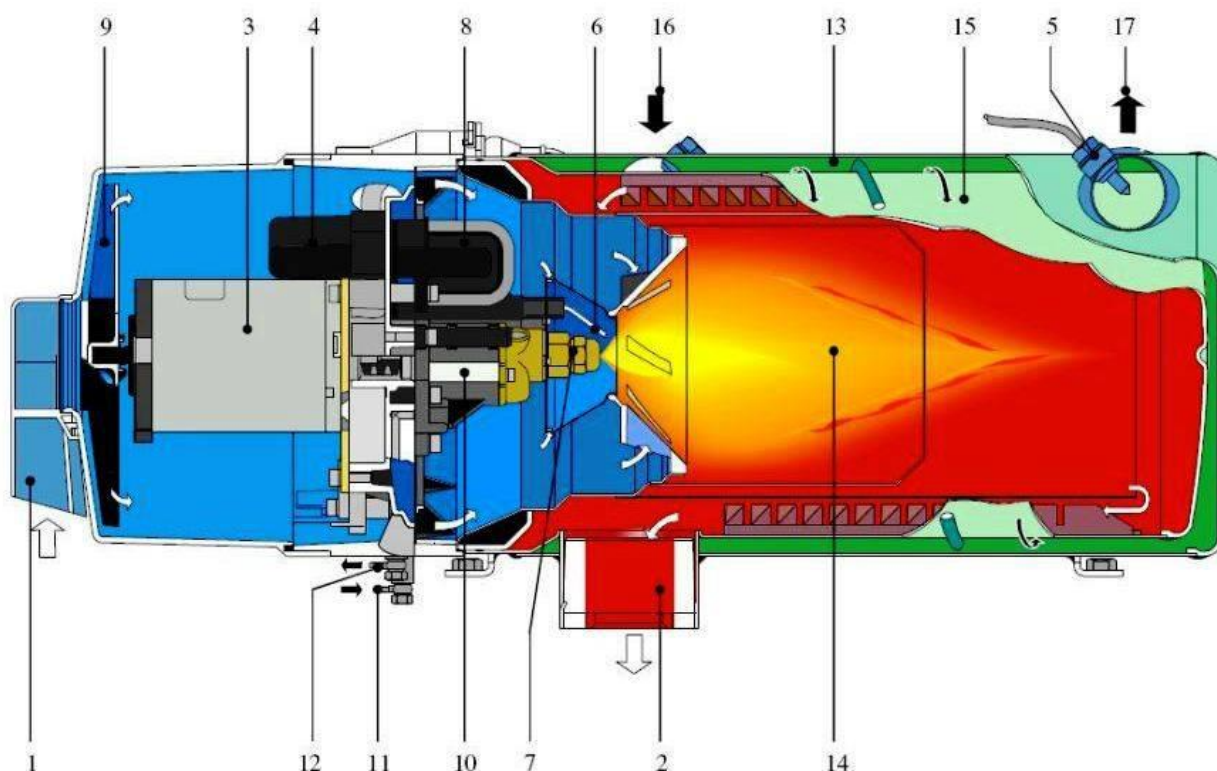


Рисунок. Б.1 – Передпусковий рідинний автономний опалювач «Webasto»:

1 – забір повітря для горіння; 2 – вихід відпрацьованих газів; 3 – двигун нагнітача; 4 – блок керування; 5 – датчик температури; 6 – електроди запалювання; 7 – форсунка; 8 – високовольтна котушка запалювання; 9 – крилатка нагнітача; 10 – паливний насос; 11 – штуцер подачі палива; 12 – штуцер зворотного паливопроводу; 13 – рідинний контур; 14 – камера згоряння; 15 – корпус теплообмінника; 16 – подача робочої рідини; 17 – вихід робочої рідини.

