

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 **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОГРІВУ МАНЕВРОВИХ  
ТЕПЛОВОЗІВ**

Theme **IMPROVEMENT OF THE HEATING SYSTEM FOR SHUNTING  
DIESEL LOCOMOTIVES**

Керівник дипломної  
роботи

Д. М. Кислий

Нормоконтролер

Л. В. Колодій

Студент групи ЛГ1921

Є. Ю. Бондаренко

Student

Bondarenko Yevhenii

Дніпро, 2020

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Удосконалення системи прогріву маневрових тепловозів» загальним обсягом 6 плакатів, на яких розміщено 10 креслень та 85 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з 4 розділів. Робота містить 16 ілюстрації, 4 таблиці та список літературних джерел з 17 найменувань.

Об'єктом дослідження в дипломній магістерській роботі виступає система охолодження тепловозної силової установки, а метою роботи – удосконалення системи прогріву.

В роботі розглянуті основні фактори, які впливають на режими роботи силових енергетичних установок тепловозів. Серед них фактори, що впливають на витрати енергоресурсів силових енергетичних установок тепловозів, якість паливо-енергетичних ресурсів та ін. Розглянуто методи підвищення економічності силових енергетичних установок на режимах холостого ходу та малих навантажень, в тому числі на режимах прогріву. Визначено, що для набуття найбільшої паливо-енергетичної економічності, подовження ресурсу силових енергетичних установок та акумуляторних батарей, з урахуванням кліматичних умов України, найбільш доцільним для маневрових тепловозів є застосування системи електричного прогріву із зовнішнім джерелом енергії. Така система має найбільший коефіцієнт корисної дії та дозволяє автоматизувати процес прогріву. Вказано недоліки системи: вона є неавтономною, що вимушує локалізувати відстій тепловозів в гарячому резерві; розглянута система вимагає ручного підключення зовнішньої електричної мережі; необхідно додавати елементи до штатної системи регулювання температури теплоносіїв дизеля.

Ключовими словами в дипломній магістерській роботі виступають: СИСТЕМА, ПРОГРІВ, МАНЕВРОВИЙ ТЕПЛОВОЗ, СИЛОВА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, ЕКОНОМІЧНІСТЬ, РЕСУРС, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ .....	9
1.1 Аналіз факторів, що впливають на витрати енергоресурсів силових енергетичних установок тепловозів .....	9
1.2 Огляд існуючих методів підвищення економічності силових енергетичних установок при малих навантаженнях.....	12
1.3 Вплив якості паливо-енергетичних ресурсів на режими роботи тепловозних силових енергетичних установок .....	16
1.4 Заходи підвищення економічності тепловозних силових енергетичних установок при малих навантаженнях.....	17
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ.....	21
2.1 Обґрунтування необхідності впровадження системи прогріву тепловозів .....	21
2.2 Аналіз ефективності застосування прогріву тепловозів від альтернативних джерел енергії.....	21
2.3 Огляд існуючих систем прогріву .....	26
2.4 Складання математичної моделі для визначення параметрів теплового балансу системи електричного прогріву маневрових тепловозів .....	43
2.5 Розрахунок теплового балансу системи електричного прогріву маневрових тепловозів .....	51
3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ .....	58

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Бондаренко Є.</i>			<i>Удосконалення системи прогріву маневрових тепловозів</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Кислий</i>				н	5	85
Реценз.						<i>ДНУЗТ, зр. ЛГ1921</i>		
Н. Контр.		<i>Колодій</i>						
Затверд.		<i>Капіца</i>						

4 РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ

ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ..... 65

ВИСНОВКИ ..... 75

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ..... 77

ДОДАТОК А. Специфікації до креслень ..... 79

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Залізничний транспорт являє собою велику та складну технічну та соціально-економічну систему, яка знаходиться в постійній взаємодії з галузями народного господарства. В якості основних прямих зв'язків служить пропозиція транспортних послуг, в якості основних зворотних зв'язків – попит на залізничні перевезення та забезпечення їх різного роду ресурсами.

В умовах ринкових відносин перед залізничним транспортом на перший план виступають задачі підвищення якості перевезень, оперативності та ритмічності в роботі, прискорення термінів доставки вантажів, зменшення експлуатаційних затрат.

Підвищення ефективності використання локомотивів є однією з передумов стабільного функціонування всіх галузей залізниць. Це передбачає пошук резервів при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів. Як показує досвід експлуатації рухомого складу в сумісних галузях промисловості, в ряді випадків можливо отримати суттєвий економічний ефект.

У транспортній системі України ведуче місце займають залізниці, прогрес яких нерозривно пов'язаний зі станом локомотивної тяги. У зв'язку з цим дуже важливо підвищити рівень використання та надійність роботи локомотивів. Виконання цієї задачі покладено на одну з ведучих галузей залізничного транспорту – локомотивне господарство. На його долю припадає 11,5% основних фондів та 40% експлуатаційних витрат залізниць. Із усіх експлуатаційних витрат, які мають місце в локомотивному господарстві, біля 20% випадає на технічне обслуговування локомотивного парку.

Скорочення експлуатаційних витрат у локомотивному господарстві являється актуальною проблемою. Перед локомотивним депо поставлені наступні завдання:

- забезпечувати технічне збереження, технічне обслуговування і поточний ремонт тягового рухомого складу (ТРС);
- організувати роботу ТРС;

					0032.150176.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

- організувати роботу локомотивних бригад;
- організувати роботу ремонтних бригад;
- організувати матеріально-технічне постачання;
- забезпечити безпеку руху і збереження екології;
- забезпечити ефективність та економічність використання ТРС.

Природно, що для останнього пункту потрібні відповідні рішення, які дозволять мінімізувати витрати паливо-енергетичних ресурсів.

В останній час питання економії енергоресурсів на залізницях України було одним з найважливіших. Як свідчить практика, впровадження оновлених систем прогріву тепловозів дає можливість економити паливо та використовувати його на тягу, що в свою чергу підвищує ефективність роботи не тільки одного локомотива, а депо й залізниці в цілому.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1 ОГЛЯД ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ

## 1.1 Аналіз факторів, що впливають на витрати енергоресурсів силових енергетичних установок тепловозів

Локомотивне господарство є великим споживачем дизельного палива і змащувальних масел. Зниження їх витрати в значній мірі залежить від впровадження в експлуатацію сучасних економічних методів організації виробничого процесу.

Витрати на паливо становлять чи не найбільшу долю в загальних витратах на експлуатацію. Тому їх зменшення приводить до значного економічного ефекту.

В даному розділі проаналізовано основні фактори, які напряму впливають на витрату палива тепловозами в експлуатації, визначено їх значимість, а також запропоновано основні шляхи їх економії.

Витрата палива локомотивами залежить від великої кількості факторів. Умовно їх можна розділити на експлуатаційні та конструктивні. До експлуатаційних факторів відносяться профіль і план колії, маса потягу, питомий опір руху, спосіб керування, досвід машиніста, кліматичні умови, режими роботи локомотива. До конструктивних факторів відносяться витратні характеристики дизеля, ступінь відбору потужності на привід допоміжних агрегатів, рівень втрат в електричній передачі тепловоза.

Числова оцінка впливу ряду факторів отримується в результаті багатофакторного аналізу статистичних показників роботи депо за останні роки.

На витрату дизельного палива великий вплив надають також кліматичні умови, у яких експлуатується локомотив. До основних факторів кліматичних умов можна віднести:

- атмосферний тиск;
- температуру;
- вологість;

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

– запиленість повітря.

В умовах низького тиску збільшується витрати палива тому, що зменшується кількість подачі повітря в камеру згоряння та погіршується якість згоряння пального. В зимовий час збільшуються витрати пального за рахунок прогріву дизеля. В умовах високої запиленості швидко засмічуються повітряні фільтри та зменшується кількість повітря, що потрапляє в камеру згоряння.

Помітний вплив на витрати палива має витрата на холостому ходу дизелів, яка може бути зменшена за рахунок:

- зменшення часу роботи;
- годинної витрати палива на цьому режимі.

За даними депо, час роботи на холостому ходу перевищує 60% загального часу роботи тепловоза. Частина цього часу викликана необхідністю прогріву тепловозів, головним чином, зимою. Витрата палива на прогрів складає, за різними оцінками від двох до п'яти відсотків загальноексплуатаційної витрати палива. Вона може бути значно знижена:

- застосуванням стаціонарних установок для прогріву тепловозів;
- бортових підігрівачів;
- оптимізацією самопрогріву дизеля.

Останній спосіб найпростіший, оскільки не потребує спеціального підігрівачаючого обладнання, тому він може бути впроваджений в першу чергу.

Як правило, тепловози прогріваються безперервною роботою дизеля на холостому ходу (нульова позиція контролера машиніста). Такий прогрів не є оптимальним. За умовами найменшої витрати палива найбільш вигідним є інтенсивний (на другій-п'ятій позиціях) циклічний прогрів, при якому робота дизеля чергується з його зупинками.

Створено пристрої, які запускають дизель, здійснюють його прогрів на оптимальних режимах і зупиняють його без втручання прогрівальника в залежності від температури води та оточуючого середовища.

Годинна витрата палива на холостому ходу може бути знижена в результаті

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

покращення робочого процесу дизеля на цьому режимі або зменшення механічних втрат.

Удосконалення робочого процесу, як правило, досягається покращенням якості розпилювання палива і паливостачання циліндрів.

Зниження потужності механічних втрат досягається зменшенням затрат потужності на привід допоміжних агрегатів, тертя в окремих вузлах дизеля.

Одним з способів зменшення механічних втрат в дизелі є зниження мінімальної частоти обертання колінчатого валу. Але цей спосіб пов'язаний з труднощами забезпечення стійкої роботи дизеля як по динаміці колінчатого валу, так і по організації робочого процесу. Тим не менше, як показує закордонний досвід це завдання може бути вирішене. Так на американському дизелі 645-38 фірми «General Motors» вдалося без погіршення стійкої роботи знизити мінімальну частоту обертання колінчатого валу з 315 до 255 хв<sup>-1</sup>, чим досягнута значна економія палива (0,7% сумарної витрати).

Одним з дієвих способів зниження витрати палива на тепловозах є зниження витрат потужності на привід допоміжних агрегатів (вентилятора холодильника, вентиляторів тягових електродвигунів, гальмівного компресору, допоміжного генератора, збуджувача). На вантажному тепловозі американської фірми «General Motors» Д40-2 (потужність 2,2 кВт) затрати потужності на привід допоміжних агрегатів складають 7,5% потужності дизеля. На тепловозах 2ТЭ10Л і 2ТЭ116 такої ж потужності ці витрати відповідно дорівнюють 13,7% та 13,2%. Зниження витрат потужності може бути досягнуто застосуванням більш економічних вентиляторів, кращою організацією повітропостачання, застосуванням ізоляції електричних машин більш високого класу, що дозволить підвищити робочу температуру генератора і тягових електродвигунів і зменшити затрати потужності на їх охолодження.

Одним з головних резервів економії полягає в підвищенні паливної економічності тепловозних дизелів при роботі під навантаженням. На цих режимах витрата палива залежить від конструктивних та експлуатаційних факторів.

Найбільш впливові з них – рівень і форма витратної характеристики.

					0032.150176.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Важливо, щоб її рівень був низьким не лише в режимі повної потужності, але й на проміжних режимах.

Зниження витрати палива при малих значеннях потужності може бути досягнуто підвищенням в цій зоні тепловозної (генераторної) характеристики – збільшення потужності при малих частотах обертання колінчатого валу. Це особливо важливо при маневровому русі. При цьому витратна характеристика наблизиться до економічної. Але підвищення тепловозної характеристики не завжди можливо через близькість до обмежувальних кривих, що окреслюють зону роботи з підвищеною теплонапруженістю деталей дизеля, збільшеною димністю вихлопних газів. Це викликає не лише збільшення теплового навантаження деталей, але й зменшення коефіцієнту надлишку повітря, зростання димності та витрати палива.

## **1.2 Огляд існуючих методів підвищення економічності силових енергетичних установок при малих навантаженнях**

### ***1.2.1 Регулювання дизель-генераторної установки***

При реостатних випробуваннях регулювання передбачає налаштування та контроль показників роботи силової установки за потужністю, економічністю і деяким іншим параметрам, що характеризують відповідність технічним вимогам. У процесі регулювання виконується: обкатка дизель-генератора після ремонту; перевірка параметрів роботи дизеля і його регулювання; настройка електричної схеми тепловоза; перевірка роботи і настройка пристроїв захисту від аварійних режимів роботи; перевірка працездатності допоміжних механізмів, що забезпечують нормальну роботу тепловоза в експлуатації.

Забезпечення стабільності рівня потужності в експлуатації – один із резервів підвищення економічності тепловозів.

Внаслідок зношення, незадовільного регулювання основних систем локомотива показники роботи дизеля та величини питомих витрат дизельного палива можуть відрізнитися від паспортних значень, як правило, у сторону

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

збільшення.

Зміна технічного стану дизеля приводить до збільшення питомої витрати палива при однаковій реалізованій потужності. Для дизеля ПД-1, який застосовується на тепловозі ТЭМ2 це наглядно демонструє рисунок 1.1. Змінюється також форма кривої залежності витрат палива від потужності, переміщується зона мінімуму витрат.

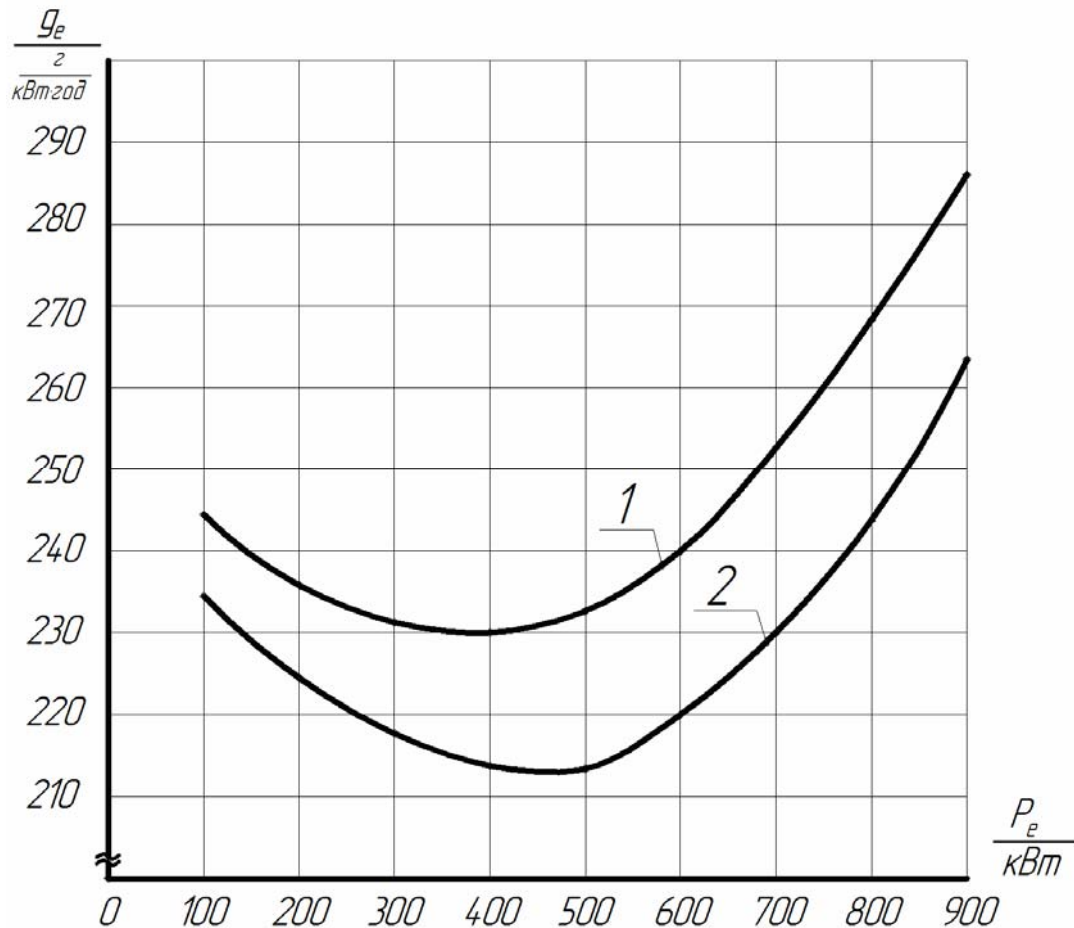


Рисунок 1.1 – Залежність питомих витрат палива від потужності дизеля ПД-1 для даної позиції контролера машиніста:

1 – витратна характеристика дизеля до регулювання; 2 – витратна характеристика дизеля після регулювання

Внаслідок цього при роботі за навантажувальною характеристикою на даній позиції контролера діапазон зміни потужності (що задається настроюванням системи збудження генератора) не співпадає з оптимальною зоною

характеристики за величиною питомої витрати палива.

У кінцевому підсумку це приводить до додаткового збільшення витрат палива.

Збільшення витрат палива можливе також внаслідок збільшення діапазону регулювання потужності генератора внаслідок погіршення його стану. В цьому випадку також відзначається збільшення витрат палива за рахунок великих відхилень від зони оптимальної витрати палива.

В період роботи між ремонтами і особливо при підході до ремонтів силові установки можуть мати значні відмінності по своєму стану від початкової стадії експлуатації. По дизелю ці відмінності обумовлюються відкладенням забруднень по повітряному і вихлопному трактах, зниженню ефективності роботи агрегатів, що постачають дизель повітрям, температури повітря та питомого вмісту кисню, пониженням газощільності циліндрів, погіршенням стану паливної апаратури та інше.

Реостатні випробування, фізико-хімічний і спектральний аналіз масла є діагностичними методами, що у теперішній час знайшли широке застосування в локомотивних депо. Але вони не виконують багатьох задач, які виникають в процесі експлуатації. Реостатні випробування не відповідають вимогам оперативності, технологія їх виробництва громіздка, а техніка вимірювань не відповідає сучасному рівню вимірювань, обробки і аналізу даних.

