

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Інститут механічної інженерії та транспорту

(назва інституту)

Залізничний транспорт

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: «Дослідження способів контролю технічного стану систем охолодження тепловозних дизелів»

за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство

зі спеціальності:

273 “Залізничний транспорт”

(шифр і назва спеціальності)

Виконав:

студент групи: ЛГ-41з

/Владислав БАЧИК/

(підпис студента)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

/доцент, Юлія СОБОЛЕВСЬКА/

(підпис)

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завідувач кафедри ЗТ

к.т.н., доц. Олена БАЛЬ

(підпис)

Львів – 2025 рік

**ЗАВДАННЯ НА РОБОТУ (ОКРЕМИЙ ДОКУМЕНТ, ОДИН ЛИСТ З
ДВОХ СТОРІН ЗГІДНО ШАБЛОНУ)**

Бачик В. В., Соболевська Ю. Г. (керівник). **Дослідження способів контролю технічного стану систем охолодження тепловозних дизелів.** Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

Розширена анотація

Проблема економії палива є однією із традиційних та дуже важливих у сучасному локомотивобудуванні.

Враховуючи, що у процесі експлуатації з різних причин ефективність роботи системи охолодження може знижуватися, що, у свою чергу, може призвести до перегріву дизеля, зниження надійності роботи та паливної економічності, важливим є дослідження способів контролю технічного стану систем охолодження.

Проаналізовано вимоги конструктивного, енергетичного, технологічного та експлуатаційного характеру до систем охолодження тепловозів. Встановлено, що основними факторами оцінки технічного стану системи охолодження тепловоза є: температура, тиск, швидкість і витрата теплоносіїв. Здійснено структурування переліку робіт перед початком випробувань. Для комплексної оцінки технічного стану системи охолодження тепловоза запропоновано використовувати метод перепаду температури води в радіаторах, перепаду температури повітря та перепаду тиску охолоджувальної рідини. Як альтернативою при дослідженні технічного стану системи охолодження тепловозних дизелів може бути використано тепловізійний спосіб, із використанням тепловізора Testo 875i.

Об'єкт дослідження – система охолодження тепловозних дизелів.

Предмет дослідження – сучасні способи контролю технічного стану системи охолодження тепловозних дизелів.

Мета дослідження – встановлення альтернативних способів контролю технічного стану систем охолодження тепловозних дизелів.

За результатами цієї бакалаврської роботи виконано такі завдання:

- проаналізовано вимоги конструктивного, енергетичного, технологічного та експлуатаційного характеру до систем охолодження тепловозів;
- розглянуто конструктивні особливості систем охолодження тепловозів та схеми їх функціонування;
- встановлено основні фактори оцінки технічного стану системи охолодження;
- здійснено структурування переліку робіт перед початком випробувань;
- запропоновано альтернативний спосіб дослідження технічного стану системи охолодження тепловозних дизелів.

Ключові слова: тепловоз, система охолодження, секції радіатора, тиск, температура, повітря.

Перелік використаних літературних джерел

1. Боднар Б. Є., Бобирь Д. В., Капіца М. І. Гідравлічні передачі локомотивів: підручник. Дніпро: Дріант, 2021. - 466 с.
2. Тартаковський, Е. Д. Гідравлічні передачі локомотивів [Текст]: навч. посіб. / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, С. В. Михалків. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Ч. I. – 104 с.
3. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Допоміжні системи та устаткування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. /під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП Ліра ЛТД, 2010. – 369 с.
4. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. /під ред. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП Ліра ЛТД, 2010.– 358 с.
5. Тартаковський Е.Д., Агулов А.Ф., Фалендиш А.П. Теорія та конструкція локомотивів. Ч.2. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. -150 с.
6. Митрофанов О. С. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння: навч. посіб. / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін. – Миколаїв: видавець Торубара В.В., 2018. – 152 с.

Bachyk V. V., Sobolevska Yu. G. (head). **Study of ways to control the technical condition of diesel locomotive cooling systems.** Bachelor's Qualification Work. - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025.

Extended abstract

The problem of fuel economy is one of the traditional and very important ones in modern locomotive construction.

Considering that during operation, the efficiency of the cooling system may decrease for various reasons, which, in turn, may lead to diesel engine overheating, reduced reliability and fuel efficiency, it is important to study methods for monitoring the technical condition of cooling systems.

The requirements of a constructive, energy, technological and operational nature for the cooling systems of diesel locomotives were analyzed. It was established that the main factors for assessing the technical condition of the cooling system of a diesel locomotive are: temperature, pressure, speed and coolant flow rate. The list of works before the start of the tests was structured. For a comprehensive assessment of the technical condition of the cooling system of a diesel locomotive, it was proposed to use the method of water temperature difference in radiators, air temperature difference and coolant pressure difference. As an alternative to studying the technical condition of the cooling system of diesel locomotives, a thermal imaging method can be used, using a thermal imager Testo 875i.

The object of study is diesel locomotive cooling system.

The subject of study is modern methods of monitoring the technical condition of the cooling system of diesel locomotives.

The purpose of study is establishment of alternative methods of monitoring the technical condition of diesel locomotive cooling systems.