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

0032.150204.000.04MP.ПЗ

Лист

86

Системи передпускового прогріву фірми «Webasto» і «Eberspächer» одночасно з позитивними показниками має і ряд негативних: додаткове пожежонебезпечне обладнання в підкапотному просторі ТЗ (відкритий котел); додаткова витрата палива у ТЗ; потребує кваліфікованого та дорогого технічного обслуговування; рівень шуму; дорогі та не зовсім ремонтпридатні механізми системи.

Крім цього, широкого використання знайшли теплові акумулятори (ТА) це пристрої, які дозволяють при роботі транспортного двигуна запасати тепло охолоджуючої рідини або відпрацьованих газів, а потім віддавати це тепло двигуну перед наступним запуском при низьких температурах навколишнього середовища [7]. Серед вказаних пристроїв окремо можливо виділити, так звані теплові акумулятори фазового переходу (ТАФП), які з'явилися в кінці 80-х, початку 90-х років ХХ-го століття. В роботах Шульгіна В.В. [8], і Грицука І.В. [9] розглянуті питання застосування ТАФП в системах передпускового підігріву транспортних двигунів, показані результати попередніх дослідників, представлений огляд існуючих конструкцій, методики конструкторських розрахунків ТАФП, питання вибору теплоакумуючого матеріалу, а також запропоновані нові конструкції ТАФП і систем для їхнього використання. Недоліком ТАФП на ТЗ є відсутність розвинутої мережі їх обслуговування і ремонту.

Відомо, що в РФ ТАФП невеликими партіями виробляла компанія «АвтоПлюсМАДІ» (м. Москва) під назвою «Пристрій полегшення пуску двигуна» (УОПД) [10]. У цих системах для зберігання тепла використовується тепловий акумулятор (ТА), який має подвійний металевий циліндр з вакуумною ізоляцією. Носій тепла - стандартна охолоджуюча рідина транспортного двигуна (тосол або антифриз). При роботі транспортного двигуна спеціальним насосом системи гаряча рідина періодично закачується в тепловий акумулятор, тобто заряджає його. В результаті, після зупинки

двигуна в ТА знаходиться гаряча охолоджуюча рідина, яка з плином часу все ж охолоджується.

Вперше серійний ТАФФ для використання на транспортних двигунах запропонував німецький інженер О. Schatz в кінці 90-х років минулого століття.

Сьогодні за ліцензією канадська фірма «CENTAUR Thermal System Inc» випускає ТАФП чотирьох типів, конструкція яких представлена на (рис. Д2.2).

Також відома система передпускового прогріву транспортного двигуна з акумулятором тепла, розроблена компанією ТОВ «Гольфстрім» (м. Новосибірськ) [11]. Ця система основана не на ТАФП, а на акумуляторі тепла, який працює за принципом термоса з подвійною металевою колбою [11].