Отримують розвиток методи діагностики, що засновані на вимірюванні ряду параметрів і характеристик роботи дизеля. Вимірювання можуть проводитись на спеціальному стенді, наприклад, реостаті – стендова діагностика, і на тепловозі в процесі його експлуатації – бортова діагностика.

### ***1.2.2 Шляхи економії витрати палива на холостому ході та малих навантаженнях***

Для зменшення витрати палива на холостому ході існує в основному два шляхи. Один – зниження механічних втрат в дизелі, а також потужності

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

допоміжних агрегатів. Інший – покращення робочого процесу на холостому ході.

При роботі на режимах холостого ходу спостерігається погіршення процесу згорання з-за неякісного розпилування палива, збільшення періоду затримки загорання і збільшення відносних теплових втрат в воду і масло. Визначено, що зниження частоти обертання колінчатого валу на холостому ході приводить до зниження витрати палива, але мінімальна частота обертання колінчатого валу обмежена наступними факторами:

- погіршення робочого процесу;
- погіршення динамічних якостей дизеля;
- попадання в зону небезпечних резонансних крутильних коливань;
- зменшення мінімальної товщини масляної плівки;
- відключення подачі палива в групу циліндрів;
- байпасування повітря на холостому ході і малих навантаженнях;
- збільшення температур масла, води та наддувочного повітря;
- збільшення тиску розпилення за рахунок зміни зусилля на запірний орган форсунки;
- підтримання кута випередження подачі палива.

З ростом температури палива зменшується його в'язкість. Це приводить до зниження вагової подачі палива, значно впливає на процес сумішеутворення в циліндрі в основному за рахунок зниження далекобійності цівок палива. В зв'язку з цим виникає нерівномірний розподіл палива по циліндру. Економічність двигуна з ростом температури палива погіршується.

При роботі на холостому ході годинна витрата палива також зростає по мірі збільшення температури палива.

В деяких депо не звертають уваги на роботу паливопідігрівачів, які не відключаються навіть в літній час, що приводить не лише до погіршення економічності, але й до падіння потужності (в окремих випадках більше ніж на 100 кВт в порівнянні з паспортними значеннями). В експлуатації повинен бути встановлений суворий контроль за роботою паливопідігрівачів.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

### 1.3 Вплив якості паливо-енергетичних ресурсів на режими роботи тепловозних силових енергетичних установок

Нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у виробництві України проводиться на всіх рівнях управління суспільним виробництвом відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 15 липня 1997 року №786 «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві», «Основних положень нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві».

Для забезпечення надійної роботи дизелів тепловозів, а також зменшення витрат палива на одиницю розвинутої потужності дизельне паливо повинно мати такі властивості:

- добре прокачуватись по паливній системі незалежно від пори року і кліматичних умов;
- добре розпилюватись, забезпечувати плавне та повне згорання, не викликати стуків, виникнення сажі, димного вихлопу і забезпечувати легкий запуск двигунів;
- не викликати корозії паливної апаратури та паливних ємностей;
- забезпечувати необхідне змащування паливної апаратури, не утворювати смолистих відкладень на голках розпилювачів і на розпилювачах форсунок, що призводять до їх руйнування;
- мати високі цетанові числа, тобто мати малий період затримки самозапалення;
- повністю згорати, не утворюючи нагарів і відкладень в камері згорання, у циліндрах двигуна, на поршнях та випускному тракті;
- повинно мати високу теплоту згорання;
- бути стабільним при транспортуванні, збереженні та застосуванні.

Фізико-хімічні властивості дизельного палива оцінюються державними стандартами, в яких є близько 20 різних показників якості палива. По цих показниках розглядають експлуатаційні властивості палива, тобто як воно буде

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

впливати на процеси паливоподачі, сумішеутворювання, samozapalennya та згорання.

Основні величини, які суттєво впливають на експлуатаційні властивості палива: цетанове число, фракційний склад, в'язкість, фільтрація палива, наявність води в дизельному паливі.

#### **1.4 Заходи підвищення економічності тепловозних силових енергетичних установок при малих навантаженнях**

Деповське господарство є великим споживачем дизельного палива і електроенергії. Зниження їх витрат в значній мірі залежить від впровадження в експлуатацію найбільш сучасних та економічних методів.

В даному розділі проаналізовано основні фактори, які напряму впливають на витрату палива тепловозами в експлуатації, визначено їх значимість, а також запропоновано основні шляхи їх економії.

Економічність дизеля в великій мірі залежить від стану паливної апаратури, повноти згорання палива в циліндрах, що забезпечується правильно відрегульованим кутом випередження подачі палива, достатньою кількістю повітря. В локомотивному депо при виконанні реостатних випробувань здійснюють перевірку та налаштування кута випередження вприскування палива, тиску по циліндрах, температуру згорання палива.

Незадовільне притирання голки до корпусу розпилювача форсунки чи зношення цієї пари призводить до підтікання палива, до поганого розпилення. Неправильний підбір плунжерних пар паливних насосів, є втрата їх щільності, заклинювання плунжерних пар через попадання в паливо механічних домішок, до припинення роботи одних і навантаженні інших циліндрів і, як наслідок, до підвищення витрат палива.

Велике значення в економії витрат палива є стан циліндро-поршевої групи. Порушення правил ремонту, значне зношення циліндрових втулок і поршневих кілець призводить до погіршення щільності циліндрів, зниженню тиску

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

стискання, в результаті чого порушується нормальний процес згорання палива в циліндрах. Особливо це виражається в режимі холостого ходу при пониженій температурі дизеля. Тут можливі навіть пропуски спалаху палива в окремих циліндрах і відповідно викид незгорівшого палива цих циліндрів у вихлопний тракт і атмосферу, що приводить до підвищеної витрати палива.

В усіх випадках при порушенні нормального процесу згорання палива погіршується економічність дизеля. Комплекс описаних пошкоджень двигуна призводить до перевитрати дизельного палива до 20%, а відповідно щоб ліквідувати перевитрати потрібно виконувати якісний ремонт паливної апаратури і циліндро-поршневої групи. Значні резерви економії палива знаходяться в системі експлуатації тепловозів, кваліфікації машиніста. При веденні поїзда та виконанні маневрової роботи машиніст повинен вибрати найвигідніший режим роботи дизеля, при тривалих простоях глушити дизель.

Коли немає потреби у використанні маневрових тепловозів, маневровий диспетчер чи черговий по депо повинні повідомити машиністу про умови та порядок подальшої роботи для того, щоб машиніст зміг заглушити дизель і не витратити нераціонально дизельне паливо.

Великий вплив на витрату палива має технічний стан вагонів і залізничної колії, втрата повітря з гальмівної магістралі і магістралі розвантаження вагонів, яка викликає додаткову роботу компресорів.

Суттєво впливає на витрати палива підтримання оптимального температурного режиму (температури води та масла) дизеля. Зниження температури масла дизеля на 4-5°C від встановленої призводить до збільшення витрати палива в середньому на 1%. Відповідно температуру масла необхідно підтримувати у верхнього допустимого рівня, якщо це дозволяє тиск масла в системі змащування дизеля.

Зниження температури навколишнього повітря до мінус 20°C при роботі дизеля на холостому ходу може привести до збільшення витрати палива на 20%, що пояснюється різким погіршенням процесу згорання палива при зниженій

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		18

температурі повітряного заряду і збільшенні механічного опору у вузлах тертя. Тому забір повітря в зимовий період треба здійснювати із дизельного приміщення.

Одним із шляхів раціонального використання палива є справне утримання і правильна експлуатація допоміжного обладнання (компресори, вентилятори та інше), на роботу яких витрачається в середньому від 8 до 11% потужності (а отже і палива) при номінальному режимі. Проаналізувавши динаміку зміни питомої витрати палива за останні роки, можна зробити висновок, що вони зростають. Це все говорить про погіршення умов експлуатації локомотивів.

На витрати дизельного палива великий вплив надають також кліматичні умови, у яких експлуатується потяг. До основних факторів кліматичних умов можна віднести атмосферний тиск, температуру, вологість та запиленість повітря. В умовах низького тиску збільшується витрати палива тому, що зменшується кількість подачі повітря в камеру згорання та погіршується якість згорання пального. В зимовий час збільшуються витрати пального за рахунок прогріву дизеля. В умовах високої запиленості швидко засмічуються повітряні фільтри та зменшується кількість повітря, що потрапляє в камеру згорання.

На прогрів дизеля в зимовий період витрачається від 5% до 8% дизельного палива. Відомо чотири основних способів прогрівання дизеля тепловоза:

- за рахунок його роботи на холостому ходу;
- з використанням електроенергії зовнішнього джерела;
- рідинними підігрівачами;
- з використанням енергії котельних депо.

Прогрів тепловозів за рахунок роботи дизеля на холостому ходу не ефективний, як з точки зору економічності, так і з точки зору зношення дизеля. Тривала робота дизеля на холостому ходу з метою самопрогріву приводить до значної витрати дизельного палива, розрідження дизельного масла, через неповне згорання дизельного палива, закоксуванню поршневих кілець, нагароутворення в циліндрах, підвищеному зношенню деталей, що труться.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Прогрів дизеля тепловоза з використанням електричних нагрівачів можна застосовувати в залежності від їх призначення для підігріву води в системі охолодження дизеля, масла в його картері, повітря у впускному колекторі перед пуском двигуна та інше. В залежності від часу простою тепловоза, а також від температури навколишнього повітря, підігрів двигунів можна проводити безперервно чи періодичними включеннями системи.

Прогрів дизеля тепловоза з використанням електричної енергії зовнішнього джерела переважає надійністю, доступністю і компактністю нагрівальних елементів, швидкістю приведення в дію, а також високою потенціальною можливістю автоматизації. Однак цей спосіб має також слабе місце. Це повна залежність тепловоза при його прогріві від спеціалізованого місця.

Одним із найпоширеніших методів прогріву тепловозних дизелів є використання енергії котельних депо (системи стаціонарного підігріву). Коли системи дизелів нагріваються паром чи гарячою водою, яка поступає із котельні.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ

### 2.1 Обґрунтування необхідності впровадження системи прогріву тепловозів

У теперішній час на залізничному транспорті, як і в інших галузях народного господарства, поставлене завдання максимальної економії всіх видів енергоресурсів. Витрати на паливо й електроенергії на залізницях завжди були значними. Незважаючи на деяке зниження в останні роки їхньої частки, потенціал економії експлуатаційних витрат за рахунок скорочення витрати енергоресурсів у галузі й сьогодні залишається досить суттєвим, а можливість активного впливу на нього за допомогою технічних і технологічних новацій досить велика. З урахуванням росту цін на енергоресурси робота в цьому напрямку стає ще більш актуальною. Тому зниження витрати палива тепловозами варто визнати важливим галузевим і народногосподарським завданням.

Чималим резервом економії енергоресурсів є скорочення витрати палива тепловозами «гарячого» резерву, дизелі яких працюють у самому неекономічному режимі – режимі самопрогріву. В цілому по мережі залізниць на прогрів тепловозних двигунів витрачається більше 5% усього дизельного палива, яке споживається локомотивами. У зимових умовах експлуатації ці витрати палива зростають. Така непродуктивна витрата палива займає значну частку в загальних витратах тепловозних депо, оскільки вартість палива в них становить 50-55% всіх експлуатаційних витрат. В зв'язку із цим розробці різних конструктивних й організаційно-технологічних заходів, спрямованих на зменшення витрат дизельного палива на прогрів тепловозів, приділяється велика увага.

### 2.2 Аналіз ефективності застосування прогріву тепловозів від альтернативних джерел енергії

Як відомо, для нормального функціонування тепловозного дизеля на будь-яких позиціях контролера машиніста згідно технічних умов заводу-виробника потрібно, щоб температура води та масла була не менше 40°C. Географічне

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		21

положення України та кліматичні умови експлуатації тепловозів вимагають підтримувати параметри води та масла дизелю тепловоза під час відстою на необхідному температурному рівні. Це можливо за рахунок роботи двигуна на холостому ході або прогріву від стороннього джерела енергії.

В Україні майже повсюдно практикується прогрів тепловозів за рахунок працюючого на холостому ході тепловозного дизеля. Як показала практика, цей метод дуже неефективний, як з економічної, так і з екологічної точки зору. Згідно статистичних даних, по залізницях України витрата палива на прогрів склала приблизно 3750 т натурального палива [ ]. При цьому зменшується моторесурс дизеля, час між капітальними ремонтами, а також значно погіршується екологічна ситуація в місцях відстою тепловозів. Особливо треба зауважити те, що тепловоз, який працює в режимі «гарячого» резерву, є небезпечним джерелом забруднюючих речовин. Оскільки при роботі дизеля на холостому ході до атмосфери викидається така кількість оксидів і діоксидів вуглецю, діоксидів сірки, оксидів азоту та вуглеводнів, яка дорівнює, а іноді навіть перевищує показники дизелів, які працюють на номінальних та максимальних режимах навантаження. Тому питання економії палива при прогріві тепловозів, які знаходяться у «гарячому» резерві, а як наслідок зменшення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами, є одними з найактуальніших проблем для України.

Як було сказано вище, в Україні прогрів тепловозів відбувається за рахунок працюючого на холостому ході тепловозного дизеля. При цьому коефіцієнт корисної дії двигунів внутрішнього згорання, як джерела енергії для самопрогріву, не перевищує 45-47 %.

Крім того, слід звернути увагу також на те, що необхідність у прогріві не залежить від географічного розташування тепловозного депо або точки обороту локомотива (у межах України) і не є характерним для якоїсь із серій тепловозів (дизеля), тобто тут не простежується прямий вплив кліматичної зони. На рис. 2.1 надано розподіл витрат палива на прогрів по залізницях України.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

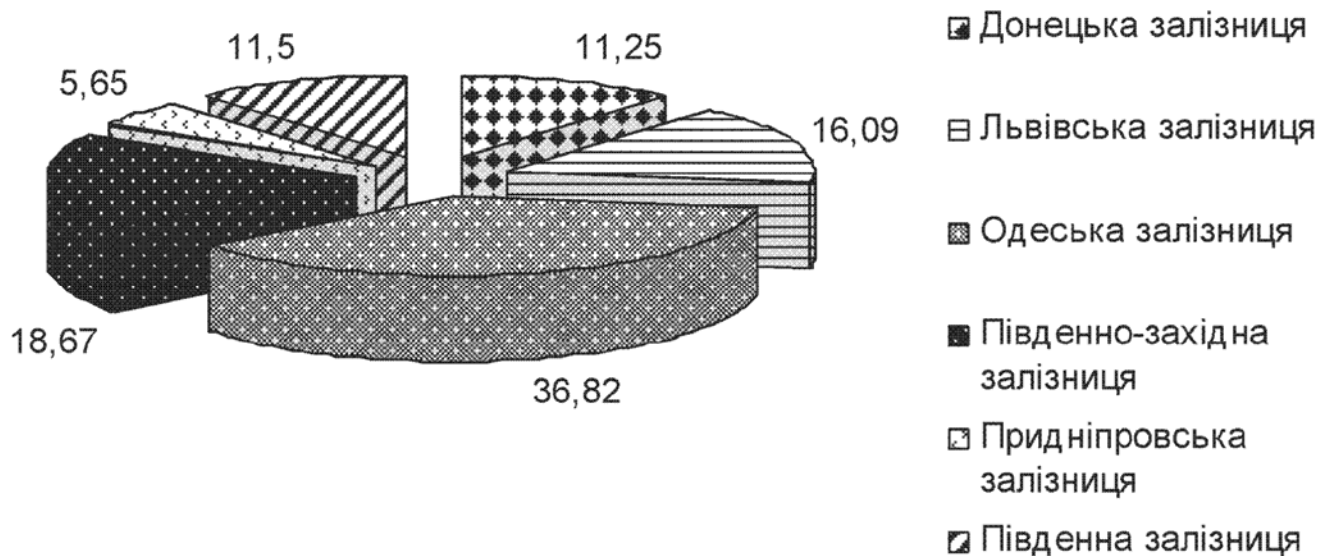


Рисунок 2.1 – Розподіл витрат палива на прогрів по залізницях України

Рівень витрати палива тепловозами на прогрів по депо залізниць України в основному залежить від рівномірності та пропорційності за часом у подачі тепловозів до поїздів, а також від наявності в депо вільних опалювальних приміщень (стіл) для очікування в непрацюючому стані тепловоза до відправлення поїздів.

Після розглянутого вище, робимо висновок, що економія палива на обігрів тепловозів і виключення інших недоліків, пов'язаних з їх самопрогрівом, можуть бути досягнуті використанням тільки альтернативних систем прогріву, які мають більш високий коефіцієнт корисної дії, ніж двигуни тепловозів, які працюють в режимі самопрогріву і забезпечують можливість підтримки силових установок тепловозів в мобільному стані на мінімально допустимому температурному рівні.

Умовно методи прогріву тепловозних дизелів можна розділити на три групи: стаціонарні, автономні, комбіновані. До стаціонарного відносять такі, як прогрів від деповської котельні, прогрів від електромережі, прогрів тепловоза гарячим повітрям, прогрів пальниками – інфрачервоним випромінюванням. До автономного відносять такі методи, як прогрів від тягового генератора, прогрів від котла-підігрівника, прогрів з використанням теплоти відпрацьованих газів й прогрів з використанням акумулятора теплоти.

Було запропоновано економічну оцінку різних способів прогріву тепловозів

за вартістю 1 МДж теплоти, що витрачається на прогрів. Вона є досить наближеною і умовною, оскільки виконується без обліку витрат на модернізацію тепловоза і капітальних витрат. Але є дуже практичною для наглядного порівняння того чи іншого способу прогріву та визначення економічного ефекту від запровадження альтернативних або комбінованих систем прогріву (табл. 2.1).