Based on the results of this bachelor thesis, the following tasks were completed:

- the requirements of a constructive, energy, technological and operational nature for the cooling systems of diesel locomotives were analyzed;
- the design features of diesel locomotive cooling systems and their operating schemes are considered;

- the main factors for assessing the technical condition of the cooling system have been established;

- the list of works has been structured before the start of testing;

- an alternative method for investigating the technical condition of the cooling system of diesel locomotives has been proposed.

Key words: diesel locomotive, cooling system, radiator sections, pressure, temperature, air.

References

1. Bodnar B. Ye., Bobyr D. V., Kapitsa M. I. Hidravlichni peredachi lokomotyviv: pidruchnyk. Dnipro: Driant, 2021. 466 s.

2. Tartakovskiy, E. D. Hidravlichni peredachi lokomotyviv [Tekst]: navch. posib. / E. D. Tartakovskiy, O. V. Ustenko, S. V. Mykhalkiv. – Kharkiv: UkrDAZT, 2011. – Ch. I. – 104 s.

3. Bodnar, B. Ye. Teoriia ta konstruktsiia lokomotyviv. Dopomizhni systemy ta ustatkuvannia [Tekst]: pidruchnyk dlia VNZ zaliznykh. transp. /pid red. d-ra tekhn. nauk, prof. B. Ye. Bodnara. – D.: PP Lira LTD, 2010. – 369 s.

4. Bodnar, B. Ye. Teoriia ta konstruktsiia lokomotyviv. Osnovy proektuvannia [Tekst]: pidruchnyk dlia VNZ zalizn. transp. /pid red. B. Ye. Bodnara. – D.: PP Lira LTD, 2010.– 358 s.

5. Tartakovskiy E.D., Ahulov A.F., Falendysh A.P. Teoriia ta konstruktsiia lokomotyviv. Ch.2. Vybir ta rozrakhunok osnovnykh vuzliv lokomotyviv: Navch. posibnyk. – Kharkiv: UkrDAZT, 2009. -150 s.

6. Mytrofanov O. S. Osnovy ekspluatatsii, obsluhovuvannia ta remontu dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia: navch. posib. / O. S. Mytrofanov, A. Yu. Proskurin. – Mykolaiv: vydavets Torubara V.V., 2018. – 152 s.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ | 10 |
| ВСТУП..... | 11 |
| 1 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ І РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ..... | 12 |
| 1.1 Вимоги, що пред'являються до систем охолодження | 12 |
| 1.2 Схеми і конструктивні особливості систем охолодження..... | 14 |
| 1.3 Умови та режими роботи систем охолодження | 22 |
| Висновки до розділу 1 | 25 |
| 2 МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ | 26 |
| 2.1 Засоби вимірювань та їхня характеристика | 26 |
| 2.2 Енергетичні випробування охолоджувальних пристроїв..... | 30 |
| Висновки до розділу 2 | 35 |
| 3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ..... | 36 |
| 3.1 Оцінка теплорозсіювальної здатності охолоджуючих пристроїв по перепаду температури води в радіаторах..... | 36 |
| 3.2 Оцінка теплорозсіювальної здатності охолоджуючих пристроїв по перепаду температури повітря..... | 37 |
| 3.3 Оцінка теплорозсіювальної здатності охолоджуючих пристроїв по перепаду тиску охолоджувальної рідини в радіаторі..... | 39 |
| 3.4 Оцінювання тепловізійним способом..... | 39 |
| Висновки до розділу 3 | 40 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ..... | 41 |
| 4.1 Вимоги, що пред'являються до виробничих територій та обладнань, для забезпечення охорони праці працівників..... | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2 Вимоги до робітників, пов'язаних з технічним обслуговуванням локомотивів..... | 43 |
| Висновки до розділу 4 | 44 |
| ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ..... | 45 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 46 |

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

| | |
|------|--|
| США | Сполучені Штати Америки |
| ТУ | Технічні умови |
| МВ | Мотор-вентилятор |
| САРТ | Система автоматичного регулювання температури |
| ЕОМ | Електронно-обчислювальна машина |
| ПТОЛ | Пункт технічного обслуговування локомотивів |

ВСТУП

У вітчизняному тепловозобудуванні особливо важливим є комплекс заходів, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності та економічності роботи тепловозів. На сучасних тепловозах втрати потужності на власні теплообмінні потреби становлять близько 10...12% від номінальної потужності дизеля, з яких до 7% витрачається на функціонування системи охолодження дизеля тепловоза.

У сучасних умовах експлуатації система охолодження не дозволяє ефективно підтримувати оптимальні температурні режими роботи двигуна через значну зміну умов експлуатації та технічного стану вузлів охолодження та агрегатів локомотива. Це призводить до збільшення енергетичних витрат, а також об'ємів ремонту, що вимагає додаткових витрат при експлуатації.

Так, наприклад, для всього розрахункового температурного діапазону, неможливо забезпечити прогрів дизельного двигуна вище 70°C без навантаження. Зниження температури води від рекомендованого значення 85 - 105°C на 10°C призводить до збільшення витрати палива на 1%. У свою чергу, без прогрітих теплоносіїв неможливо використовувати магістральний тепловоз вище, ніж на 8 позиції контролера машиніста, і маневровий вище 5 позиції.

Варто зазначити, що у процесі експлуатації з різних причин ефективність роботи системи охолодження може знижуватися, що, у свою чергу, може призвести до перегріву дизеля через підвищену температуру теплоносія, зниження надійності роботи та паливної економічності.