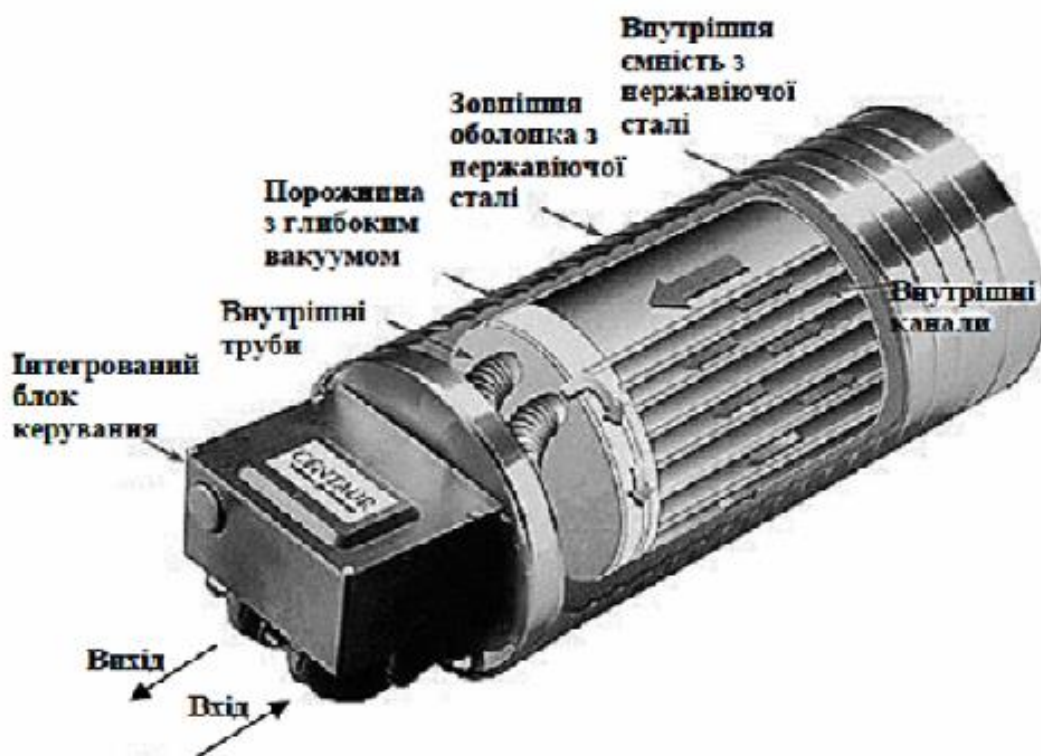


Рисунок. Б.2 – Тепловий акумулятор фазового переходу «CENTAUR»

Відмінною особливістю деяких модифікацій АТ є можливість підгріву охолоджуючої рідини за рахунок вбудованих ТЕН в пристрій-накопичувач.

В конструкції ТА, які у якості робочої речовини використовують рідину системи охолодження ДВЗ, що і є основним їхнім недоліком.

Це пояснюється наступним. Температура охолоджуючої рідини в системах транспортного засобу не може бути більше ніж 85°C. Тому при забезпеченні передпускового прогріву ТЗ в умовах експлуатації ніколи не може бути забезпечена постійна температура «гарячого» пуску транспортного двигуна 50°C. Це пов'язано з тим, що має місце природне охолодження конструктивних елементів транспортного двигуна і при виконанні передпускового прогрівання нагріта охолоджуюча рідина у ТА буде змішуватись з основною рідиною системи охолодження (яка має температуру навколишнього середовища).

Тепловий акумулятор із теплоакумулюючим матеріалом фазового переходу було розроблено і виготовлено на кафедрі рухомого складу залізниць ДонІЗТ і проведені його дослідження у складі моторної установки з дизелем К461М1 в лабораторії рухомого складу ДонІЗТ [12]. Також були розроблені системи передпускового прогріву, до складу яких входять теплові акумулятори фазового переходу, які заряджаються від відпрацьованих газів двигуна ТЗ.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		89

## ДОДАТОК В Теплові акумулятори фазового переходу будова та характеристики

В даний час відомий широкий спектр речовин, що забезпечують температуру акумуляції від 0 до 1400 °С. Слід зазначити, що широке застосування ТА з ТАМ, що плавиться стримується насамперед міркуваннями економічності створюваних установок. При робочих температурах до 120°С рекомендується застосування кристалогідридів неорганічних солей, що пов'язано в першу чергу з використанням природних речовин у якості ТАМ. Для реального застосування розглядаються тільки речовини, що не розкладаються при плавленні, або розчиняються в надлишковій воді, що входить до складу ТАМ. З метою забезпечення кристалізації з малим переохолодженням рідини необхідне застосування речовин, які є первинними центрами кристалізації. Для блокування поділу фаз або застосовуються загусники, або інтенсивне перемішування в процесі теплообміну. До теперішнього часу розроблені рекомендації, що забезпечують працездатність ТАМ на основі кристалогідратів протягом декількох тисяч циклів заряду-розряду.