Як бачимо з цієї таблиці, одним з перспективних способів прогріву є підігрів від акумулятора теплоти. Застосування прихованої теплоти фазових переходів хімічних речовин (відомого фізичного принципу переходу речовини з одного агрегатного стану в інший) дозволить значно підвищити ефективність передпускового прогріву системи охолодження тепловоза в холодну пору року. Температура фазового переходу, так само як і кількість тепла, яка поглинається або виділяється при цьому процесі, залежить від типу застосованої речовини й змінюється в широких межах. Найбільший ефект можна одержати при взаємодії обраної речовини із системою охолодження, яка представлена розгалуженою водяною системою охолодження. Тому що максимальне значення температури охолоджувальної рідини тепловоза не перевищує  $95^{\circ}\text{C}$ , існує невелика група речовин, що мають температуру плавлення нижче необхідної максимальної. Причому, чим вище температурний перепад і питома теплота плавлення робочої речовини, тим більший ефект можна одержати.

Крім того, певні обмеження накладає специфіка роботи тепловозів у зимовий час, що полягає в необхідності багаторазового відтворення режимів фазового переходу. Тільки ті речовини, які дозволяють багаторазово проводити над собою знакозмінні режими, реально претендують на широке застосування. У цьому випадку термін служби робочої речовини та всієї системи може бути необмежений.

Конструктивно система представляє собою звичайний теплообмінник, виконаний у вигляді термоса. Пристрій містить два корпуси з нержавіючої сталі: зовнішній з підвідним та відвідним штуцерами і внутрішній, у якому розташовані капсули з робочим тілом. Капсули являють собою герметичні

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку економічного ефекту при використанні альтернативних способів прогріву

Серія тепловоза	Витрата дизельного палива на режимі холостого ходу тепловоза, кг/год	Витрата палива на самопрогрів від працюючого дизеля, т/рік	Вартість палива, витраченого на прогрівання, тис.грн/рік	Величина теплоти, що відводиться до системи охолодження і масла, кВт·год (МДж)	Витрати теплоти на самопрогрівання однієї секції тепловоза за рік, кВт·год/рік(МДж/рік)	Автономне прогрівання			Стационарне прогрівання		
						Вартість палива при використанні теплоти з використанням теплоти відпрацьованих газів, тис.грн/рік	Вартість палива при прогріванні від акумулятора теплоти, тис.грн/рік	Вартість газу при прогріванні від котельної депо, (Ц <sub>г</sub> = 2,72 грн/м <sup>3</sup> ) тис. грн/рік	Економ. ефект, тис. грн/рік	Економ. ефект, тис. грн/рік	Економ. ефект, тис. грн/рік
ТГМ4	6	3,9	29,993	26,12	16978	Економ. ефект, тис. грн/рік	0,000	Економ. ефект, тис. грн/рік	6,597	Економ. ефект, тис. грн/рік	10,638
				94,03		29,993	Економ. ефект, тис. грн/рік	23,396	Економ. ефект, тис. грн/рік	19,355	
ТГМ6	7	4,55	34,993	30,473	19807	Економ. ефект, тис. грн/рік	0,000	Економ. ефект, тис. грн/рік	7,697	Економ. ефект, тис. грн/рік	12,411
				109,703		34,993	Економ. ефект, тис. грн/рік	27,296	Економ. ефект, тис. грн/рік	22,581	
ТЭМ2	9,8	6,37	48,990	42,66	27730	Економ. ефект, тис. грн/рік	0,000	Економ. ефект, тис. грн/рік	10,775	Економ. ефект, тис. грн/рік	17,376
				153,58		48,990	Економ. ефект, тис. грн/рік	38,214	Економ. ефект, тис. грн/рік	31,614	
ТЭМ2М	10	6,5	49,989	43,333	28296	Економ. ефект, тис. грн/рік	0,000	Економ. ефект, тис. грн/рік	10,995	Економ. ефект, тис. грн/рік	17,731
				156,719		49,989	Економ. ефект, тис. грн/рік	38,994	Економ. ефект, тис. грн/рік	32,259	
2М62	25	16,25	124,973	108,83	70741	Економ. ефект, тис. грн/рік	0,000	Економ. ефект, тис. грн/рік	27,488	Економ. ефект, тис. грн/рік	44,326
				391,8		124,973	Економ. ефект, тис. грн/рік	97,485	Економ. ефект, тис. грн/рік	80,647	
2ТЭ116	20	13,1406	101,051	88	57200	Економ. ефект, тис. грн/рік	0,000	Економ. ефект, тис. грн/рік	22,226	Економ. ефект, тис. грн/рік	35,842
				316,8		101,051	Економ. ефект, тис. грн/рік	78,825	Економ. ефект, тис. грн/рік	65,210	

0032.150176.000.03МР.ПЗ

Арк.

25

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

порожнини, виготовлені з тонкого мідного листа. Пакет капсул зібраний у єдину матрицю. Розташування матриць може бути виконане за стільниковою схемою. У зазори, що утворилися, вкладаються турбулізатори.

Тобто акумулятор теплоти – це пристрій, який заряджається теплотою за час роботи двигуна під навантаженням при виконанні тепловозом будь-яких маневрових або інших робіт. За час відстою тепловозу в «гарячому» резерві накопичена акумулятором теплота витрачається на прогрів. Тому, якщо не враховувати витрати роботи водяного насосу на циркуляцію води в системі охолодження (а вони були передбачені в попередніх розрахунках), тоді ціна 1 МДж теплоти, яка пішла на прогрів тепловозів, буде дорівнювати нулю, тобто  $C_{МДж} = 0$ . Також можна додати, що з усіх запропонованих методів прогрів від котельної депо та прогрів від акумулятора теплоти є більш економічно ефективними. Але слід зауважити, що окремо кожен з цих методів не дуже ефективний і у більшості випадків не підходить із-за конструктивних особливостей тепловозів. Тому доцільно використовувати комбіновані системи прогріву, що реалізують якусь сукупність способів з наведених вище. Тому наведені вище розрахунки не є остаточними і підлягають подальшому аналізу та перерахунку.

### **2.3 Огляд існуючих систем прогріву тепловозних силових енергетичних установок**

Прогрів тепловозних дизелів в умовах низьких температур зовнішнього повітря під час стоянки тепловозів, як відомо, потрібен для підтримки температури води, масла й палива на рівні, що забезпечує постійну готовність дизеля до виконання перевізної роботи. Значне зниження цієї температури може викликати при пуску дизеля температурні деформації, загустіння мастила та, як наслідок, різке збільшення опору й перевищення встановленого тиску в масляних і паливних трубопроводах. Пуск переохолодженого дизеля може призвести до появи тріщин у блоці й інших вузлах, порушенню щільності з'єднань у системі

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

оохолодження та інших негативних явищ.

Наприклад, переохолодження паливної системи приводить до появи в ній парафіністих відкладень, що засмічують фільтри, з наступним виходом системи з ладу. Переохолодження циліндрових втулок може небезпечно зменшити зазори між поршнем і втулкою, привести до конденсації водяної пари на внутрішній поверхні втулки й до утворення сірчаної кислоти, що підсилює корозію. Все це знижує моторесурс дизеля, надійність роботи трубопроводів і холодильника, збільшує витрату палива. Крім того, при низьких температурах зовнішнього повітря прогрів є ефективним засобом забезпечення надійної герметичності безлічі ущільнюючих елементів у системі охолодження дизеля.

Для усунення перерахованих вище негативних явищ, пов'язаних з холодним пуском дизеля, вже на перших вітчизняних тепловозах встановлювали спеціальні системи прогріву дизелів – в основному на базі водогрійних котлів, що працюють на рідкому паливі. Однак через складність обслуговування, недостатньої надійності й низкою ефективності водогрійних котлів, що застосовувалися, від таких систем прогріву незабаром відмовилися. Значний ріст цін на дизельне паливо змусив через десятиліття повернутися до створення тепловозних систем прогріву, але на більше високому технічному рівні.

Нижче наведений опис різних систем прогріву тепловозів, а також їхнє техніко-економічне порівняння.

Всі існуючі й перспективні системи прогріву можна розділити на бортові (рис. 2.2) та стаціонарні (рис. 2.3). Бортові монтуються безпосередньо на одній або декількох секціях тепловоза і є автономними у порівнянні з системами прогріву від стаціонарних джерел енергії, що безсумнівно є їхньою перевагою. Стаціонарні системи потребують досить потужних котельних установок або електричних підстанцій, які можуть забезпечити прогрів силових установок одночасно декількох тепловозів. Їхніми недоліками є необхідність виділення спеціальних колій відстою тепловозів, будівництво теплопідготовлюючих пунктів, роздавальних колонок та ін. Більшість існуючих локомотивних депо

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



стиснуті територіально, і реалізація такого роду проектів для них неможлива. До переваги стаціонарних систем прогріву варто віднести можливість прогріву одночасно декількох тепловозів.

На теперішній час існують наступні способи прогріву тепловозів:

- прогрів тривалою роботою дизеля в режимі холостого ходу;
- прогрів повторно-короткочасною роботою дизеля в режимі холостого ходу;
- прогрів водяної системи вбудованими електронагрівачами з живленням від власного дизель-генератора;
- прогрів водяної системи вбудованими електронагрівачами з живленням від зовнішньої мережі електропостачання;
- використання водяної системи дизеля з акумулятором тепла;
- прогрів систем дизеля шляхом прокручування дизель-генераторної установки від стороннього джерела електроенергії;
- прогрів водяної системи гарячою водою від стороннього нагрівача;
- застосування рідинних котлів підігріву тепловозних дизелів.

Прогрів водяної системи тепловоза при безперервній роботі дизеля в режимі холостого ходу є найпоширенішим. При цьому способі прогріву тепловозний дизель безупинно працює в режимі холостого ходу протягом усього періоду простою. Його перевага полягає в автономності й простоті організації прогріву, недолік – у підвищеній витраті палива практично при всіх, особливо помірних, значеннях температури навколишнього повітря. При годинній витраті палива в режимі холостого ходу на тепловозі ЧМЭЗ 14,2 кг/год теплота згорання палива в секунду становить 121 кДж. З вихлопними газами втрачається теплова енергія потужністю 65 кДж. Інша частина, яка дорівнює 56 кДж, іде на обігрів водяної системи та машинного відділення.

Розрахунком, підтвердженим дослідями, встановлено, що при температурі зовнішнього повітря  $-10^{\circ}\text{C}$  середня теплова потужність, необхідна для підтримки регламентованої температури води, становить 11,2 кДж. Отже, у цьому випадку

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

зпалюється в п'ять разів більше дизельного палива, ніж це потрібно за умов підтримки необхідного теплового стану енергоустановки. При більш високій температурі зовнішнього повітря перевитрата палива на обігрів водяної системи буде ще більшою.

У випадку прогріву водяної системи повторно-короткочасною роботою дизеля в режимі холостого ходу, прогрів дизеля здійснюється за рахунок циклічного чергування його роботи та простою. Тривалість роботи й простою дизеля залежать від температури навколишнього повітря. Так при температурі повітря  $+6...+15^{\circ}\text{C}$  тривалість роботи дизеля становить одну годину, простій 11 годин; при температурі повітря  $-11...-15^{\circ}\text{C}$  тривалість роботи дизеля становить дві години, простій дві години; при температурі навколишнього повітря  $-16^{\circ}\text{C}$  і нижче дизель працює безупинно. При прогріві водяної системи в повторнокороткочасному режимі роботи дизеля в режимі холостого ходу зберігаються переваги першого способу та ліквідується його основний недолік надлишкова витрата палива. При температурі навколишнього повітря  $-10^{\circ}\text{C}$  прогрів водяної системи з  $+40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  досягається за дві години роботи дизеля, а охолодження під час паузи в роботі дизеля на ті ж  $40^{\circ}\text{C}$  контрольованого елемента водяної системи відбувається за чотири години. Відносна тривалість включення дизеля в роботу, тобто відношення часу роботи до тривалості циклу становить 66%. Годинна витрата палива на прогрів водяної системи при температурі зовнішнього повітря  $-10^{\circ}\text{C}$  скорочується з 14 кг/год до 4,8 кг/год. Середня за час циклу теплова потужність становить 18,4 кДж, тобто досягається досить задовільна відповідність витрати палива, необхідного для підтримки регламентованого теплового стану водяної системи. При цьому коефіцієнт корисної дії системи становить 46,2 %.

Істотним недоліком даного способу прогріву тепловозного дизеля є необхідність багаторазових пусків дизеля, що призводить до підвищеного зношування поверхонь тертя та значного скорочення строку служби акумуляторної батареї.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Прогрів водяної системи вбудованими електронагрівачами з живленням від власного дизель-генератора по простоті, автономності та енерговитратам є найбільш прийнятним, тому що він легко сполучається з прогрівом від стороннього джерела електроживлення. На рис. 2.4 наведена схема системи електропрогріву води, масла та наддувочного повітря від тягового генератора.

Дизель запускається при остиганні теплоносіїв (масла та води системи охолодження) до найменшого значення. Регулювальний клапан водяної системи 12 відкриває отвори, що з'єднують між собою трубопроводи 6 та 13, і перекриває отвір на трубопроводі 7. Зазначене положення клапана 12 забезпечує рух води по малому колу циркуляції, а саме: водяний насос 2, водяна сорочка циліндрів дизеля 20, трубопровід 6, регулювальний клапан 12, трубопровід 13, ємність водонагрівача 5. У ємності 5 вода обмиває елементи електронагрівача 14 і водомасляний теплообмінник, потім через трубопровід 3 надходить у водяний насос 2.

Відразу ж після пуску дизеля від тягового генератора 19 по кабелям 18 електроенергія подається на електронагрівач 14, який нагріває воду, що проходить через ємність водонагрівача 5. При цьому частина тепла від нагрітої води віддається на нагрівання масла у водомасляному теплообміннику. При досягненні температури води в малому контурі циркуляції найбільшого значення, клапан 12 закриває на певну величину отвір трубопроводу 6 і відкриває на таку ж величину отвір трубопроводу 7. Це дозволяє паралельно малому контуру циркуляції води підключити в роботу іншу частину водяної системи, а саме: дизель 20, трубопровід, секцію холодильника 8, трубопровід 7. Таким чином, через клапан 12 водонагрівача 5 вода стане надходити не тільки з малого контуру циркуляції, але і з секції холодильника 8, що має значний запас остиглої води. Величина відкриття отвору трубопроводу 7 клапаном 12, а отже, і кількість холодної води, що надходить із секції холодильника 8, регулюється залежно від оптимальної температури води, що надходить у сорочки циліндрів дизеля 20. Після прогріву води у всій водяній системі до найбільшого значення, подача

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

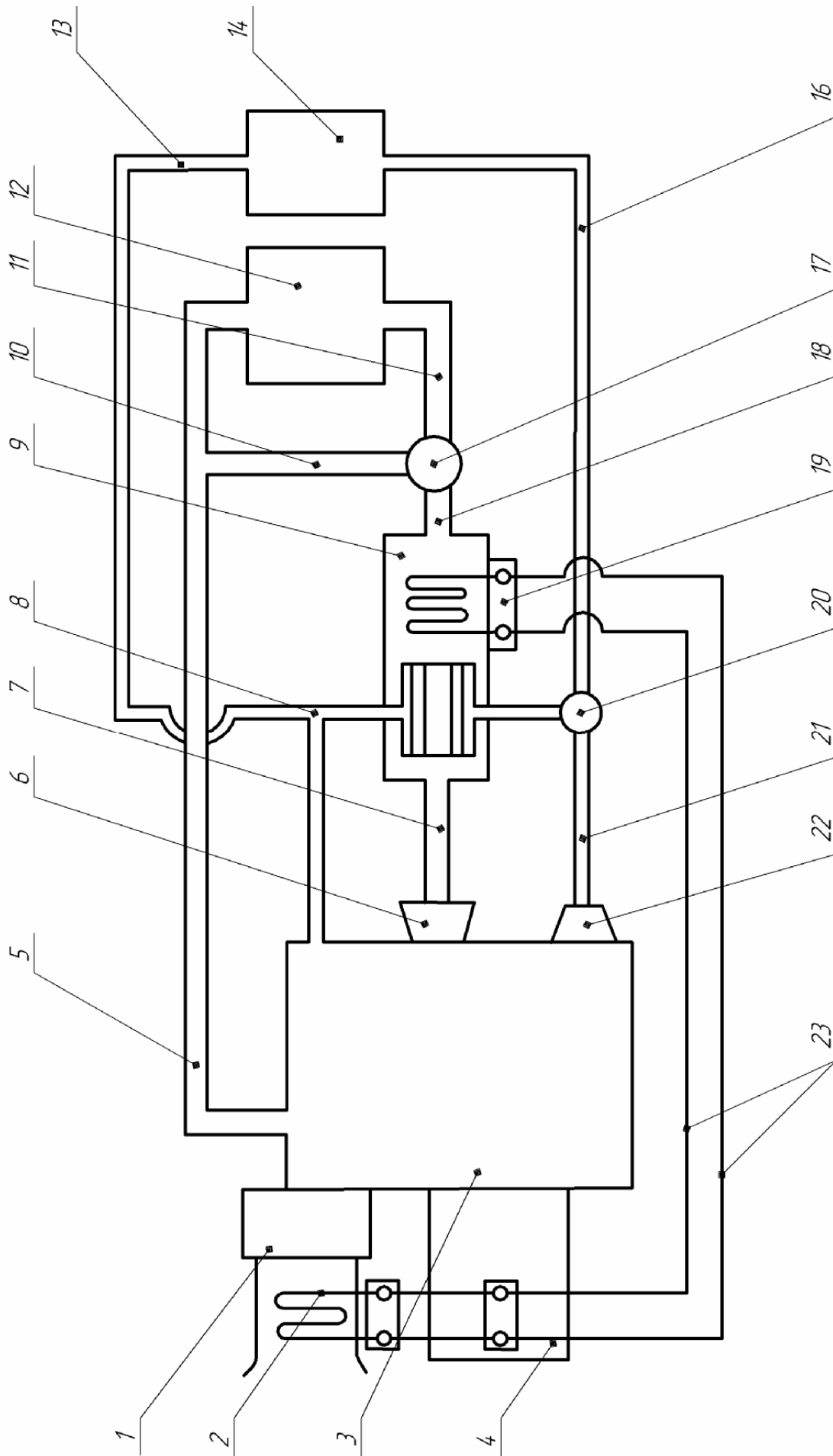


Рисунок 2.3 – Схема системи електропідігріву від власного генератора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.150176.000.03MP.ПЗ

Арк.