Отже, щоб підвищити ефективність роботи тепловоза, необхідно оперативно оцінювати роботу системи охолодження.

Об'єктом дослідження в даній роботі є система охолодження тепловозних дизелів. *Предметом дослідження* являються сучасні способи контролю технічного стану системи охолодження тепловозних дизелів. *Мета дослідження* – встановлення альтернативних способів контролю технічного стану систем охолодження тепловозних дизелів.

1 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ І РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

1.1 Вимоги, що пред'являються до систем охолодження

Системи охолодження дизеля, тягових електричних машин та апаратів повинні забезпечувати економічну та надійну роботу силової установки тепловоза.

Система охолодження дизеля включає в себе пристрої, призначені для відведення теплоти від дизеля: теплообмінники для охолодження води, масла та наддувочного повітря дизеля та радіатори для тепловіддачі атмосферному повітрю; повітропроводи, трубопроводи, вентилятори та насоси, а також пристрої та прилади регулювання та контролю режиму роботи. При цьому найбільш громіздкі елементи системи – радіатори і вентиляторні установки розташовуються в так званій шахті, яка займає значну частину кузова тепловоза і являє собою пристрій з нагнітальними каналами-повітропроводами.

В охолоджуючих пристроях систем застосовують теплообмінні апарати рекуперативного типу різних конструкцій, щоб запобігти втраті і забрудненню теплоносіїв, що охолоджують дизель.

У тепловозах з гідропередачою передбачається охолодження масла гідропередачі безпосередньо в радіаторах або спеціальному теплообміннику [1-2].

Охолоджувальні пристрої систем відводять значну кількість теплоти від дизеля, тягових електричних машин і апаратів в атмосферу, причому процеси тепловіддачі від тепловіддаючих поверхонь до охолоджуючого повітря мають порівняно низьку інтенсивність. Тому охолодні пристрої систем тепловозів є одними з найскладніших і громіздких вузлів, на виготовлення яких витрачаються дорогі кольорові метали.

До систем охолодження тепловозів, особливо великої секційної потужності, висувають численні, найчастіше суперечливі, вимоги конструктивного, енергетичного, технологічного та експлуатаційного характеру.

1. Охолоджувальні пристрої систем повинні мати мінімальні розміри та масу, бути раціональними з точки зору розміщення їх у кузові тепловоза, легко піддаватися монтажу та демонтажу при виготовленні та ремонті, бути зручними при обслуговуванні в експлуатації. Їх конструкція повинна відповідати всім вимогам уніфікації як окремих елементів (блоків панелей радіаторів, вентиляторів та ін.), так і конструкції загалом, бути технологічною та мати мінімальну трудомісткість. У ній повинні максимально можливо використовуватися металеві та неметалічні матеріали широкого застосування.

2. Ефективність охолоджувальних пристроїв має бути достатньою для забезпечення необхідного теплового режиму роботи дизеля, тягових електричних машин та інших елементів систем у процесі експлуатації тепловоза за різних кліматичних умов.

3. Системи охолодження за допомогою автоматичного регулювання температури теплоносіїв повинні забезпечувати раціональні температурні режими роботи дизеля та охолоджуючого пристрою, що дозволяють мати мінімальні середньоексплуатаційні витрати дизелем палива та витрати потужності на привід вентиляторів.

4. Система охолодження повинна бути надійною в експлуатації, що можливе лише при всебічному відпрацюванні її елементів.

Розробка раціональних конструкцій систем охолодження пов'язана з вирішенням складних завдань інтенсифікації теплообміну, зменшення аеродинамічного опору, розмірів та маси громіздких елементів систем, покращення компонування їх у кузові тепловоза, запобігання попаданню в них відпрацьованих газів дизеля. Необхідно проведення спеціальних досліджень з урахуванням впливу на аеродинамічні характеристики пристроїв їх основних параметрів, елементів конструкції та режимів роботи, що залежать від швидкості повітряного потоку.

Всі перераховані вище особливості повинні відповідати основним економічним вимогам: витрати на виготовлення та експлуатацію системи охолодження мають бути мінімальними. Це призводить до необхідності

проведення техніко-економічного аналізу впливу різних факторів конструктивного, енергетичного, технологічного та експлуатаційного характеру на витрати, пов'язані з виготовленням та експлуатацією систем охолодження.

1.2 Схеми і конструктивні особливості систем охолодження

Система охолодження являє собою сукупність охолоджувальних пристроїв води, мастила і наддувочного повітря дизеля атмосферним повітрям і містить поверхневі теплообмінники (радіатори), вентиляторні установки, повітропроводи, жалюзі, системи циркуляції води і мастила, що складаються з груп секцій радіаторів, проміжних теплообмінників (для охолодження мастила і наддувочного повітря дизеля водою), насосів і трубопроводів. Для контролю і регулювання теплового режиму роботи дизеля призначені спеціальні прилади і пристрої [3-5].