До числа недоліків кристалогідратів слід віднести також їх підвищену корозійну активність [6]. Використання органічних речовин практично повністю знімає питання корозійного руйнування корпусу, забезпечує високу густину енергії, що запасається, непогані економічні показники. Розроблені до теперішнього часу способи поверхневої обробки органічних речовин (крафт – полімеризація – модифікація і т.п.) Дозволяють створювати конструкції без явно вираженої поверхні теплообміну. Однак в процесі роботи органічних речовин відбувається зниження теплоти плавлення внаслідок руйнування довгих ланцюжків молекул полімерів. Застосування органічних матеріалів вимагає розвинених поверхонь теплообміну внаслідок низького коефіцієнта теплопровідності ТАМ. При більш високих робочих температурах застосовуються, як правило, з'єднання і сплави легких металів.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		90

Істотними недоліками з'єднань металів прийнято вважати низький коефіцієнт теплопровідності, корозійну активність, зміну об'єму при плавленні. Основні типи ТА фазового переходу приведені на рисунку. В.1.

Розміщення ТАМ в капсулах рис. В.1 (а) забезпечує високу надійність конструкції, дозволяє створювати розвинену поверхню теплообміну, компенсувати зміни обсягу в процесі фазових переходів. Однак внаслідок низької теплопровідності ТАМ необхідна велика кількість капсул малого розміру, що призводить до великої трудомісткості виготовлення ТА.

Особливо доцільне застосування капсульних ТА у випадках малих теплових потоків з теплообмінної поверхні. Розташування ТАМ в міжтрубному просторі кожухотрубного теплообмінника рис. В.1 (б) забезпечує раціональне використання внутрішнього обсягу ТА. Однак при такій конструкції утруднене забезпечення вільного розширення ТАМ, внаслідок чого знижена надійність акумулятора в цілому. Забезпечення динамічних характеристик акумулятора утруднено відомими характеристиками міцності обмеженнями кроку трубок в трубній дошці.

Найбільш технологічно складним і дорогим елементом ТА традиційної конструкції є теплообмінна поверхня. Внаслідок низьких коефіцієнтів теплопровідності більшості плавких ТАМ в даний час запропоновані різні способи очищення поверхні теплообміну: зіскрібанням ТАМ рис. В.1 (в, г) ультразвуковим або електрогідравлічним руйнуванням затверділої речовини рис. В.1 (д). Зазначені способи дозволяють суттєво знизити величину теплообмінної поверхні, але суттєво збільшують навантаження на конструктивні елементи акумулятора.