32

електроенергії до електронагрівача 14 припиняється, а клапан 12 у цей час повністю закриває трубопровід 6 і відкриває трубопровід 7. Таким чином, забезпечується можливість руху води при звичайній роботі дизеля по великому контуру циркуляції через секцію холодильника 8 та трубопровід 7. Після закінчення прогріву дизель зупиняється. Масло прогрівається гарячою водою у водомасляному теплообміннику. Після пуску дизеля та вмикання електронагрівачів через регульовальний клапан масляної системи масло циркулює по малому контуру, а саме: масляний насос, трубопровід 16, клапан, трубопровід 15, водомасляний теплообмінник, трубопроводи 3 та 4, масляна система дизеля 20. Після нагрівання масла гарячою водою в малому контурі циркуляції клапан 15 на деяку величину закриває трубопровід і на таку ж величину відкриває трубопровід 11. Таким чином, у роботу підключається інша частина масляної системи і її великий контур циркуляції з трубопроводом 11, секцією холодильника 10, трубопроводом 9 за аналогією з описаною вище роботою водяної системи. Наддувочне повітря підігрівається електронагрівачем 21, встановленим у повітропроводі перед турбокомпресором 22. Запропонована система дозволить замість неекономічного використання малої частки теплоти згоряння палива при прогріві в режимі холостого ходу застосувати електроенергію для прогріву води в системі дизеля та наддувочного повітря. При цьому дизель працює в режимі номінального навантаження. Це допоможе прискорити прогрів дизеля до оптимальних температур, підвищити надійність його роботи та зменшити витрату палива.

Прогрів водяної системи вбудованими електронагрівачами потужністю 16 кВт з живленням від власного дизель-генератора, коефіцієнт корисної дії якого в цьому режимі становить 21%, вимагає витрат первинної теплової енергії 197 кДж. До водяної системи передається повна тепла енергія 84 кДж, а коефіцієнт корисної дії системи при цьому знижується до 42,7%. Такий результат, на перший погляд, здається несподіваним, оскільки час, необхідний для прогріву водяної системи, зменшується в порівнянні з прогрівом водяної системи при

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

повторно-короткочасному режимі роботи дизеля в режимі холостого ходу з двох годин до до однієї, а час охолодження контрольованого елемента залишається незмінним. Однак середня за цикл потужність, яка передається до водяної системи, зберігає своє значення 18,2 кДж, а коефіцієнт корисної дії системи знижується через дворазове перетворення енергії.

Прогрів водяної системи вбудованими електронагрівачами з живленням від зовнішньої мережі електропостачання. Живлення передбачається від зовнішньої енергомережі напругою 380/220 В. Система прогріву складається з електричного котла-підігрівача, насосів для прокачування води, масла і палива при непрацюючому дизелі, апаратури керування, сигналізації та захисту. Паливо прокачується типовим електронасосом, а вода та масло - додатковими насосами малої продуктивності з приводом від електродвигунів змінного струму. Схема системи електропрогріву тепловозного дизеля з живленням від стороннього джерела електроенергії приведена на рисунку 2.3.

Електронагрівальні елементи котла-підігрівача 5 через електричний роз'єм на стінці кузова 3 тепловоза та контактор 2 електророзподільного щита підключається до промислової мережі електропостачання 1. Охолоджуюча рідина примусово прокачується водяним насосом малої продуктивності 8, електродвигун якого живиться від стороннього джерела електроенергії. Вода, після проходження через дизель 4, підігрівається у електричному котлі 5, протікає через секції холодильника 6 та повертається у дизель.

Результати випробувань показують, що при непрацюючому дизелі та температурі навколишнього повітря  $-8^{\circ}\dots-12^{\circ}\text{C}$  забезпечується стійкий прогрів води й масла. З трохи меншою інтенсивністю прогрівається паливо, що пояснюється наявністю великої кількості холодного палива в паливному баці.

Введення на тепловозах електричної системи прогріву не вносить ніяких істотних труднощів при експлуатації та обслуговуванні цих локомотивів. Застосовані вузли і агрегати прості й надійні і не вимагають створення в депо спеціалізованих ділянок, стендів і пристроїв. Їхнє обслуговування та ремонт

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

вкладаються у встановлений термін ТО і ПР.

При прогріві водяної системи електронагрівачами потужністю 24 кВт, що одержують живлення від трифазної мережі, час прогріву водяної системи на 40°C різко зростає, досягаючи трьох годин при температурі зовнішнього повітря -10°C. При цьому зберігаються регламентовані вимоги до теплового стану енергоустановки. Відносна тривалість роботи нагрівачів дорівнює 0,761, а середня теплова енергія, що виділяється у водяну систему, дорівнює 18,2 кДж. При аналізі показників цієї системи за енергетичним критерієм варто врахувати, що коефіцієнт корисної дії енергетичної галузі в цілому становить 32%. Втрати в лініях електропередачі й мережах підприємств, а також витрати енергії на живлення приводу водяних насосів додатково знижують цей коефіцієнт корисної дії до 27%. Звідси можна зробити висновок, що за енергетичним критерієм живлення електроенергією вбудованих нагрівачів від власного дизель-генератора економічніше в 1,5 рази.

Водяна система тепловозного дизеля з акумулятором теплоти. Значний інтерес представляє можливість зниження часу роботи дизеля в режимі холостого ходу для прогріву за рахунок утилізації й акумулювання частини тепла, що відводиться від дизеля під час його роботи під навантаженням при веденні поїзда, і повернення цього тепла на прогрів під час тривалих стоянок тепловоза. В якості такого акумулятора може виступати водяна система дизеля зі значно більшою масою охолоджуючої рідини. При роботі дизеля в зимовий час під навантаженням температура води в акумуляторі повинна підтримуватися на найвищому рівні постійним автоматичним поповненням більше гарячою водою. При стоянках тепловоза накопичене тепло може бути повернуте в систему охолодження дизеля примусовою циркуляцією води через акумулятор тепла. Акумулятор тепла треба надійно ізолювати від впливу холодного повітря. В якості теплоізоляції можна використати металеву оболонку. Простір між акумулятором й оболонкою може бути заповнено дизельним маслом, що одночасно буде масляним акумулятором тепла і ,деякою мірою, тепловим ізолятором, тому що коефіцієнт

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35



відкриваються й частина охолоджувальної води по трубопроводу 5 потрапляє в акумулятор тепла 7, де поступово підвищується температура охолоджуючої рідини до рівня робочих температур системи охолодження. При необхідності пропуску всієї води тільки через акумулятор може бути закритий кран 13. Після зупинки дизеля крани 1 та 13 закриваються, а крани 6 та 11 залишаються відкритими. Через те, що найбільш швидко буде остигати радіатор 2, то рідина, що перебуває в ньому, буде опускатися через кран 6 в акумулятор тепла 7, а більш тепла рідина, що перебуває в акумуляторі, через кран 11 й ізольований трубопровід буде підніматися в дизель, внаслідок чого в системі охолодження встановиться природна циркуляція рідини в напрямку, зазначеному стрілками. Циркуляція води буде підтримувати дизель у прогрітому стані. Циркуляцію води можна також забезпечити за допомогою спеціального водяного насоса з електроприводом, що на схемі не показаний. Прокачування забезпечує істотне вирівнювання температур й уповільнення темпу їх зниження. Тому установка додаткового, насоса, достатньо виправдана й окупить додаткові витрати енергії. Якщо виникне потреба акумулятор тепла 7 може бути відключений від системи охолодження закриттям кранів 11, 1 та 6.

Простір 9 між стінкою акумулятора та оболонкою заповнено дизельним маслом. При роботі дизеля частина гарячого масла надходить в акумулятор і поступово поповнює запас тепла. Принцип роботи масляного акумулятора аналогічний роботі водяного акумулятора. Постійне поповнення акумулятора більш гарячою водою й маслом може бути автоматизовано установкою відповідних терморегуляторів. Підігріте масло в акумуляторі тепла може бути використане для прокачування системи перед пуском.

При тривалих стоянках тепловоза в депо або пункті обороту через теплообмінник можна пропускати гарячу воду або пару від стаціонарної котельні для прогріву води й масла в акумуляторі.

Прогрів систем дизеля шляхом прокручування дизель-генераторної установки від стороннього джерела електроенергії. Сутність способу полягає в

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

тому, що дизель-генераторна установка прокручується від працюючої дизель-генераторної установки або стаціонарного джерела електроенергії.

При прокручуванні дизель-генераторної установки від стороннього джерела прогрів систем буде забезпечуватися не тільки за рахунок потужності механічних втрат, але й за рахунок тепловіддачі в процесі циклів стиску - розширення повітря в циліндрах дизеля.

Загальні особливості підключення тягових генераторів і переведення тепловоза в режим прогріву полягають у тому, що за допомогою додаткових кабелів з'єднують однойменні полярності, забезпечують за штатною схемою збудження генератора дизеля, який прокручується, й тільки після подачі електроенергії відключають паливні насоси високого тиску. З цього моменту тягові генератори на тепловозах з відключеними паливними насосами високого тиску автоматично переходять у режим електродвигунів постійного струму й тим самим забезпечується прокручування дизелів від електроенергії працюючої дизель-генераторної установки або промислової електромережі.

Режим прокручування непрацюючих дизелів варто корегувати залежно від температури навколишнього повітря, для чого на тепловозі з працюючої дизель-генераторною установкою контролером машиніста змінюють частоту обертання колінчатого вала дизеля. Цим досягається зміна обертів колінчатих валів дизелів, які прокручуються, що відзначається на потужності механічних втрат дизелів і допоміжного устаткування. Таким чином корегується ступінь тепловідводу в системи дизеля й тим самим досягається їхній прогрів у припустимих рівнях при різних умовах навколишнього середовища.

Прогрів палива та підзарядка акумуляторної батареї забезпечуються за штатними схемами, тобто паливо підігрівається за рахунок прокачування його через водопаливний теплообмінник, а підзарядка акумуляторної батареї – від ланцюга допоміжного генератора. Для сповіщення про зниження температури води нижче припустимого рівня в системах непрацюючих дизелів передбачається установка температурних реле і звукових зумерів.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Використання дизель-генераторної установка як стороннього джерела електроенергії рекомендується тільки в тих депо, де виключається або обмежене використання електроенергії від промислової мережі. Найбільша ефективність прогріву систем дизелів шляхом їхнього прокручування досягається при використанні електроенергії від промислової мережі.

Застосування рідинних котлів підігріву тепловозних дизелів. На залізницях є деякий досвід використання рідинних котлів прогріву як опалювальних установок, призначених для підтримки дизеля в стані експлуатаційної готовності під час тривалих стоянок тепловозів.

На рис. 2.6 представлена схема рідинного котла прогріву, включеного в контур циркуляції теплоносіїв системи охолодження дизеля. У камеру згоряння 2 через форсунку 6 паливним насосом 3 подається паливо. Повітря для згоряння подається повітрядувкою 7. Водяной насос 8 прокачує воду по системах охолодження тепловозного дизеля 5, де вода віддає свою теплоту. Далі вода надходить у сорочку охолодження камери згоряння й, нагріваючись, надходить в економайзер 1, де нагрівається газами, що виходять із камери згоряння. Різні типи котлів відрізняються лише конструктивним виконанням.

Прогрів систем тепловоза рідинним котлом прогріву здійснюється циклічно. При цьому температурні рівні теплоносіїв нижче, ніж при прогріві роботою дизеля в режимі холостого ходу. Це пояснюється малою потужністю котлів у порівнянні з потужністю дизеля. Час роботи котла обмежено ємністю та технічним станом акумуляторних батарей тепловоза, тому що привод прокачуючих насосів 9 здійснюється електродвигунами з живленням від акумуляторних батарей тепловоза, надійність яких значно погіршується при зниженні температури зовнішнього повітря. Це скорочує тривалість роботи котла прогріву.

Низькі температурні рівні теплоносіїв обумовлюють невелику тривалість циклу  $\tau_{\text{Ц}}$  і, як наслідок, збільшення кількості запусків котла. З іншого боку, підвищується коефіцієнт ефективності циклу прогріву за рахунок зменшення

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

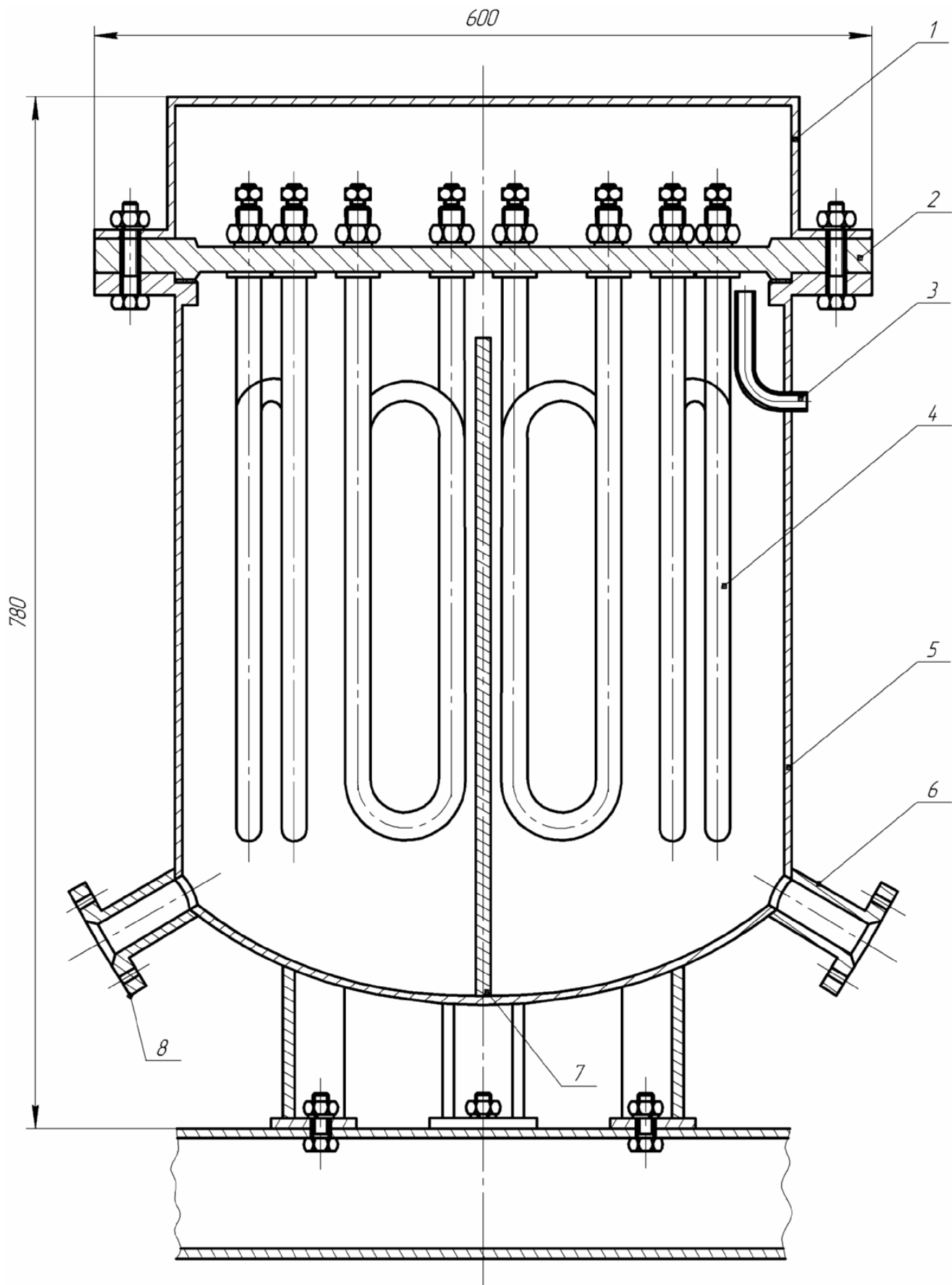


Рисунок 2.5 – Електричний котел-підігрівач

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

додаткової енергії на прогрів.

Аналіз результатів експериментального дослідження системи прогріву тепловоза ТЭ109 з котлом підігріву ПЖД-600 показав, що коефіцієнт ефективності циклу прогріву рідинним котлом може досягати 0,5-0,7. При цьому коефіцієнт корисної дії самого котла  $\eta_K = 0,7$ . Отже, коефіцієнт ефективності прогріву розглянутої системи може досягати 0,35-0,5 і вище.

Таким чином, застосування котлів прогріву на тепловозах дозволяє значно скоротити витрата палива на прогрів майже в 2 рази з одночасним збереженням моторесурсу дизеля. Однак той факт, що для підвищення коефіцієнта ефективності циклу необхідно збільшувати кількість запусків котла прогріву, практично зводить на нівець всі його переваги. Тривала експлуатація розглянутих систем на тепловозах ТЭЗ і ТЭП60 підтвердила це.

Переваги рідинних котлів для прогріву тепловозних силових установок змушує шукати автономні джерела електроенергії для живлення допоміжного устаткування системи (водяного, масляного й паливного насосів), що не залежать від роботи дизель-генератора тепловоза або акумуляторних батарей.

Для цієї мети можна розглядати можливість використання допоміжного двигуна внутрішнього згорання.