На перших тепловозах (ТЕП60, 2ТЕ10Л і деяких інших) застосовували системи охолодження, які склалися з автономних контурів циркуляції води та масла дизеля, а також води, що охолоджує наддувочне повітря. Надалі на тепловозах стали застосовувати виключно системи, в яких наддувочне повітря і масло (дизеля, гідропередачі) охолоджуються в повітро- і маслоохолоджувачах водою. Найбільш характерні системи охолодження тепловозів ТЕП60, 2ТЕ10Л, М62, ТЕ109 (У300), 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕП75, 2ТЕ121 та ін. Їх можна поділити на одноконтурні, в яких теплота від мастила і наддувочного повітря відводиться водою, що охолоджує дизель, і двоконтурні, в яких мастило і наддувочне повітря охолоджуються водою в окремому контурі (рис. 1). Останні набули переважного поширення (тепловози 2ТЕ10Л, ТЕ10, ТЕП60, М62, 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕП75, 2ТЕ121 та ін.). Одноконтурні системи охолодження порівняно з двоконтурними мають простішу конструкцію систем циркуляції теплоносіїв (менша протяжність трубопроводів, наявність лише одного водяного насосу та ін.). Водночас у таких системах виникають додаткові труднощі у здійсненні роздільного регулювання температури теплоносіїв. В одноконтурній системі на тепловозах типу ТЕ109 з дизелем 1А-5Д49 (рис. 2) вода з дизеля

трубопроводом 5 надходить до секції радіатора 1, потім до теплообмінників 6 і 8 і в дизель.

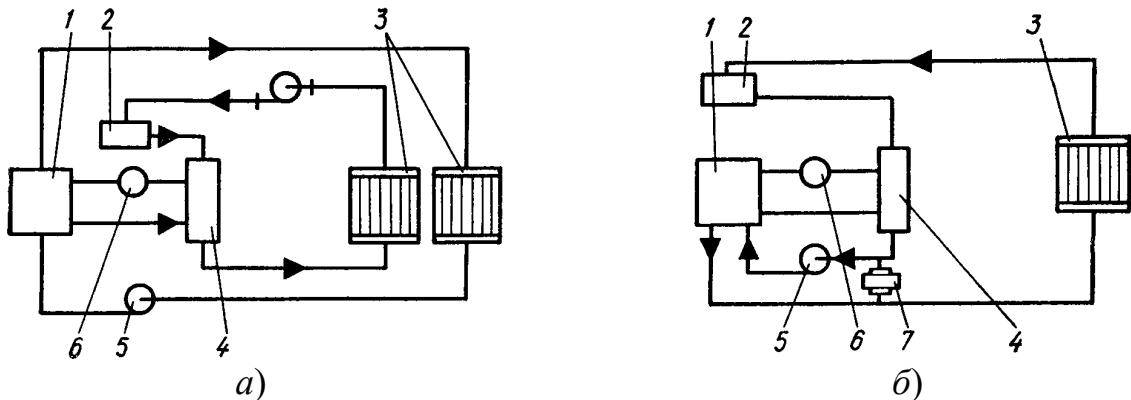


Рисунок 1 – Схеми систем охолодження дизелів тепловозів:

a – двоконтурна; *б* – одноконтурна; 1 – дизель; 2 – повітроохолоджувач;

3 – секції радіатора води; 4 – масло-охолоджувач; 5 – водяний насос;

6 – масляний насос; 7 – клапан перепуску води

На всіх інших вітчизняних тепловозах різних потужностей і призначення застосовують двоконтурні системи, в яких контур I («гарячий») призначений для циркуляції води, що охолоджує дизель, контур II («холодний») – для циркуляції води, що охолоджує масло та наддувочне повітря дизеля в теплообмінниках.

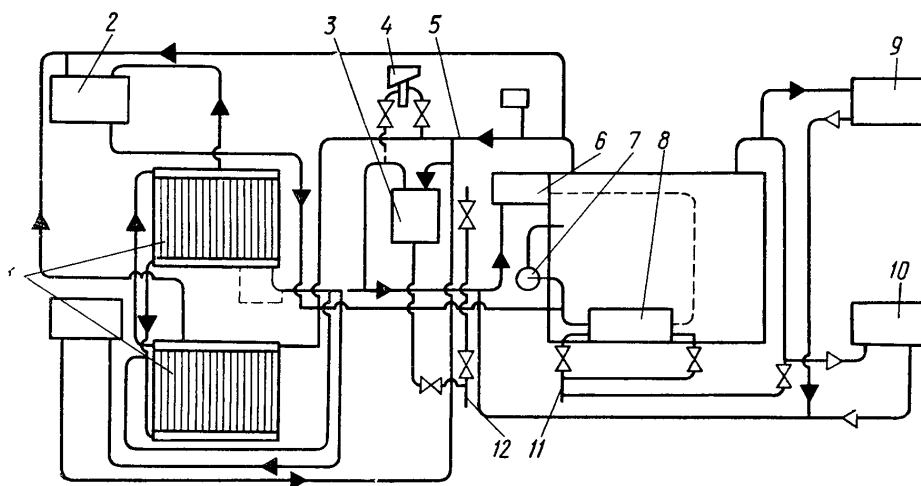


Рисунок 2 – Схема системи охолодження дизеля тепловоза ТЕ109:

1 – радіатор; 2 – розширювальний бак; 3 – паливопідігрівач; 4 – термореле; 5 – трубопровід

води, що виходить із дизеля; 6 – повітророзподільник; 7 – циркуляційний насос;

8 – маслоохолоджувач; 9 – бак умивальника; 10 – опалювально-вентиляційний агрегат;

11 – трубопровід для заправлення води в систему; 12 – трубопровід для зливання води із системи

До найдосконаліших систем можна віднести системи магістральних тепловозів третього покоління ТЕР70, 2ТЕ121 (рис. 3) та ін.