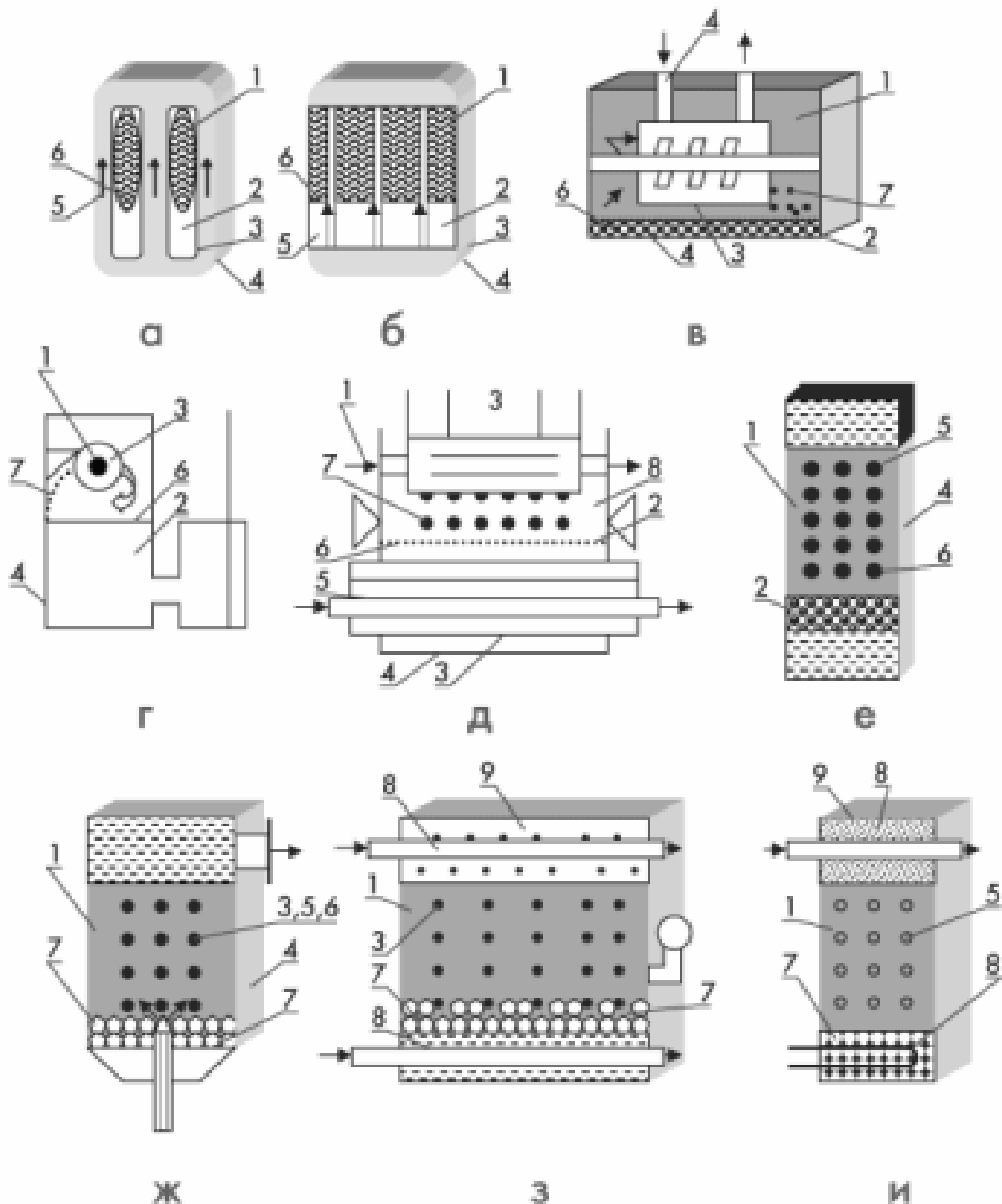


Рисунок В.1 – Основні типи акумуляторів теплоти фазового переходу:

а – капсульний; б – кожухотрубний; в, г – зі скребковим видаленням ТАМ; д – з ультразвуковим видаленням ТАМ; е, ж – з прямим контактом і прокачуванням ТАМ; з, і – з випарно-конвективним переносом тепла; 1 – рідкий ТАМ; 2 – твердий ТАМ; 3 – поверхня теплообміну; 4 – корпус ТА; 5 – теплоносій; 6 – межа розділу фаз; 7 – частинки твердого ТАМ; 8 – проміжний теплообмінник; 9 – паровий і рідинний простір для теплоносія

Відомо, що найкращим варіантом теплообмінної поверхні є її повна відсутність, тобто безпосередній контакт ТАМ і теплоносія. Очевидно, що в

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

цьому випадку необхідно підбирати як ТАМ, так і теплоносії за ознаками, що забезпечує працездатність конструкцій.

Теплоакумулюючі матеріали в цьому випадку повинні відповідати наступним вимогам: кристалізуватися окремими кристалами; мати велику різницю щільності твердої та рідкої фаз; бути хімічно стабільними; не утворювати емульсій з теплоносієм [7].

Теплоносії підбираються за такими ознаками: хімічна стабільність в суміші з ТАМ; велика різниця густини у відношенні до ТАМ; мала здатність до вспінювання; ряд інших вимог, що впливають з особливостей конструкції.