Як у нашій країні, так і за кордоном ведуться роботи зі створення рідинного котла прогріву, у якому електроенергія для власних потреб виробляється термоелементами, встановленими на поверхні камери згорання й економайзера. З їхньою допомогою енергія випускних газів повинна перетворювати в електроенергію для живлення системи котла прогріву. Однак треба враховувати, що термоелементи володіють відносно низьким коефіцієнтом корисної дії. Тому для одержання необхідної потужності потрібна велика кількість термоелементів, що збільшує габарити пристрою та знижує його надійність. Варто також зазначити, що вартість термоелементів дуже висока.

Також можна одержувати електроенергію для живлення допоміжного устаткування котла підігріву шляхом перетворення енергії випускних газів котла

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

в електричну за допомогою турбокомпресора, механічно пов'язаного з електрогенератором.

Запропонований котел прогріву має автономний газотурбінний привод допоміжних агрегатів. Принцип дії пристрою полягає в тому, що енергія випускних газів, які виходять з камери згоряння котла, перетворюється в механічну енергію за допомогою радіально-осьової турбіни малогабаритного турбокомпресора. При цьому потужність турбіни витрачається на привод компресора, що подає стиснене повітря в камеру згоряння, та, через редуктор, на привод електрогенератора, що виробляє електроенергію для живлення допоміжного устаткування.

Застосування працюючого на такому принципі котла прогріву дозволяє, крім рішення завдання по забезпеченню електроенергією допоміжного устаткування, значно інтенсифікувати процес горіння палива, збільшити коефіцієнт корисної дії за рахунок наддуву камери згоряння.

Прогрів водяної системи гарячою водою від стороннього нагрівача.

Основним елементом системи є теплопідготовлювальний пункт, в якому розташовані пароводяні теплообмінники, водяні циркуляційні насоси і конденсаційні насоси. Від теплопідготовлювальний пункт до колій відстою тепловозів прокладається теплотраса. На коліях відстою обладнані роздаточні колонки, до яких під'єднуються системи охолодження тепловозів. Пара з котельної депо поступає в теплопідготовчий пункт, де вона нагріває воду в пароводяному теплообміннику, яка циркулює по системах тепловозів. Прогрів масла дизеля в тепловозах з водомасляним теплообмінником здійснюється періодичним його прокачуванням.

У разі прогрівання тепловозів без водомасляних теплообмінників система стаціонарного прогрівання повинна бути обладнана додатковими водомасляними теплообмінниками.

Сучасні котельні депо обладнані котлами з наддувом, що мають коефіцієнт корисної дії 0,8-0,85. Якщо втрати теплоти на шляху від котельної до

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

теплопідготовчого пункту і далі до тепловозів не перевищують 10%, то коефіцієнт ефективності нагріву  $\eta_H$  системи буде дорівнювати 0,70-0,75. Коефіцієнт ефективності циклу при цьому рівний одиниці, оскільки температури теплоносіїв в системах тепловозів безперервно підтримуються на мінімально необхідному рівні. Як показав аналіз, застосування стаціонарних систем прогрівання дизелів тепловозів дозволяє скоротити витрату енергії на прогрів в 2-3 рази. При цьому повністю виключається використання світлих нафтопродуктів.

До недоліків даної системи відноситься зниження якості охолоджуючої води, необхідність виділення спеціальних колій відстою тепловозів, будівництво теплопідготовчих пунктів і теплотрас. Більшість існуючих локомотивних депо обмежені територіально і реалізація таких проектів в них неможлива. Окрім цього, в умовах суворої зими втрати тепла на трасі від котельної до тепловоза значно зростають.

З усіх існуючих систем прогріву тепловозів в умовах локомотивного депо Херсон найбільш доцільною є система прогріву тепловозних систем за допомогою вбудованих електроводонагрівачів з живленням від промислової мережі електропостачання. Це не вимагає масштабного будівництва для обладнання пункту прогріву тепловозів та не передбачає внесення серйозних змін до системи охолодження тепловоза. В той же час використання цієї системи дозволяє економити паливно-енергетичні ресурси.

## **2.4 Складання математичної моделі для визначення параметрів теплового балансу системи електричного прогріву маневрових тепловозів**

Математична модель – це наближений опис довільного класу явищ зовнішнього світу, поданий за допомогою математичної символіки. Математичне моделювання виступає як метод пізнання зовнішнього світу, а також прогнозування і управління. Аналіз математичних моделей дозволяє проникнути в сутність досліджуваних явищ.

Математичне моделювання проходить такі етапи:

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

– постановка задачі, тобто прийняття рішення про необхідність моделювання і його мету. На цьому етапі слід чітко визначити і сформулювати мету досліджень. З мети досліджень випливатиме сукупність властивостей об'єкта моделювання, які підлягатимуть відбиттю у моделі;

– побудова математичної моделі;  
– дослідження системи на моделі, прогнозування й управління оригіналом за результатами цих досліджень.

Моделювання зводиться до дослідження властивостей певного об'єкта вивченням (дослідженням, аналізом) аналогічних властивостей іншого об'єкта, більш зручного для дослідження, який знаходиться з першим у певній відповідності. Перший об'єкт називається в цьому випадку *оригіналом*, а другий – *моделлю*. Як модель, так і оригінал можуть бути матеріальними тілами чи фізичними явищами, або описом цих тіл чи явищ за допомогою тих чи інших засобів. В ролі оригіналу може виступати, наприклад, певна проблема, моделлю якої буде задача меншого рівня складності. Скажімо, так звана *обчислювальна* модель є абстрактною чи конкретною задачею, яка відповідає проблемі чисельного розв'язання певного класу математичних чи прикладних задач. Якщо при переході від оригіналу до моделі використовується заміна оригіналу на матеріальне тіло чи явище, то така модель називається *фізичною*; якщо ж оригінал замінюється його описом, то модель може бути *вербальною*, *математичною* або *графічною*, залежно від використовуваних при описі символів. Реалізована у вигляді макета чи пристрою, чи зафіксована у вигляді словесного опису, рівняння, формули, графіка, креслення, модель є системою наших уявлень про оригінал, його властивості і взаємозв'язки на певному етапі пізнання оригіналу. Вибір об'єктів і методів моделювання визначається поставленою задачею [ ].

До основних характеристик математичних моделей (ММ) належать: ступінь універсальності моделі; точність моделі; адекватність моделі; економічність моделі.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

*Ступінь універсальності ММ* характеризує повноту відображення у моделі властивостей реального об'єкта; кількісно ступінь універсальності може бути описаний співвідношенням потужності множини відображених властивостей до множини наявних властивостей системи.

*Точність математичної моделі* оцінюється за збіжністю значень параметрів реального об'єкта і значень тих же параметрів, отриманих за допомогою побудованої моделі; при цьому ступінь збіжності розраховують через відхилення цих параметрів.

Економічність математичної моделі характеризується витратами обчислювальних ресурсів на її реалізацію. Чим вони менші, тим модель економічніша. Останнім часом, для характеристики економічності моделі застосовують так звані комбіновані параметри: середня кількість операцій, яка виконується під час одного звертання до моделі, розмірність системи рівнянь, кількість внутрішніх параметрів моделі тощо. *Адекватність ММ* – це її здатність відображати задані властивості об'єкта з похибкою, не більше заданої. При цьому адекватність моделі переважно спостерігається виключно в обмеженій області зміни зовнішніх параметрів, яка називається областю адекватності (ОА) математичної моделі. Подібність моделі та оригіналу є невід'ємною умовою адекватності моделювання.

За ступенем відповідності параметрів моделі і оригіналу розрізняють подібності абсолютну і практичну (неабсолютну). Остання, в свою чергу, буває повною, неповною і наближеною. За адекватністю фізичної природи аналогічних явищ подібність поділяють на *математичну* і *фізичну* (електричну, механічну, теплову тощо). *Фізична подібність* досягається за однакової фізичної природи явищ, *математична* – за відповідності схожих параметрів процесів різної фізичної природи. І перша, і друга подібності можуть бути повною, неповною і наближеною [ ].

При абсолютній подібності оригінал і модель структурно та фізично подібні; вони відрізняються лише значеннями параметрів, що характеризують

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

елементи і зв'язки між ними. Процеси у моделі і оригіналі в цілому, так само як стани окремих елементів, описуються однаковими функціональними залежностями, що пропорційно відрізняються лише значеннями аргументів. Відтворення процесу на моделі здійснюється без жодних спотворень щодо оригіналу і відрізняється від нього лише масштабом.

Слід підкреслити, що якщо з абсолютної фізичної подібності процесів випливає реальна або потенційна ідентичність математичних співвідношень, що їх описують, то зворотне ствердження у загальному випадку неправильне: ідентичність форм запису математичних рівнянь ще не означає подібності процесів, оскільки характер перебігу процесу визначається не лише видом функціональної залежності між змінними, що беруть в них участь, але і співвідношенням їх конкретних значень.

Абсолютна подібність свідчить про тотожність явищ, яка є поняттям доволі абстрактним і реалізується на практиці виключно в геометричних побудовах та в окремих видах математичної подібності. В переважній більшості випадків розв'язання конкретних задач дослідник не має змоги працювати з явищами, схожими абсолютно у всіх деталях. Тому виникає потреба введення поняття *практичної подібності*, в межах якої розрізняють *повну*, *неповну* і *наближену* подібності.

*Повна подібність* – це подібність перебігу у часі та просторі тих процесів, які є суттєвими для цього дослідження і з достатньою повнотою характеризують досліджуване явище стосовно конкретної постановки задачі дослідження.

*Неповна подібність* – це подібність перебігу процесів лише в просторі чи лише в часі (наприклад, при подібності перебігу перехідних процесів у двох електричних лініях розподіл електричного поля може бути різним внаслідок різної геометрії дроту). *Наближена подібність* характеризується існуванням спрощених допущень, які дозволяють вважати подібними відмінні процеси за рахунок свідомих спотворень деяких їх властивостей. Наближена подібність може бути і повною, і неповною. Так, наближеною можна вважати подібність двох

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

генераторів, виявлену на основі їх спрощених рівнянь, що не враховують аперіодичну складову струму статора і періодичну складову струму ротора.

Стосовно фізичної природи розрізняють *фізичну* і *математичну* подібності. *Фізична подібність* передбачає однакову фізичну природу подібних явищ. За фізичної подібності механічним процесам у досліджуваній системі ставляться у відповідність механічні процеси у подібних їй системах, електричним – електричні тощо. Деколи виділяють *кінематичну* (подібність швидкостей і прискорень), *матеріальну* (подібність мас окремих елементів системи) і *динамічну* (подібність сил, що викликають рух) подібності. Системи, подібні кінематично, матеріально і динамічно, вважаються механічно подібними. *Електрична* подібність існує при подібності електричних і магнітних полів, напруг, струмів і потужностей окремих елементів. Аналогічно системи тіл, у яких подібні теплові потоки і температура мають *теплову* подібність тощо [ ].

Фізична подібність може встановлюватися не лише для фізичних явищ, що підпорядковуються детермінованим законам, а і для стохастичних процесів; в цих випадках говорять про статистичну подібність.

Побудову математичної моделі, тобто вивчення явища за допомогою математичної моделі, можна умовно розбити на 4 етапи (рис. 2.7): етап змістовного опису; етап формалізації опису; етап остаточної побудови моделі (ідентифікації параметрів і перевірки адекватності моделі); етап перегляду і вдосконалення моделі за результатами узагальнення емпірично накопичених даних [ ].

1 етап – це формулювання законів, що пов'язують між собою об'єкти моделі. На цьому етапі визначаються об'єкти моделі і накопичуються факти, що стосуються досліджуваних явищ і дозволяють виявити їх взаємозв'язки. Цей етап закінчується записом в математичних термінах сформульованих якісних уявлень про зв'язки між об'єктами моделі з визначенням граничних умов. Визначення об'єктів моделі і їх взаємозв'язків є вихідними положеннями гіпотетичної моделі, тому можна сказати, що на етапі змістовного опису формується аксіоматика моделі і синтезується її структура; остання може бути подана як описово-

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



модель критерію практики, чи узгоджуються результати спостережень з теоретичними наслідками моделі в межах точності спостережень тощо. Якщо модель була повністю визначена, тобто всі її параметри були задані, то виявлення відхилень теоретичних наслідків від результатів спостережень дає розв'язок прямої задачі з наступною оцінкою відхилень. Якщо відхилення виходять за межі точності спостережень, то модель не може бути прийнята і потребує корегування. Досить часто при побудові моделі деякі її характеристики лишаються невизначеними. Якщо математична модель є такою, що при жодному наборі характеристик ці умови неможливо задовольнити, то модель є непридатною для дослідження явищ, що розглядаються. Застосування критерію практики до оцінювання математичних моделей дозволяє робити висновок про правильність положень, що лежать в основі гіпотетичної моделі, яка підлягає вивченню. Цей метод є єдиною можливим для вивчення безпосередньо недоступних нам явищ макро- і мікросвіту.

4 етап – наступний аналіз моделі в процесі накопичення даних про досліджувані явища і модернізація моделі. В ході розвитку науки та техніки дані про об'єктивні явища уточнюються і доповнюються, і надходить момент, коли висновки, що отримуються на основі прийнятої моделі, не відповідають нашим знанням про явище. Таким чином, виникає потреба в побудові нової, більш досконалої моделі (рис. 2.8).

Метод математичного моделювання, який зводить дослідження явищ зовнішнього світу до математичних задач, посідає провідне місце серед інших методів досліджень, особливо завдяки наявності обчислювальної техніки. Він дозволяє проектувати нові технічні засоби, що працюють в оптимальних режимах, для розв'язання складних задач науки і техніки та передбачати нові явища. Математичні моделі зарекомендували себе важливим засобом управління. Вони застосовуються у різних галузях знань, стали необхідним апаратом економічного планування і важливим елементом автоматизованих систем управління [ ].

Отже, за допомогою математичної моделі визначаємо параметри теплового

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

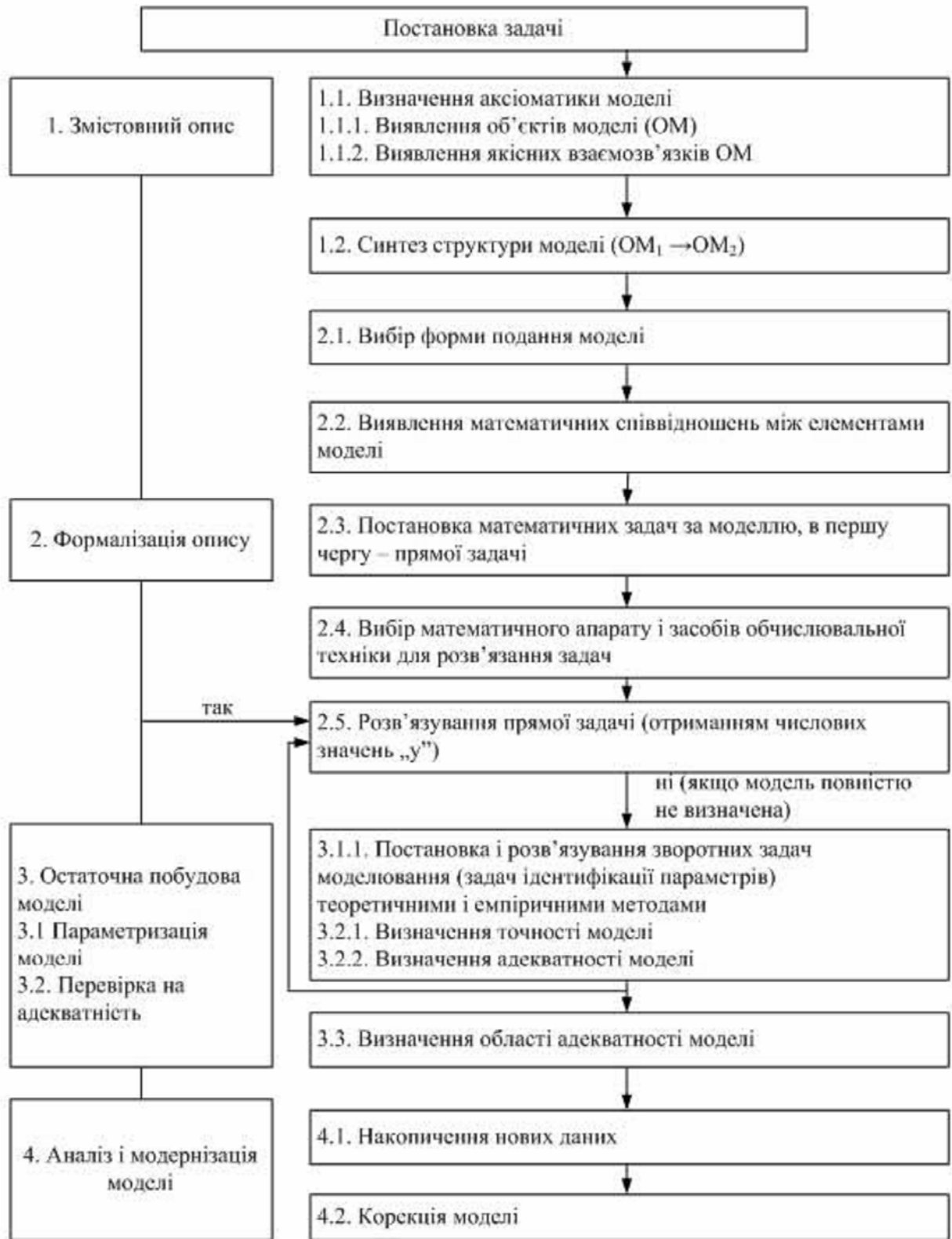


Рисунок 2.8 – Етапи побудови математичної моделі

балансу системи електричного прогріву маневрових тепловозів.

## 2.5 Розрахунок теплового балансу системи електричного прогріву маневрових тепловозів

В умовах локомотивних депо найбільш економічним способом прогріву тепловозів є електропрогрів з живленням від промислової мережі електропостачання напругою 380/220В.