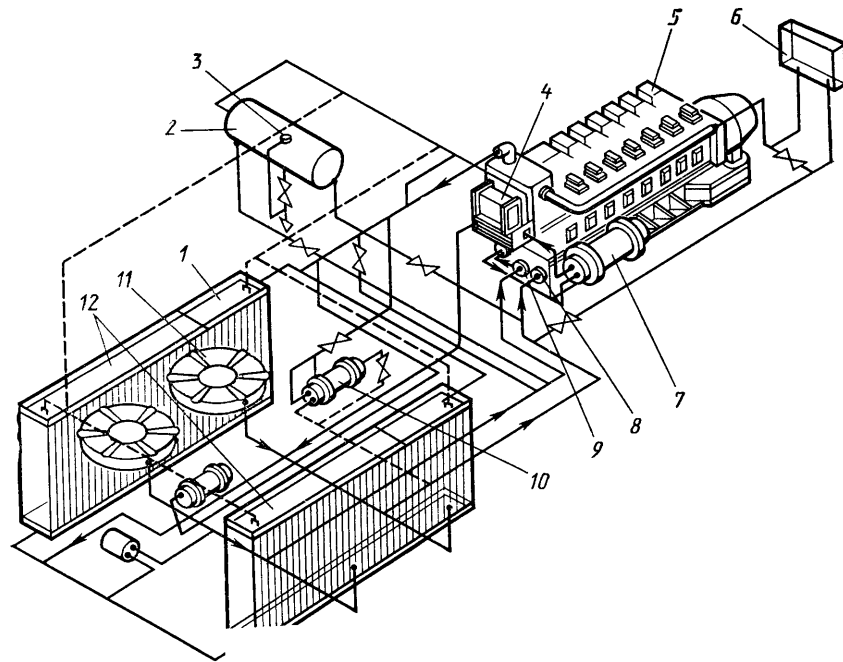


Рисунок 3 – Схема системи охолодження дизеля тепловоза ТЕР70:

1 – секція радіатора води, що охолоджує дизель; 2 – бак для води; 3 – пароповітряний клапан; 4 – охолоджувач наддувального повітря; 5 – дизель; 6 – опалювально-вентиляційний агрегат; 7 – водомасляний теплообмінник; 8 і 9 – водяні насоси другого та першого контурів відповідно; 10 – підігрівач палива; 11 – вентилятор; 12 – секції радіатора води, що охолоджує масло та наддувочне повітря дизеля

Схеми охолоджувальних пристроїв найкращих закордонних тепловозів наведено на рис. 4. Як правило, охолоджувальний пристрій складається з двох контурів, до того ж у тепловозах із гідروпередачею ТГ300, V320 (Німеччина) та D1000 (Великобританія) (рис. 4, *a* і *в*) в одному контурі циркулює вода, що охолоджує наддувочне повітря, в іншому – вода, що охолоджує масло дизеля, гідропередачі та безпосередньо дизель. Включення водомасляних теплообмінників у контур циркуляції води, що охолоджує дизель, стало можливим завдяки порівняно невеликому тепловиділенню дизеля в масло та вищій температурі масла порівняно з температурою води.

На тепловозах з електропередачею фірми «Alstom» (Франція), тепловозах ЧМЕЗ застосовано двоконтурну систему для охолодження в одному контурі

води, що охолоджує дизель, в іншому – води, що охолоджує масло і наддувочне повітря (рис. 4, *з*). Подібну схему використано і на одному з англійських тепловозів «Kestrel» потужністю 2941 кВт з контуром охолодження.