В якості ТАМ теплового акумулятора фазового переходу, який використовується в підсистемі утилізації теплової енергії відпрацьованих газів дизельного двигуна транспортного засобу, була спроба використовувати поліетилен високої густини. Це було виконано з наступних міркувань.

По-перше, розробка і виготовлення ТА натрапляє на труднощі, обумовлені їхніми великими масогабаритними показниками через прагнення одержати великий енергетичний потенціал теплоакумулюючих засобів, що розрахований на низько температурні умови. Цим і визначається великий і не часто затребуваний тепловий потенціал теплоакумулюючих засобів. Спроби зменшити масогабаритні показники ТА без прийняття додаткових конструктивних рішень.

По-друге в залежності від способу одержання розрізняють поліетилен: високого тиску низької щільності і низького тиску високої щільності. Поліетилен не розчинний в органічних розчинниках при кімнатній температурі й обмежено набухає в них.

По-третє, поліетилен стійкий при нагріванні у вакуумі й атмосфері інертного газу. Під дією сонячної радіації, особливо ультрафіолетових променів, зазнає фотостаріння. Поліетилен практично нешкідливий. З нього не виділяються в навколишнє середовище небезпечні для здоров'я людини речовини.

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		93

В основу роботи була покладена необхідність прогріти двигун при низькій температурі оточуючого середовища в період передпускового прогріву до температур «гарячого пуску», а саме: 40°C, або 50°C, або 60°C, а потім – нагрів до температури 85°C [4].

Таблиця В.1 – Технічна характеристика ТА фазового переходу і ТАМ

Найменування	Одиниця виміру	Характеристика
1	2	3
Теплоакumuлюючий матеріал		поліетилен високої густини
Температура фазового переходу	К	408
Густина, ртв /ррід	кг/м <sup>3</sup>	925 / 800
Питома теплова енергія фазового переходу	кДж/кг	230
Питома теплоємність, ств / срід	кДж/(кг·К)	2,5 / 3,3
Коефіцієнт теплопровідності, лтв /лрід	Вт/(м·К),	0,26 / 0,04
Маса теплоакumuлюючого матеріалу	кг	20
Маса теплового акумулятора з ТАМ	кг	39
Теплоізоляційний матеріал		подвійний спінений поліетилен, покритий двома шарами алюмінієвої фольги
Матеріал корпусу		сталь нержавіюча
Матеріал теплообмінника ТА		латунь або мідь
Теплова ємність	кДж/К	47,25

## ДОДАТОК Г. Система прогріву ДВЗ з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу

Система прогріву ДВЗ з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу входить, як складова частина, до системи охолодження ДВЗ та виконує частину її функцій, а саме забезпечує швидкий прогрів ДВЗ до робочої температури та підтримує її у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна. Принцип роботи в цілому полягає в накопиченні теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ), яка утворюється при згоранні палива та не використовується на корисну роботу, а викидається в атмосферу з ВГ.

Накопичення теплової енергії в ТА стає можливим завдяки встановленню в випускному трубопроводі двигуна теплообмінника, який пов'язаний з ТА трубопроводом, за допомогою якого, завдяки насосу з власною системою керування, відбувається циркуляція теплоносія системи утилізації теплової енергії. Теплоносій проходячи через теплообмінник в випускному трубопроводі розігрівається від теплової енергії ВГ до температури 150...200°C. В якості теплоносія в ході випробувань використовувалась гальмівна рідина з температурою кипіння 220°C.

Теплообмінник встановлено в байпасі випускного трубопроводу, паралельно основному трубопроводу. Таке конструкційне рішення прийнято для того, щоб мати можливість для відключення його після того, як ТА буде повністю заряджений. Переключення потоку відбувається за допомогою клапанів з електричним приводом на основі команд системи керування [14].