Для прикладу розглянемо, що на відстої одночасно знаходяться чотири тепловози. Для їх прогріву при низьких температурах необхідно обладнати спеціальний пункт. Пункт електропрогріву тепловозів складається з чотирьох позицій відстою тепловозів, електророзподільного щита з пультом керування, та силових кабелів для живлення котлів-підігрівачів і електродвигунів водо-, масло- й паливопрокачуючих насосів.

Для підігріву води на тепловозі встановлюється електричний котел-підігрівач, який виготовлений зі сталі та має циліндричну форму. В днище сферичної форми вварені патрубки 6 і 8 для підводу та відводу води. Верхня частина корпусу котла перекривається сталевією плитою 2, у якій закріплене вісім трубчастих теплоелектронагрівачів 4 загальною потужністю 90 кВт. Вертикальною перегородкою 7 внутрішній об'єм котла, рівний 50 л, розділений на дві частини, що збільшує шлях води й підвищує ефективність її нагрівання.

В верхній частині бічної поверхні котла, поруч із кільцевим фланцем кріплення плити з нагрівачами, встановлена бонка з вигнутої трубкою для відведення повітря та пари.

Для ефективного прогріву дизеля та його систем при непрацюючому дизелі необхідно забезпечити примусове циркулювання води, масла та палива. Для цього на тепловозах необхідно встановити водо-, масло- та паливопрокачуючі агрегати з електроприводами, які живляться від зовнішньої мережі.

Для прокачування води в системі охолодження дизеля на тепловозі встановлюється відцентровий водяний насос продуктивністю 100 л/год з приводом від асинхронного електродвигуна змінного струму потужністю 10 кВт.

Для забезпечення циркулювання масла в масляній системі дизеля на

					0032.150176.000.03МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

тепловозі встановлюється шестерінчастий масляний насос продуктивністю 3700 л/год з приводом від асинхронного електродвигуна змінного струму потужністю 10 кВт.

Для прокачування палива в паливній системі дизеля на тепловозі встановлюється шестерінчастий паливний насос продуктивністю 2500 л/год з приводом від асинхронного електродвигуна змінного струму потужністю 10 кВт.

Розраховуємо сумарну енергію тепловиділення у воду, яка необхідна для підвищення температури дизеля на 40°C:

$$Q_v^{сум} = Q_v^{акум} + Q_m^{акум} + Q^{хол}, \quad (2.1)$$

де  $Q_v^{акум}$  – кількість теплової енергії, яка акумулюється водою системи охолодження, кДж;

$Q_m^{акум}$  – кількість теплової енергії, яка акумулюється масою металу системи охолодження, кДж;

$Q^{хол}$  – кількість теплової енергії, яка втрачається через секції водоповітряного холодильника (при  $t = -10^\circ\text{C}$ ,  $Q^{хол} = 83000$  кДж).

Кількість теплової енергії, яка акумулюється водою системи охолодження, обчислюється за формулою:

$$Q_v^{акум} = C_{pt} \cdot G_v \cdot \Delta t, \quad (2.2)$$

де  $C_{pt}$  – питома теплоємність води в системі охолодження дизеля,

$$C_{pt} = 4,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}};$$

$G_v$  – маса води в системі охолодження дизеля ( $G_v = 1500$  кг);

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$\Delta t$  – приріст температури води в системі охолодження дизеля ( $\Delta t = 40^\circ\text{C}$ ).

Кількість теплової енергії, яка акумулюється металом системи охолодження обчислюється за формулою:

$$Q_M^{акум} = C_M \cdot G_M \cdot \Delta t, \quad (2.3)$$

де  $C_M$  – питома теплоємність металу системи охолодження дизеля,

$$C_{pt} = 0,46 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}};$$

$G_M$  – маса металу системи охолодження дизеля,  $G_M = 16800$  кг.

Сумарна енергія тепловиділення у воду, яка необхідна для підвищення температури дизеля на  $40^\circ\text{C}$ , дорівнює:

$$Q_B^{акум} = 4,18 \cdot 1100 \cdot 40 = 184000 \text{ кДж},$$

$$Q_M^{акум} = 0,46 \cdot 16800 \cdot 40 = 309000 \text{ кДж},$$

$$Q_B^{сум} = 184000 + 309000 + 83000 = 576000 \text{ кДж}.$$

Розраховуємо сумарну потужність нагрівачів, яка потрібна для виділення на протязі двох годин теплової енергії потужністю  $576000$  кДж:

$$P_{тен} = \frac{Q_B^{сум}}{3600 \cdot \tau_n}, \quad (2.4)$$

де  $\tau_n$  – час прогріву водяної системи дизеля з  $40^\circ\text{C}$  до  $70^\circ\text{C}$ , год;

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3600 – коефіцієнт для переведення теплової енергії в електричну.

Сумарна потужність нагрівачів дорівнює:

$$P_{тен} = \frac{576000}{3600 \cdot 2} = 80 \text{ кВт.}$$

В якості нагрівачів використовуємо вісім типових теплоелектронагрівачів потужністю 10 кВт з'єднаних у три паралельні групи.

Сумарна потужність електродвигунів приводів водо-, масло- та паливо-прокачуючих агрегатів дорівнює:

$$P_{дон} = P_{\epsilon} + P_{м} + P_{n}, \quad (2.5)$$

де  $P_{\epsilon}$  – потужність електродвигуна привода водяного насоса, кВт;

$P_{м}$  – потужність електродвигуна привода масляного насоса, кВт;

$P_{n}$  – потужність електродвигуна привода паливного насоса, кВт.

$$P_{дон} = 20 + 10 + 1 = 31 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність, яка споживається пунктом прогріву тепловозів дорівнює:

$$P_{пр}^{заг} = m \cdot P_{тен} + P_{дон}, \quad (2.6)$$

де  $m$  – кількість позицій прогріву тепловозів,  $m = 4$  од.

$$P_{пр}^{заг} = 4 \cdot (80 + 31) = 444 \text{ кВт.}$$

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розраховуємо номінальний струм, який проходить через розподільчий щит при одночасному прогріві чотирьох тепловозів:

$$I_n = \frac{P_{np}^{заг}}{U}, \quad (2.7)$$

де  $U$  – напруга промислової мережі електроживлення, В.

$$I_n = \frac{444 \cdot 10^3}{380} = 1170 \text{ А.}$$

Для обладнання пункту прогріву тепловозів обираємо електророзподільний щит типу 2ТД.754.054-08, який обладнаний захисною панеллю типу ПЗКБ-1200 та силовими електромагнітними контакторами типу КТП-60-24. Панель містить чотири електромагнітних реле типу РЭО-401 і розрахована на номінальний робочий струм 1200 А .

Принципова гідравлічна схема водяної системи охолодження силової установки тепловоза, модернізованої для електропрогріву, показана на рис. 2.9.

При роботі водяної системи в режимі прогріву дизеля вода прокачується водяним насосом системи прогріву 11 через котел-підігрівач 9, який паралельно під'єднаний до першого та другого контурів системи охолодження. Далі вода протікає за штатною схемою. Зворотньому руху води перешкоджають зворотні клапани 4 та 13, які встановлені у кожному контурі системи охолодження.

При проходженні води по першому контуру водяної системи прогривається дизель 5, радіатор першого контуру 12 системи охолодження та паливо у паливопідігрівачі 3.

При проходженні води по другому контуру водяної системи прогривається радіатор другого контуру 15 системи охолодження та масло у водомасляних теплообмінниках 6.

Запропонована система електропрогріву тепловозів з живленням від

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

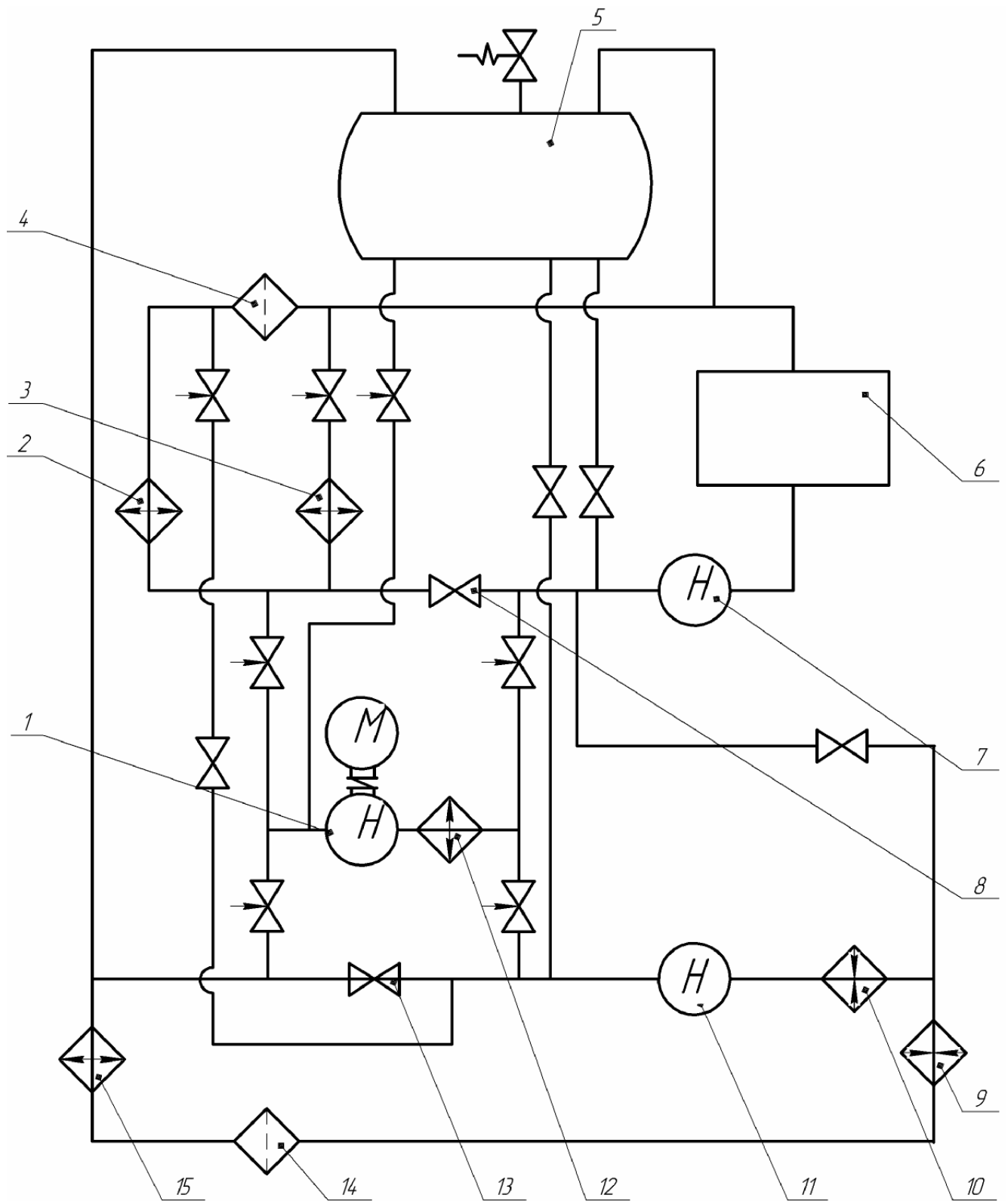


Рисунок 2.9 – Гідравлічна схема водної системи охолодження та прогріву дизеля тепловоза

промислової мережі електропостачання не потребує масштабного будівництва для обладнання пункту прогріву тепловозів та не передбачає внесення серйозних

					Арк.
0032.150176.000.03MP.ПЗ					56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

змін до системи охолодження тепловоза. Впровадження даної системи не потребує використання нестандартного обладнання. Виключення складає ємність котла-підігрівача, яка може бути виготовлена в умовах депо або тепловозоремонтного заводу.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ

В сучасних умовах збільшення обсягів перевезень та зростання вартості споживаних ресурсів, забезпечення стійкого фінансового становища залізниць нерозривно пов'язане з рішенням проблеми ресурсозбереження – головного джерела економії експлуатаційних витрат.

Кожна галузь залізниці представляє конкретні заходи щодо ресурсозбереження та програму їх реалізації.

Впровадження на залізничному транспорті новітніх технологій, що забезпечують перетворення потенційних досягнень науково-технічного прогресу в реальні, як правило, пов'язано із проблемами ресурсозбереження [ ], тобто раціоналізації використання всіх видів матеріальних, технічних, трудових, вартісних (фінансових) і інших ресурсів.

В сучасних умовах недостатньо здійснювати раціоналізацію інвестиційної діяльності. Економічний вплив на виробництво повинен починатися з оцінки техніко-економічної ефективності впроваджень, що охоплюють всі стадії структурного циклу науково-технічного прогресу: наукові розробки з фундаментальними, прикладними дослідженнями й проектно-конструкторськими роботами – впровадження нововведень (з освоєнням і випуском) – суспільне споживання (з реалізацією нововведення й наступною його експлуатацією). При цьому необхідно враховувати тривалість інноваційного періоду. На залізничному транспорті така оцінка повинна відбивати як особливості різних господарств і служб, так і забезпечувати комплексність оцінки всього єдиного господарського механізму галузі. Завдання ускладнюється багатоваріантністю підходів й альтернативність рішень у різних частинах залізничної транспортної системи, невизначеністю результатів, необхідністю обліку різноманітних факторів (соціальних, екологічних й ін.). Наявність у ринкових умовах розгалуженої системи забезпечення інноваційного процесу з різними джерелами фінансування (власні, позикові, притягнуті, централізуємі кошти підприємств галузі й ін.)

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

різними методами інвестування (бюджетного, фондового, кредитний, самофінансування й т.п.) припускає, що при оцінці техніко-економічної ефективності ресурсозберігаючих впроваджень останні доцільно класифікувати за рівнем значимості [ ]: загально-галузеві, регіональні, місцеві. У загальному виді ефективність використання ресурсозберігаючих інновацій на залізничному транспорті припускає одержання наступних видів ефекту:

- економічний (показники враховують у вартісному вираженні всі види результатів і витрат, обумовлених реалізацією впровадження);
- науково-технічний (показники відбивають новизну, простоту, корисність, естетичність, компактність впровадження);
- фінансовий (розрахунок показників базується на визначенні фінансових показників):
- ресурсний (показники відбивають вплив вкладень на обсяг виробництва й споживання того або іншого виду ресурсу);
- соціальний (показники враховують соціальні результати реалізації впровадження);
- екологічний (показники враховують вплив впровадження на навколишнє середовище).

Показники ефекту визначаються залежно від періоду часу, тривалість якого залежить від тривалості інновації, циклу, строку служби об'єкта, ступеня вірогідності вихідної інформації.

Загальним принципом оцінки ефективності впровадження є порівняння ефекту (результату) і витрат. Відношення результату до витрат може виражатися в натуральних і вартісних показниках.

У цілому проблема визначення економічного ефекту й вибору кращого варіанта реалізації вкладень вимагає, з одного боку, перевищення кінцевих результатів від їхнього використання над витратами на розробку, виготовлення й реалізацію, а з іншого – порівняння отриманих при цьому результатів з результатами від застосування інших аналогічних по призначенню варіантів.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Особливо важливо швидко оцінку й вибір варіанта здійснювати там, де використовують прискорену амортизацію, при якій строки заміни діючих машин, механізмів й устаткування на нове істотно скорочуються.

В умовах реформування залізничного транспорту України виникає гостра потреба в розробці окремої галузевої методики з оцінки ефективності ресурсозберігаючих інноваційних проектів з розробкою відповідної нормативної бази на різних стадіях капіталовкладень .

У даній магістерській дипломній роботі, як основний захід по зниженню витрати дизельного палива, пропонується впровадження системи електропрогріву дизелів тепловозів у зимовий період замість самопрогріву за рахунок роботи дизелів в режимі холостого ходу [16]. Для оцінки економічного ефекту від впровадження системи електропрогріву визначаємо розрахунковий період повернення капіталовкладень на впровадження цієї системи.

На прогрів тепловозів в депо встановлена норма витрати дизельного палива  $e_{\partial n}^{np} = 12$  кг/год. При температурі навколишнього повітря  $-10^{\circ}\text{C}$  прогрів водяної системи тепловоза на 8 позиції з  $40^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$  виконується за одну години, а охолодження за дві години. При даній схемі прогріву середня годинна витрата палива  $e_{\partial n}^{np.cер}$  дорівнює:

$$e_{\partial n}^{np.cер} = e_{\partial n}^{np} \cdot \frac{t_{np}}{t_{np} + t_{ох}}, \quad (3.1)$$

де  $t_{np}$  – час прогріву водяної системи тепловоза, год;

$t_{ох}$  – час охолодження водяної системи тепловоза, год.

Середня годинна витрата палива дорівнює:

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$e_{\partial n}^{np.cер} = 12 \cdot \frac{1}{1+2} = 4 \text{ кг/год.}$$

Вартість палива, яке витрачається на одну годину самопрогріву,  $C_{\partial n}^{np}$  дорівнює:

$$C_{\partial n}^{np} = e_{\partial n}^{np.cер} \cdot C_{\partial n}, \quad (3.2)$$

де  $C_{\partial n}$  – вартість дизельного палива,  $C_{\partial n} = 20,0$  грн/кг.

$$C_{\partial n}^{np} = 4 \cdot 20 = 80 \text{ грн.}$$

Далі для порівняння розраховуємо вартість електроенергії, яка витрачається на одну годину електропрогріву водяної системи тепловоза.