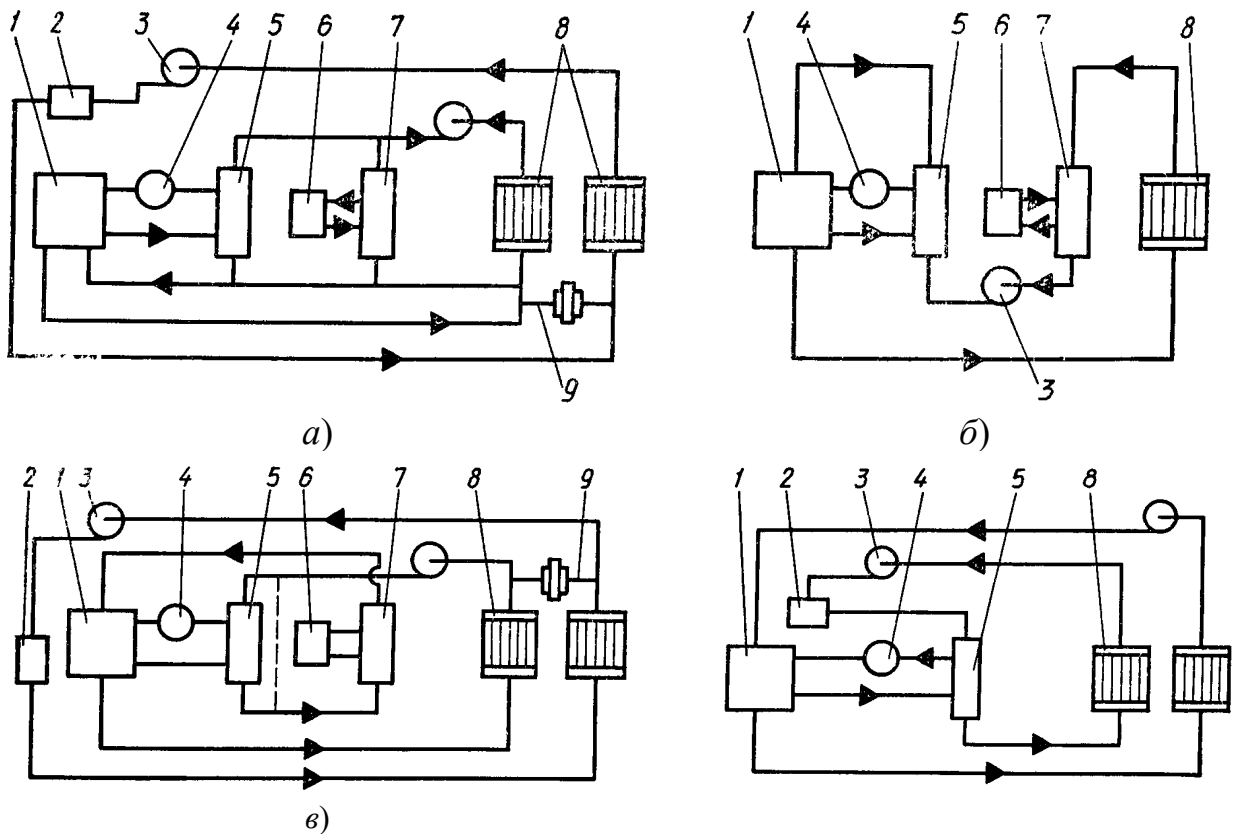


Рисунок 4 – Схеми систем охолодження дизеля тепловозів:

а – ТГ300, V320, D1000; *б* – фірми «Henschel-Werke»; *в* – фірми «Krauss-Maffei»; *г* – фірми «Alstom», ЧМЕЗ; 1 – дизель; 2 – повітроохолоджувач; 3 – водяний насос; 4 – масляний насос; 5 – водомасляний теплообмінник дизеля; 6 – гідропередача; 7 – водомасляний теплообмінник гідропередачі; 8 – радіатор води; 9 – перепускний пристрій

Вивчення сучасних систем охолодження двигунів внутрішнього згорання показує, що в системах охолодження застосовують автоматичний перепуск теплоносіїв. У цьому випадку система обладнана клапаном із термостатом.

На рис. 5 наведено схему системи водяного охолодження, яка об'єднана з системою охолодження повітря, яке надходить у двигун із турбокомпресора. Особливістю цієї схеми є можливість використання гарячої води, яка охолоджує дизель, для підігріву води, що охолоджує наддувочне повітря, що необхідно за низьких температур зовнішнього повітря. Для цієї мети обидві системи з'єднані трубопроводами і забезпечені відповідними термостатами. Термостат у системі

охолодження дизеля дає змогу замкнути накоротко систему охолодження за низьких температур охолоджувальної води, а термостат у системі охолодження наддувочного повітря пропускає частину гарячої води із системи охолодження дизеля в систему охолодження наддувочного повітря.

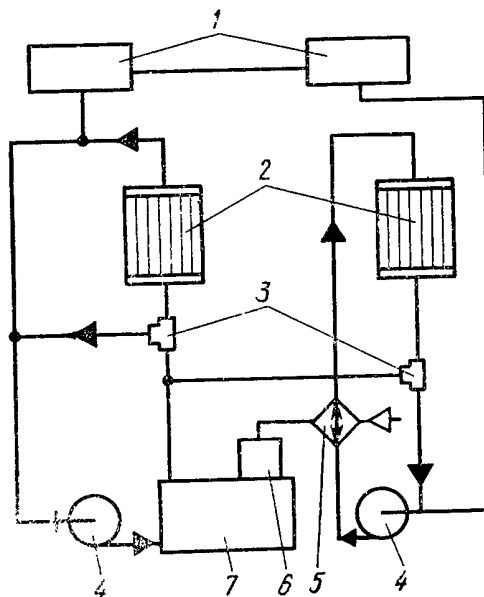


Рисунок 5 – Схема системи охолодження дизеля (Франція):

1 – водяні баки; 2 – радіатори води; 3 – термостати; 4 – водяні насоси;
5 – теплообмінник; 6 – турбокомпресор; 7 – дизель

На рис. 6 наведено схему системи охолодження (тепловози Німеччини), яка відрізняється тим, що на ній передбачено перепускний пристрій. В одному блоці розташовуються термодатчик, що омивається водою із системи охолодження дизеля, і клапан. За низької температури охолоджувальної рідини клапан перебуває в крайньому верхньому положенні, і теплоносій надходить у бак і далі на всмоктування, до насоса, минаючи радіатор. Це дає змогу навіть за низьких температур повітря підтримувати температуру охолоджувальної рідини на досить високому рівні. Під час нагрівання теплоносія термодатчик переміщує золотник вгору, відкриваючи прохід масла до поршня клапана. Поршень переміщається вниз, і пов'язаний з ним клапан перекриває прохід теплоносія до бака. У цьому разі теплоносій надходить у радіатор.