Теплоносій, з утилізатора теплової енергії ВГ, потрапляє в ТА, який представляє собою теплоізолюваний резервуар з двома теплообмінниками (для заряджання та розряджання його), заповнений фазоперехідним теплоакумулюючим матеріалом (ТАМ). Теплоносій циркулює через теплообмінник заряджання теплового акумулятора. При проходженні від теплообмінника через ТА, теплоносій охолоджується та віддає накопичену

					0032.150204.000.04MP.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		95

теплову енергію ТАМ. В процесі накопичення теплової енергії ТАМ найбільшу ефективність являє процес фазового переходу речовини – наповнювача ТА, тобто зміна його агрегатного стану, на яку потрібна велика кількість теплової енергії. Попереднє, до значень температури фазового переходу в теплоакumuлюючій речовині, та подальше нагрівання ТАМ, після досягнення значень температури фазового переходу, в процесі фізичного накопичення теплової енергії ТАМ, є не таким енергоємним, як безпосередньо процес фазового переходу. Перевагою використання накопиченої енергії фазоперехідного процесу, при незначній кількості ТАМ фазового переходу, є можливість накопичення теплової енергії, яку було б можливо накопичити ТАМ з фізичним накопиченням теплової енергії з масою у декілька разів більшою, ніж ТАМ фазового переходу. З точки зору конструкції ТА та фізики процесів зміни агрегатного стану речовини, більш безпечним та зручним у використанні є перехід: твердий стан – рідина – твердий стан, ніж рідина – газ – рідина. В якості ТАМ найбільш доцільно використовувати речовину, яка має температуру фазового переходу в інтервалі можливих коливань температури теплоносія, що заряджає ТА.

Завдяки ефективній теплоізоляції є можливість тривалого збереження накопиченої теплової енергії в ТА.

При необхідності запуску двигуна після тривалої зупинки в дію включається система прогріву ДВЗ. Для цього відбувається включення цієї системи перед запуском ДВЗ. Система в свою чергу включає електричний циркуляційний насос з модульованою подачею, який здійснює циркуляцію охолоджуючої рідини через ДВЗ та ТА. Проходячи через ТА охолоджуюча рідина отримує накопичену ТАМ теплову енергію та передає її елементам конструкції ДВЗ, а що є найголовнішим, стінці та головці циліндра.

Правильний вибір теплової потужності ТА дозволяє виконати швидкий попередній прогрів ДВЗ з температури оточуючого середовища (мінімальна температура від -20 до +5°C) до температури +50°C.

					<b>0032.150204.000.04MP.ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		96

Вибір теплової потужності робиться на основі розрахунку теплового балансу системи прогріву ДВЗ, який відображає необхідну кількість теплової енергії для прогріву охолоджуючої рідини, блока циліндрів, головки блока циліндрів, з'єднуючих патрубків та трубопроводів та теплових втрат.

Отримавши теплову енергію від охолоджуючої рідини елементи ДВЗ передають її оливі та камері згорання, що позитивно впливає на процес пуску ДВЗ, який відбувається після того, як датчики СП ДВЗ зафіксують температуру охолоджуючої рідини в межах +40...50 °С. Після цього відбувається запуск ДВЗ та є можливість навантаження двигуна. Після запуску ДВЗ СП продовжує свою роботу та сприяє більш швидкому та ефективному прогріву працюючого двигуна до оптимальної температури охолоджуючої рідини + 85°С.

Це досягається завдяки подальшому використанню накопиченої теплової енергії в ТА і на даному етапі роботи в тепловий баланс системи прогріву включається додатковий член - надходження теплової енергії від ТА. Після досягнення температури охолоджуючої рідини +85°С система комбінованого прогріву переходить в режим підтримання її в заданих межах, тобто  $85 \pm 5^\circ\text{C}$ . Враховуючи дані отримані від датчиків температур система керування прогріву розраховує оптимальну частоту обертання циркуляційного насосу та віддає керуючі команди на клапани системи, спрямовуючи потоки рідини через ті чи інші елементи системи прогріву.