При прогріві тепловоза в режимі холостого ходу до дизеля та його систем відводиться тепла енергія, яка дорівнює 46% енергії згоряння палива. В середньому за одну годину ця енергія дорівнює:

$$Q_{\partial n}^{сер} = 0.46 e_{\partial n}^{np.cер} \cdot q_{\partial n}, \quad (3.3)$$

де  $q_{\partial n}$  – питома теплота згоряння дизельного палива,  $q_{\partial n} = 42500$  кДж/кг.

$$Q_{\partial n}^{сер} = 0.46 \cdot 4 \cdot 42500 = 78200 \text{ кДж.}$$

Розраховуємо кількість електроенергії  $a_{ee}^{np.cер}$ , яка потрібна для отримання аналогічної теплової енергії для прогріву тепловоза на протязі однієї години:

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$a_{ee}^{np.cер} = \frac{Q_{\partial n}^{cер}}{q_{ee}}, \quad (3.4)$$

де  $q_{ee}$  – кількість теплоти, яка виділяється при витраті 1 кВт·год електроенергії,

$$q_{ee} = 3600 \text{ кДж/(кВт·год)}.$$

$$a_{ee}^{np.cер} = \frac{78200}{3600} = 21,7 \text{ кВт·год}.$$

Вартість електроенергії, яка витрачається на одну годину електропрогріву  $C_{ee}^{np}$  дорівнює:

$$C_{ee}^{np} = a_{ee}^{np.cер} \cdot C_{ee}, \quad (3.5)$$

де  $C_{ee}$  – вартість електроенергії,  $C_{ee} = 0.9$  грн/(кВт·год).

$$C_{ee}^{np} = 21,7 \cdot 0.9 = 19,53 \text{ грн}.$$

Економія за одну годину прогріву  $\Delta C^{np}$  становить:

$$\Delta C^{np} = C_{\partial n}^{np} - C_{ee}^{np}, \quad (3.6)$$

$$\Delta C^{np} = 80,00 - 19,53 = 60,47 \text{ грн}.$$

В депо на прогріві одночасно знаходяться в середньому чотири тепловози. Вартість обладнання пункту прогріву тепловозів на чотири позиції містить наступні складові:

– силовий кабель для живлення пункту прогріву тепловозів від

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промислової мережі електропостачання довжиною 140 метрів – 3780 грн;

- силові кабелі для підключення електричних водонагрівачів тепловозів до розподільчого щита, загальною довжиною 120 метрів – 3100 грн;
- розподільчий щит – 1400 грн.

Вартість обладнання одного тепловоза для електропрогріву містить у собі наступні складові:

- електричний котел-підігрівач – 450 грн;
- водяний насос з електродвигуном змінного струму – 1400 грн;
- масляний насос з електродвигуном змінного струму – 1250 грн.

Загальна вартість обладнання пункту прогріву тепловозів та модернізації чотирьох тепловозів складає  $K = 20700$  грн.

За місяць холодної пори року в локомотивному депо тепловози знаходяться на прогріві в середньому близько 700 локомотиво-годин.

Місячна економія  $\Delta\Pi_{міс}$  від застосування електропрогріву тепловозів замість самопрогріву складає:

$$\Delta\Pi_{міс} = \Delta C^{np} \cdot \sum MT_{np}^{міс}, \quad (3.7)$$

де  $\sum MT_{np}^{міс}$  – середній річний час простою локомотивів депо на прогріві,

$$\sum MT_{np}^{міс} = 700 \text{ лок.-год.}$$

$$\Delta\Pi_{річн} = 60,47 \cdot 700 = 42329 \text{ грн.}$$

Розрахунковий період повернення капіталовкладень на впровадження системи електропрогріву тепловозів обчислюється за формулою:

$$T = \frac{K}{0,15\Delta\Pi_{річн}}, \quad (3.8)$$

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

де  $K$  – капіталовкладення на впровадження системи електропрогріву,

$$K = 20700 \text{ грн.}$$

$$T = \frac{20700}{0,15 \cdot 42329} = 3,26 \text{ міс.}$$

Вищенаведені розрахунки показують економічну доцільність застосування в депо системи електропрогріву тепловозів з живленням від зовнішнього джерела електроенергії замість самопрогріву за рахунок роботи тепловозів. Крім того відмова від застосування системи самопрогріву дозволяє зменшити витрати моторесурсу дизелів та підвищити термін роботи акумуляторних батарей.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

## 4 РОЗРАХУНОК ЗАХИСНОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ

Розрахунок заземлення проводиться для того щоб визначити опір споруджуваного контуру заземлення при експлуатації, його розміри і форму. Як відомо, контур заземлення складається з вертикальних заземлювачів, горизонтальних заземлювачів і заземлюючого провідника. Вертикальні заземлювачі вбиваються в ґрунт на певну глибину.

Горизонтальні заземлювачі з'єднують між собою вертикальні заземлювачі. Заземлюючий провідник з'єднує контур заземлення безпосередньо з електрощитом.

Розміри і кількість цих заземлювачів, відстань між ними, питомий опір ґрунту – всі ці параметри безпосередньо залежать на опір заземлення.

Заземлення служить для зниження напруги дотику до безпечної величини. Завдяки заземленню небезпечний потенціал йде в землю тим самим, захищаючи людину від ураження електричним струмом.

Величина струму стікання в землю залежить від опору заземлюючого контуру. Чим опір буде менше, тим величина небезпечного потенціалу на корпусі пошкодженої електроустановки буде менше.

Заземлювальні пристрої повинні задовольняти покладеним на них певним вимогам, а саме величини опір розтікання струмів і розподілу небезпечного потенціалу.

Тому основний розрахунок захисного заземлення зводиться до визначення опору розтікання струму заземлювача. Це опір залежить від розмірів і кількості заземлюючих провідників, відстані між ними, глибини їх закладання і провідності ґрунту.

Вихідні дані для розрахунку заземлення.

Основні умови, яких необхідно дотримуватися при спорудженні заземлюючих пристроїв це розміри заземлювачів.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

Залежно від використовуваного матеріалу (рис. 4.1) кутник, смуга, кругла сталь) мінімальні розміри заземлювачів повинні бути не менше:

- а) смуга 12x4 - 48 мм<sup>2</sup>;
- б) куточок 4x4;
- в) кругла сталь - 10 мм<sup>2</sup>;
- г) сталеві труба (товщина стінки) – 3,5 мм.

Довжина заземлюючого стрижня повинна бути не менше 1,5-2 м (рис. 4.2).

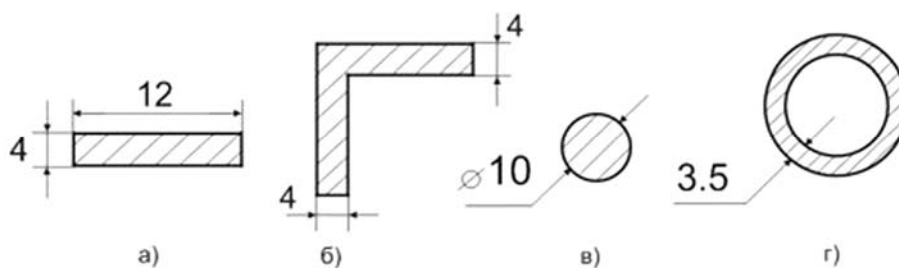


Рисунок 4.1 – Мінімальні розміри арматури застосовуються для монтажу заземлюючих пристроїв

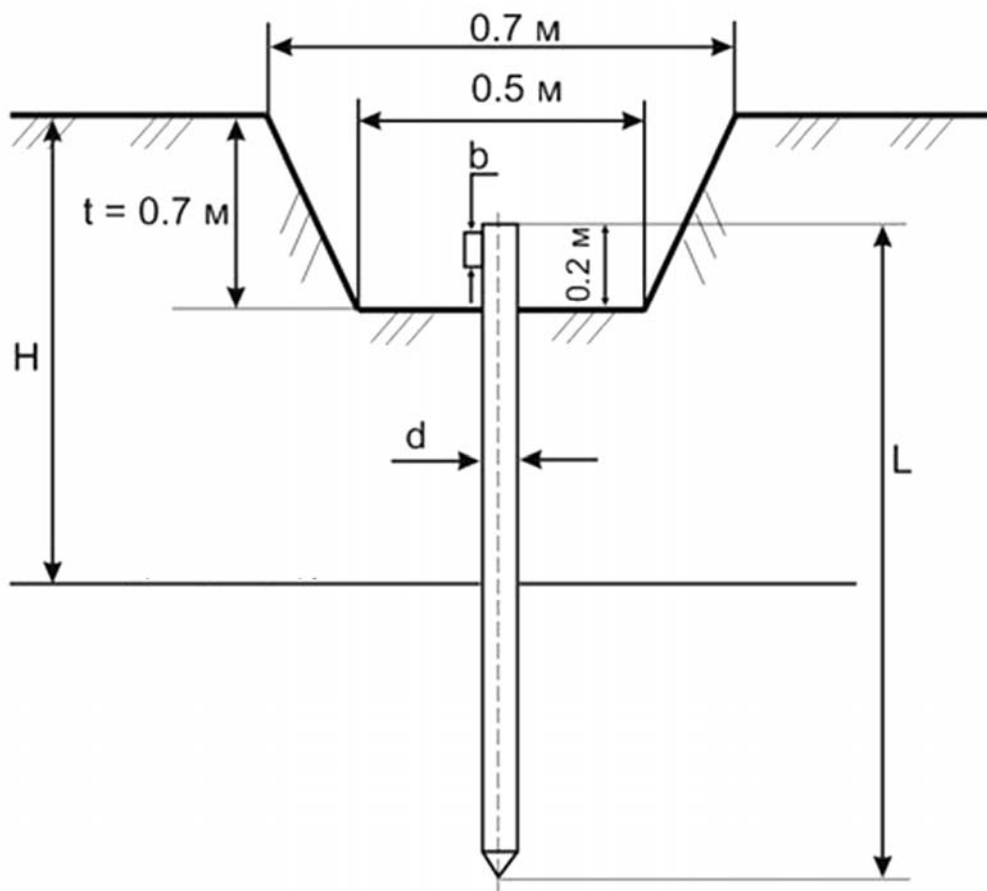


Рисунок 4.2 – Схема встановлення заземлюючого стрижня

Відстані між заземлювальними стрижнями береться зі співвідношення їх довжини, тобто:  $a = 1 \times L$ ;  $a = 2 \times L$ ;  $a = 3 \times L$  (рис. 4.3).

Залежно від площі й зручності монтажу заземлюючі стрижні можна розміщувати в ряд, або у вигляді фігури (трикутник, квадрат і т.п.).

**Мета розрахунку захисного заземлення.** Основною метою розрахунку заземлення є визначити число заземлюючих стрижнів та довжину смуги, яка їх з'єднує.

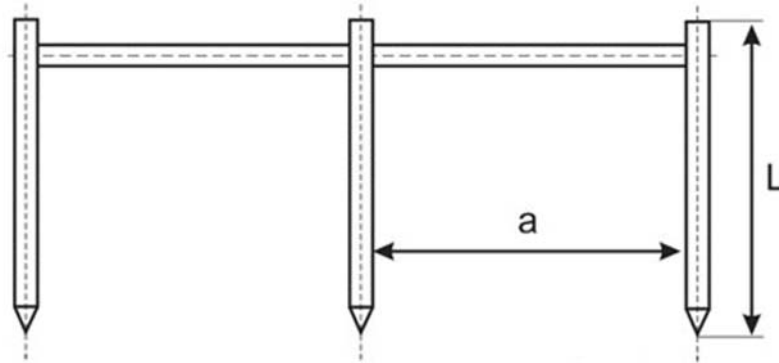


Рисунок 4.3 – Відстань між заземлювальними стрижнями

Опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (стержня):

$$R_0 = \frac{\rho_{екв}}{2\pi \cdot L} \cdot \left( \ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4T + L}{4T - L}\right) \right), \quad (4.1)$$

де  $\rho_{екв}$  – еквівалентний питомий опір ґрунту, Ом·м;

$L$  – довжина стрижня, м;

$d$  – його діаметр, м;

$T$  – відстань від поверхні землі до середини стрижня, м.

У випадку встановлення заземлюючого пристрою в неоднорідний ґрунт (двошаровий), еквівалентну питомий опір ґрунту знаходиться за формулою:

$$\rho_{екв} = \frac{\psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{\rho_1(L - H + t_2) + \rho_2(H - t_2)}, \quad (4.2)$$

де  $\psi$  – сезонний кліматичний коефіцієнт (таблиця 4.1);

$\rho_1, \rho_2$  – питомий опору верхнього і нижнього шару ґрунту відповідно, Ом·м (таблиця 4.2);

$H$  – товщина верхнього шару ґрунту, м;

$t$  – заглиблення вертикального заземлювача (глибина траншеї)  $t = 0,7$  м.

Так як питомий опір ґрунту залежить від його вологості, для стабільності опору заземлювача і зменшення на нього впливу кліматичних умов, заземлювач

Таблиця 4.1 – Значення сезонного кліматичного коефіцієнта опору ґрунту

Тип заземлюючого електрода	Кліматична зона			
	I	II	III	IV
Стрижневий (вертикальний)	1,8x2	1,5x1,8	1,4x1,6	1,2x1,4
Смуговий (горизонтальний)	4,5x7	3,5x4,5	2-2,5	1,5

Таблиця 4.2 – Питомий опір ґрунтів

Ґрунт	Питомий опір ґрунту, Ом·м
Торф	20
Ґрунт (чорнозем та ін.)	50
Глина	60
Супісок	150
Пісок при ґрунтових водах до 5 м	500
Пісок при ґрунтових водах глибше 5 м	1000

розміщують на глибині не менше 0,7 м.

Заглиблення горизонтального заземлювача можна знайти за формулою:

$$T = \frac{L}{2} + t. \quad (4.3)$$

Монтаж і установку заземлення необхідно проводити таким чином, щоб стержень заземлення пронизував верхній шар ґрунту повністю та частково нижній.

Кількість стержнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_n}, \quad (4.4)$$

де  $R_n$  – нормований опір розтіканню струму заземлюючого пристрою, визначається виходячи з правил ПТЕЕС (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Найбільше припустиме значення опору заземлюючих пристроїв

Характеристика електроустановки (напруга живлення)	Питомий опір ґрунту, Ом·м	Опір заземлюючого пристрою, Ом
660/380	до 100	15
	понад 100	$0,5 \cdot \rho$
380/220	до 100	30
	понад 100	$0,3 \cdot \rho$
220/127	до 100	60
	понад 100	$0,6 \cdot \rho$

Як видно з таблиці нормоване опору для нашого випадку повинно бути не більше 30 Ом. Тому  $R_n$  приймається рівним 30 Ом.

Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача:

$$R_z = 0,366 \left( \frac{\rho_{екв} \cdot \psi}{L_z \cdot \eta_z} \right) \cdot \lg \left( \frac{2L_z^2}{b \cdot t} \right), \quad (4.5)$$

де  $L_z, b$  – довжина і ширина заземлювача;

$\psi$  – коефіцієнт сезонності горизонтального заземлювача;

$\eta_z$  – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Коефіцієнт використання заземлювачів

Для горизонтальних заземлювачів				Для вертикальних заземлювачів			
Число електродів	По контуру			Число електродів	По контуру		
	а/L				а/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0,45	0,55	0,65	4	0,69	0,78	0,85
5	0,4	0,48	0,64	6	0,62	0,73	0,8
8	0,36	0,43	0,6	10	0,55	0,69	0,76
10	0,34	0,4	0,5	20	0,47	0,64	0,7
20	0,27	0,32	0,4	40	0,41	0,58	0,67
30	0,24	0,3	0,41	60	0,39	0,55	0,65
50	0,21	0,28	0,37	100	0,36	0,52	0,62
70	0,2	0,26	0,35				
100	0,19	0,24	0,33				
Число електродів	В ряд			Число електродів	В ряд		
	а/L				а/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0,77	0,89	0,92	2	0,86	0,91	0,94
5	0,74	0,86	0,9	3	0,78	0,87	0,91
8	0,67	0,79	0,85	5	0,7	0,81	0,87
10	0,62	0,75	0,82	10	0,59	0,75	0,81
20	0,42	0,56	0,68	15	0,54	0,71	0,78
30	0,31	0,46	0,58	20	0,49	0,6S	0,77
50	0,21	0,36	0,49				
65	0,2	0,34	0,47				

Довжину самого горизонтального заземлювача знайдемо виходячи з кількості заземлювачів:

$$L_2 = a \cdot (n_0 - 1) \text{ – в ряд; } L_2 = a \text{ – по контуру,}$$

де  $a$  – відстань між заземлювальними стрижнями.

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів:

$$R_6 = \frac{R_2 \cdot R_H}{R_2 + R_H}. \quad (4.6)$$

Повна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_6 \cdot \eta_6}, \quad (4.7)$$

де  $\eta_6$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (табл. 4.6).

Коефіцієнт використання показує як впливають один на одного струми розтікання з одиночних заземлювачів при різному розташуванні останніх. При з'єднанні паралельно, струми розтікання одиночних заземлювачів роблять взаємний вплив один на одного, тому чим ближче розташовані один до одного заземлюючі стрижні тим загальний опір заземлюючого контуру більше.

Отримане при розрахунку число заземлювачів округлюється до найближчого більшого.

Розраховуємо електричну схему заземлення для кантувача рам візків, напруга живлення складає  $U = 380$  В.

Опір розтікання струму одного вертикального заземлювача

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$R_0 = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot 1}{12} \right) + 0,5 \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 1,5 + 1}{4 \cdot 1,5 - 1} \right) \right) = 40,84 \text{ Ом.}$$

Кількість стержнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення

$$n_0 = \frac{40,84 \cdot 1,6}{30} = 2,178 \text{ Ом.}$$

Опір розтікання струму для горизонтальної частини заземлювача

$$R_2 = 0,366 \left( \frac{50 \cdot 1,6}{0,5 \cdot 0,6} \right) \cdot \lg \left( \frac{20,5^2}{0,05 \cdot 1} \right) = 882 \text{ Ом.}$$

Опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів

$$R_6 = \frac{882 \cdot 30}{882 + 30} = 29 \text{ Ом.}$$

Повна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{40,84}{29 \cdot 0,69} = 1,94,$$

приймаємо  $n=3$  стрижні, оскільки при розрахунку прийнята схема трикутного розміщення стрижнів. Довжина стрижнів складає 1 м. Відстань між стрижнями складає 1 м (рис. 4.4, 4.5).