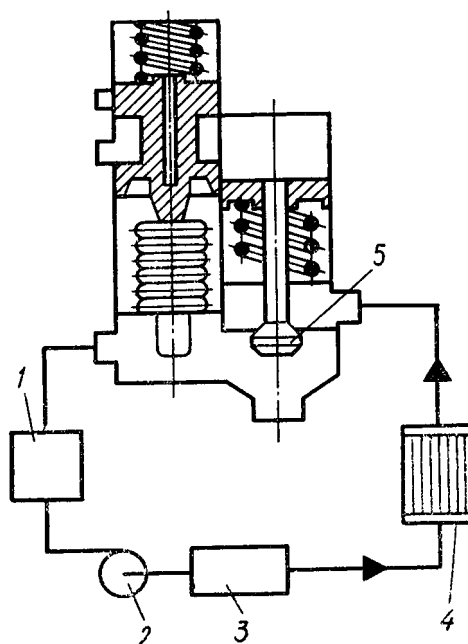


Рисунок 6 – Схема системи охолодження дизеля (Німеччина):

1 – дизель; 2 – водяний насос; 3 – водяний бак; 4 – радіатор води; 5 – термостат

Деяко незвична система охолодження двигуна з наддувом і двома колами циркуляції води (США), наведена на рис. 7. По великому колу вода проходить від насоса 5, що приводиться від двигуна, в сорочку охолодження і знову до насоса. По меншому колу циркуляції вода проходить через радіатор 8, потім через маслоохолоджувач 9 і теплообмінник 1 охолодження наддувочного повітря до насоса 10. Регулювання теплового режиму двигуна здійснюється за допомогою термостата 4, який частину води з меншого кола перепускає в більше коло циркуляції, і термостата 7, який перепускає частину води повз маслоохолоджувач.

Усі розглянуті системи охолодження дизелів обладнано обвідними каналами, що дають змогу замкнути трубопроводи системи охолодження накоротко і в такий спосіб унеможливити переохолодження двигуна під час роботи на малих навантаженнях або за низької температури атмосферного повітря, зменшити час прогріву, тощо, причому регулювання теплового режиму за допомогою такого перепуску розглядають як рівнозначне регулюванню зміною витрати повітря.

У дизелях із наддувом проблема підігріву наддувочного повітря під час

роботи на малих навантаженнях і за низької температури атмосферного повітря розв'язується шляхом перепускання частини води, що охолоджує дизель, у контур циркуляції води, що охолоджує наддувочне повітря.

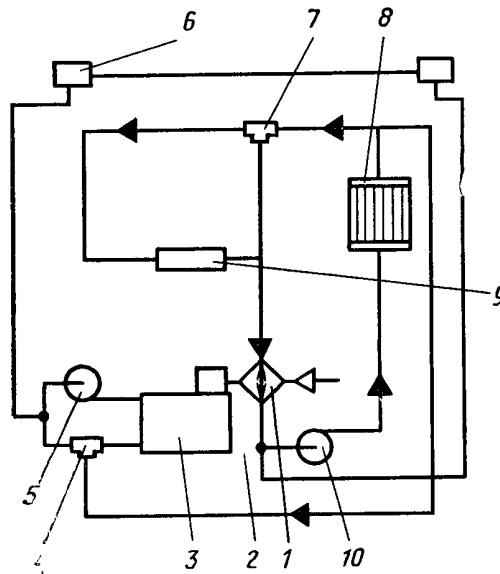


Рисунок 7 – Схема системи охолодження дизелів великої потужності (США):

1 – теплообмінник; 2 – турбокомпресор; 3 – двигун; 4 і 7 – термостати; 5 – водяний насос;

6 – водяний бак; 8 – радіатор води; 9 – водомасляний теплообмінник;

10 – допоміжний водяний насос

На тепловозах ТГ300, V320, і D1000 (Великобританія) застосовують перепуск води з контуру охолодження дизеля в контур охолодження наддувочного повітря. Це дає змогу підвищити температуру наддувочного повітря під час роботи тепловоза на малих навантаженнях у холодну пору року.

Фірма «General Electric» створила систему охолодження для тепловозів серії U25В, в якій оптимальна температура теплоносіїв підтримується автоматично в будь-яку пору року на всіх навантаженнях за рахунок організації перепуску води (рис. 8). Циркуляційний насос 6 подає охолоджувальну воду з дизеля безпосередньо в бак або через секції холодильника. Вода із секцій холодильника повертається в бак 3 і потім надходить у насос через водомасляний теплообмінник 2. Кількість води, що проходить через секції, регулюється за допомогою шести спарених клапанів 5, що працюють паралельно трьома групами. За низької температури охолоджувальної води

клапани закриті, і вся вода з двигуна надходить у бак в обхід секцій холодильника. З підвищенням температури води відповідні термостати спрацьовують і відкривають по черзі клапани всіх трьох груп. Температура води в системі підтримується в діапазоні 347...355 К.