Функціонування розробленої системи прогріву ДВЗ побудовано на аналізі температурних значень теплоносіїв системи охолодження ДВЗ. Контрольні датчики температури охолоджуючої рідини врізаються в середину блоку циліндрів ДВЗ у контури системи охолодження, а ті, які не вимагають додаткового врізання в контур, закріплюються на трубопроводах (патрубках), тому що для зняття температурних даних не мають потреби в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем.

Двигуни внутрішнього згорання транспортного засобу в різних умовах експлуатації мають значні теплові втрати від працюючого енергетичного

обладнання в навколишнє середовище. Для підвищення їх ефективності можливо використання додаткових засобів утилізації або накопичення бросової теплової енергії, які можуть використовуватись для теплової підготовки двигуна транспортного засобу.

Для можливої реалізації бросової теплової енергії двигуна ТЗ для потреб транспортного засобу потрібно урахування існуючих нормативних вимог, оцінка економічної доцільності удосконалень, конструктивна, технологічна і експлуатаційна надійність та безпека реалізованих варіантів засобів і перспективних схем їх застосування.

Важливу роль у вирішенні енергетичної проблеми транспортних засобів (ТЗ) відіграють двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). Задача підвищення ефективності транспортних двигунів передбачає поліпшення їх основних показників, до яких, в першу чергу, слід віднести показники потужності та економічності. Однак одночасне комплексне покращення названих показників є серйозною проблемою, обумовленою низкою обставин, яку одночасно вирішити дуже складно. Однією з необхідних умов для цього є забезпечення робочого температурного стану двигунів (у відповідності до рекомендацій), що відповідає умовам експлуатації, при змінних температурах оточуючого середовища (ОС) в змінних умовах експлуатації транспортного засобу.

Використання двигунів транспортних засобів у різних кліматичних умовах експлуатації супроводжується великими втратами робочого часу, праці і матеріальних засобів на їх експлуатацію, обслуговування, ремонт і зберігання. Пускові якості двигунів ТЗ оцінюються граничною температурою надійного пуску і часом, необхідним для підготовки двигуна до прийняття навантаження. При низьких температурах двигуна ТЗ і навколишнього середовища пуск утруднюється, надійність його суттєво знижується, а час підготовки до прийняття навантаження суттєво зростає. Тому, забезпечення робочого температурного стану двигуна ТЗ в умовах експлуатації за рахунок процесів передачі потоку теплової енергії різноманітними засобами є актуальною

проблемою, вирішення якої створить умови для подальшого розвитку та підвищення енергетичної безпеки ТЗ і продуктивності колісного транспорту.

На території України експлуатується значна кількість автотранспортних засобів, які забезпечують вирішення різноманітних цільових завдань, при цьому більшість транспортних засобів в даний час за своїми техніко-економічними показниками не відповідають сучасним вимогам до паливної економічності.

Вибір способу забезпечення температурного стану двигуна ТЗ у життєвому циклі, як на стадії проектування, так і в умовах експлуатації, повинен здійснюватись на основі всебічної, комплексної оцінки їх ефективності з урахуванням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів, і робить проблему підвищення ефективності використання бросової теплоти ДВЗ транспортного засобу для покращення паливної економічності роботи двигуна дуже важливою.

Досягнувши мету в роботі вирішили такі завдання:

- Огляд і аналіз умов експлуатації, способів і засобів використання систем теплової підготовки двигунів транспортних засобів.
- Розробка загальної структури методики оцінювання показників двигуна ТЗ при застосуванні системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу.
- Розробка системного підходу до забезпечення температурного стану двигуна транспортного засобу в умовах експлуатації; схеми системи теплової підготовки із застосуванням теплових акумуляторів фазового переходу; циклу забезпечення температурного стану двигуна в умовах експлуатації.
- Розробка алгоритму роботи системи теплової підготовки двигуна транспортного засобу при застосуванні теплових акумуляторів фазового переходу.