Отже, оскільки пропонується впровадження технологічного обладнання з електричним приводом, розраховано захисне заземлення для системи електричного прогріву тепловозів, яке забезпечує захист від такого небезпечного фактора як враження електричним струмом.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

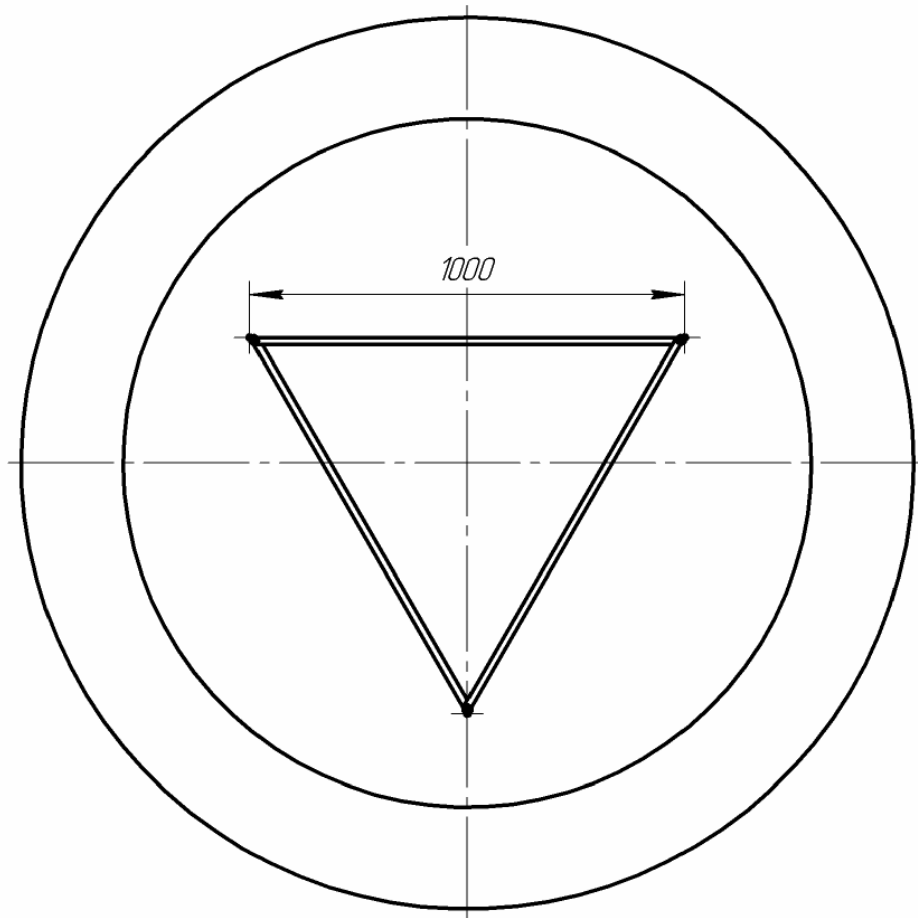
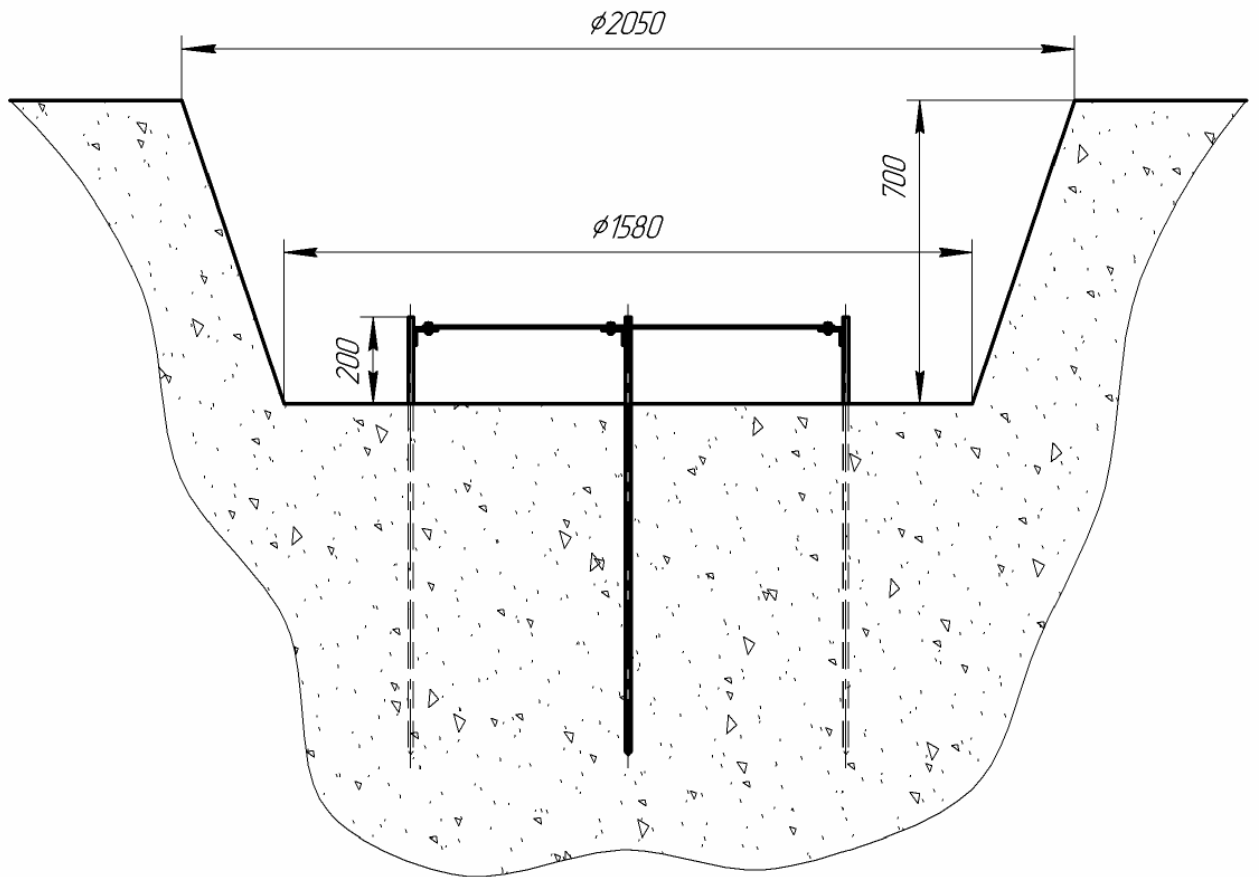


Рисунок 4.4 – Розрахована схема захисного заземлення

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

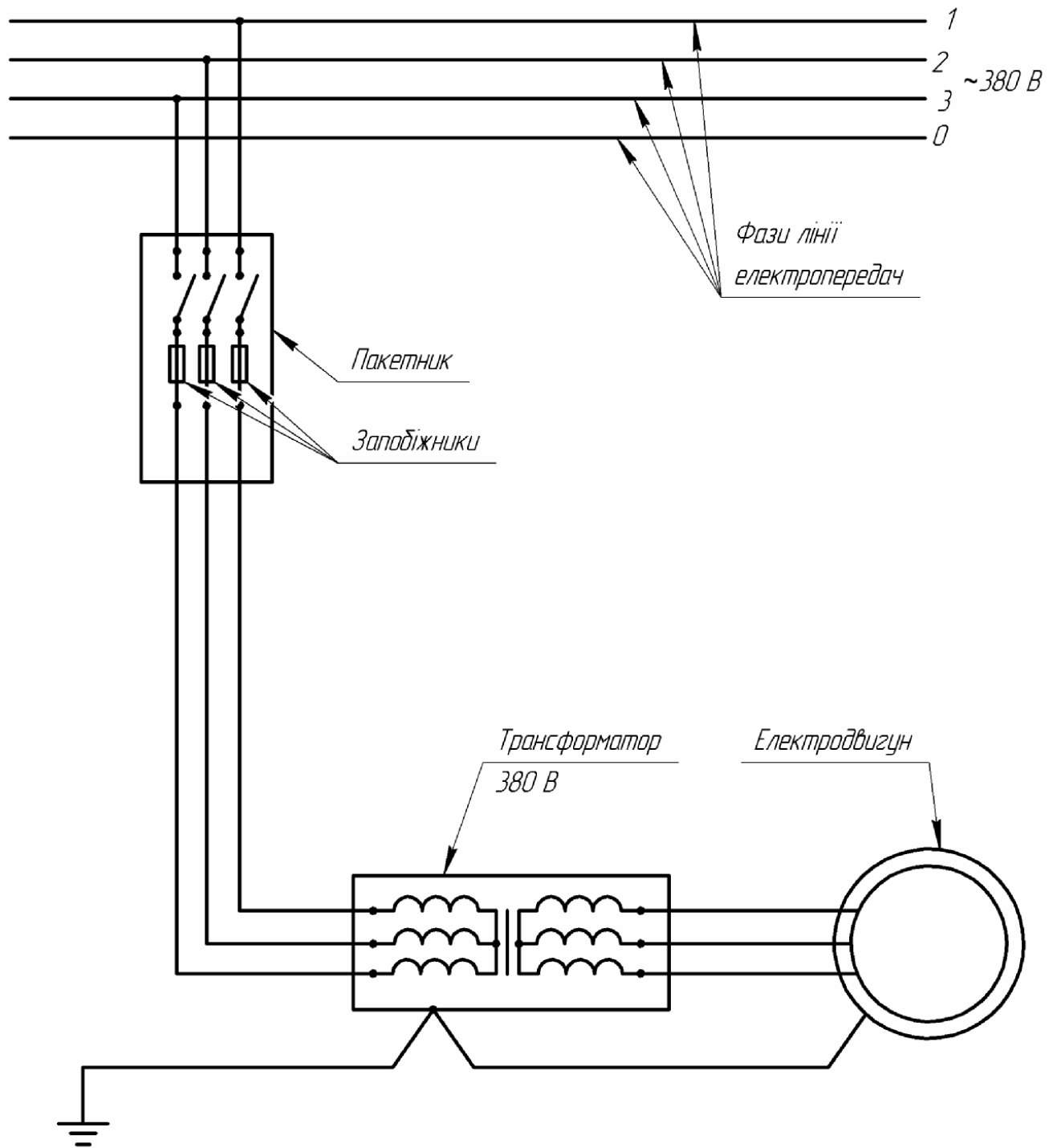


Рисунок 4.5 – Схема підключення електричного обладнання до заземлюючого кола

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

## ВИСНОВКИ

Останнім часом однією з основних проблем залізниць є високий рівень застарілості локомотивного парку. Оновлення локомотивного парку залізниць шляхом заміни локомотивів, що вичерпали нормативний термін служби, більш досконалими локомотивами нового покоління підвищує рентабельність і конкурентоспроможність залізничних перевезень, але водночас практична реалізація такого способу оновлення основних фондів залізниць пов'язана зі значними капіталовкладеннями у розвиток виробничих потужностей і придбання нового рухомого складу та з тривалими термінами організації серійного виробництва нових локомотивів. Тому для того, щоб покращити технічний рівень локомотивного парку, проводиться модернізація наявного рухомого складу з дотриманням сучасних вимог економічності, екологічності, ергономічності, надійності та інших параметрів.

У першому розділі магістерської дипломної роботи були розглянуті основні фактори, які впливають на режими роботи силових енергетичних установок тепловозів. Серед них фактори, що впливають на витрати енергоресурсів силових енергетичних установок тепловозів, якість паливо-енергетичних ресурсів та ін. Розглянуто методи підвищення економічності силових енергетичних установок на режимах холостого ходу та малих навантажень, в тому числі на режимах прогріву.

З огляду та аналізу вказаних факторів та методи підвищення економічності силових енергетичних установок тепловозів концептуально розроблено систему прогріву тепловозів. Наведено техніко-економічне обґрунтування необхідності впровадження системи прогріву та проаналізовано ефективність застосування прогріву тепловозів від альтернативних джерел енергії.

На підставі огляду та аналізу існуючих систем прогріву визначено, що для набуття найбільшої паливо-енергетичної економічності, подовження ресурсу силових енергетичних установок та акумуляторних батарей, з урахуванням кліматичних умов України, найбільш доцільним для маневрових тепловозів є

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

застосування системи електричного прогріву із зовнішнім джерелом енергії. Така система має найбільший коефіцієнт корисної дії та дозволяє автоматизувати процес прогріву.

Але у вказаної системи є й недоліки. По-перше вона є неавтономною, що вимушує локалізувати відстій тепловозів в гарячому резерві. Для цього в депо необхідно створювати пункт прогріву. По-друге розглянута система вимагає ручного підключення зовнішньої електричної мережі, в т.ч. заземлення. По-третє необхідно додавати елементи до штатної системи регулювання температури теплоносіїв дизеля.

Для економічного обґрунтування доцільності впровадження системи електропрогріву створено математичну модель для визначення параметрів теплового балансу. За нею визначено необхідну теплову та електричну потужність системи.

Визначено економічний ефект від застосування системи електричного прогріву тепловозів. З урахуванням капіталовкладень та переобладнання штатної системи регулювання температури теплоносіїв дизеля строк окупності складає один сезон прогріву.

Для поліпшення безпеки та охорони праці при удосконаленні системи прогріву маневрових тепловозів виконано розрахунок захисного заземлення для системи електричного прогріву тепловозів.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кірта Г. М. Основні напрямки поліпшення стану Українських залізниць у сучасних умовах // Залізничний транспорт України. – 2001. – №4.
2. Русак А.Д. Об использовании и экономии энергоресурсов в локомотивном хозяйстве // Железнодорожный транспорт. – 2002. - №2.
3. Лисицын А. Л. Возможности экономии ресурсов на тягу поездов // Железнодорожный транспорт. – 2002. - №2.
4. Панков Ю. Н., Трикунов В. М. Ресурсосбережение в локомотивном хозяйстве // Локомотив. – 2002. - №1.
5. Аксенов И. М. Повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта // Залізничний транспорт України. – 2001. - №2.
6. А.З. Хомич. Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 271с.
7. Каграманян А.О. Аналіз витрат тепла секції тепловоза та його вплив на визначення кількості теплоти при самопрогріві дизеля /А.О. Каграманян, А.В. Онищенко //Енергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2007. - №12. – С. 30.
8. Каграманян, А. О. Підвищення паливної економічності та поліпшення економічних показників тепловозних дизелів при роботі на холостому ході /А. О. Каграманян, А. В. Онищенко //Зб. наук. пр. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 13. – С. 112-118.
9. Каграманян А.О. Використання акумуляторів теплоти, як альтернативного джерела енергії при прогріві тепловозів /А.О. Каграманян, А.В. Онищенко // Залізничний транспорт України: науково-практичний журнал. – 2011. – № 1. – С. 49-51.
10. Артеменко А. В. Системы подогрева охлаждающей жидкости /А.В. Артеменко, В. В. Артеменко // Локомотив-информ. 2011. – №9. – С. 24-25.

					0032.150176.000.03MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

11. Локомотивное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. трансп. /С. Я. Айзинбуд, В. А. Гутковский, П. И. Кельперис и др. Под ред. С. Я. Айзинбуда. – М.:Транспорт, 1986. – 263с.
12. Айзинбуд С. Я., Кельперис П. И. Эксплуатация локомотивов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990. – 261с.
13. Тепловозное хозяйство /Под ред. П.К. Крюгера, С.Я. Айзинбуда. – М.: Транспорт, 1980. – 211с.
14. Фінансово – економічний аналіз діяльності підприємств: Навч. посіб. / М.Я. Коробов – К.: Т-во «Знання», 2000. – 378с.
15. Экономика железнодорожного транспорта: Ученик для вузов / И.В. Белов, В.Г. Галабурда и др. – М.: Транспорт, 1989. – 351с.
16. Левицкий А.Л., Сибаров Ю.Г. Охрана труда в локомотивном хозяйстве. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1989. – 216с.
17. Охрана труда на железнодорожном транспорте: Учебник для ж.-д. трансп. / Ю.Г. Сибаров, В.О. Дегтерев и др. – М.: Транспорт, 1981. – 287с.

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		78

**ДОДАТОК А**

**Специфікації до креслень**

					<i>0032.150176.000.03MP.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование Додаток А.2	Кол.	Примечание	Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № дробл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.				
		1		Котел	1																		
		2		Камера згорання	1																		
		3		Паливний насос	1																		
		4		Електродвигун																			
				паливного насоса	1																		
		5		Дизель	1																		
		6		Форсунка	1																		
		7		Повітряний нагнітач	1																		
		8		Водяний насос	1																		
		9		Електродвигун																			
				водяного насоса	1																		
<b>0032.150176.002.03MP.CP</b>																							
Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата		<b>Схема тепловозного котла підігріву</b>										Лит.		Лист		Листов	
Разраб.		Бондаренко Е.																4				1	
Пров.		Кислий																					
Н.контр.		Колодій																					
Утв.																							
ДНУЗТ, гр. ЛГ1921 Копировал <span style="float: right;">Формат А4</span>																							





Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование Додаток А.5	Кол.	Примечание	Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № дробл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		
		1		Водяний насос	1														
		2		Холодильник	1														
		3		Холодильник	1														
		4		Теплообмінник	1														
		5		Бак розширювальний	1														
		6		Дизель	1														
		7		Водяний насос															
				головного контуру	1														
		8		Зворотній клапан	1														
		9		Підігрівач	1														
		10		Підігрівач	1														
		11		Водяний насос	1														
		12		Холодильник	1														
		13		Зворотній клапан	1														
		14		Теплообмінник	1														
		15		Холодильник	1														
							<b>0032.150176.005.03MP.CP</b>												
Изм.		Лист	№ докум.		Подп.	Дата	Гідравлична схема водяної системи охолодження та прогріву дизеля тепловозу							Лит.	Лист	Листов			
Разраб.		Бондаренко Є.												ц		1			
Пров.		Кислий																	
Н.контр.		Колодій																	
Утв.														ДНУЗТ, гр. ЛГ1921					