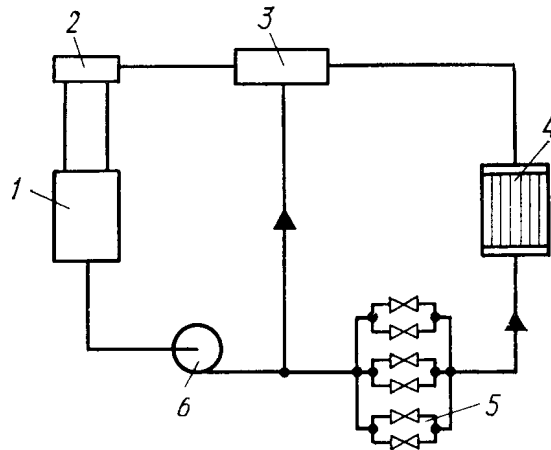


Рисунок 8 – Схема системи охолодження дизеля тепловоза U25В:

1 – дизель; 2 – водомасляний теплообмінник; 3 – бак для води; 4 – радіатор води; 5 – перепускні клапани; 6 – водяний насос

Для систем охолодження більшості тепловозів Великої Британії та США характерне застосування в контурі охолодження води дизеля надлишкового тиску (закриті системи охолодження). Такі системи дають змогу здійснити високотемпературне охолодження. Надлишковий тиск 0,04 Па дає змогу підвищити температуру кипіння до 382 К; за надлишкового тиску 0,1 МПа температура кипіння збільшується вже до 394 К.

На тепловозі потужністю 2022 кВт у контурі охолодження води дизеля застосовано закриту систему під надлишковим тиском 0,142 МПа (рис. 9). У другому, відкритому контурі охолоджуються наддувочне повітря і масло дизеля. Обидва контури обладнані перепускними клапанами 6 і 10 з термостатами.

У відкритій системі клапан пропускає воду повз теплообмінник доти, доки температура масла на виході з теплообмінника не перевищить 344 К. У закритій системі до досягнення певної температури частина води також пропускається в обхід радіатора.

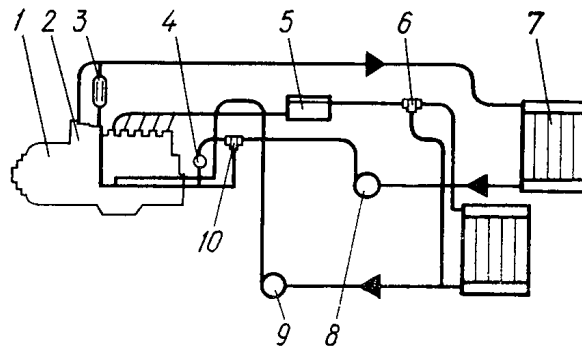


Рисунок 9 – Схема системи охолодження тепловоза:

1 – двигун; 2 – турбоповітродувка; 3 – повітроповітряний теплообмінник; 4 – водомасляний теплообмінник; 5 – водяний бак; 6 – перепускний клапан води системи охолодження дизеля; 7 – радіатор води; 8 – водяний насос відкритої системи; 9 – водяний насос системи під надлишковим тиском; 10 – перепускний клапан води, що охолоджує масло дизеля

На тепловозах 2ТЕ116, 2ТЕ10Л і подальших їхніх модифікаціях успішно застосовують системи перепускання нагрітого в радіаторах повітря в дизельне приміщення, а на тепловозах 2ТЕ116 останніх випусків вже використано досконалішу систему рециркуляції нагрітого в радіаторах повітря через дизельне приміщення і далі через секції радіатора. Це дає змогу не тільки унеможливити розрідження і підвищити температуру повітря в дизельному приміщенні, а й збільшити температуру повітря перед секціями радіаторів і в такий спосіб створити умови для їхньої надійнішої роботи.

Аналіз особливостей систем охолодження тепловозів показує, що для підтримання раціональної температури теплоносіїв широко застосовують перепуск води і мастила в обхід радіаторів і теплообмінників, перепуск води з одного («гарячого») контуру в інший («холодний»), закриті системи охолодження, підігрів води та ін. Це дає змогу виключити або значно скоротити період роботи тепловозного дизеля з низькими температурами охолоджувальних рідин, і тим самим значною мірою підвищити економічність і покращити умови його роботи.

1.3 Умови та режими роботи систем охолодження

Тепловози експлуатуються в різноманітних кліматичних умовах зі значними

коливаннями температури, атмосферних опадів у вигляді дощу і снігу. Атмосферне повітря містить різного роду забруднення (тверді частинки - пил і рідкі частинки - краплі вологи). Забрудненість повітря коливається в широких межах залежно від зони та умов експлуатації. Крім того, в повітрі під час забору його з кузова тепловоза міститься масляний туман.

У зв'язку з цим до систем охолодження тепловозів пред'являють різноманітні суперечливі вимоги; наприклад, вони повинні, з одного боку, забезпечити надійну роботу дизеля, а з іншого боку, витрати потужності на функціонування систем не повинні перевищувати 10... 11% потужності дизеля.

Охолоджувальний пристрій має підтримувати необхідні температурні режими роботи дизеля за будь-якого значення температури навколишнього середовища і навантаження силової установки тепловоза [6-7].

Під час розрахунку охолоджувальних пристроїв вітчизняних тепловозів за розрахункове значення температури навколишнього повітря приймають 313...318 К.

У вітчизняних магістральних тепловозах із двотактними дизелями (типу Д100) технічними умовами на експлуатацію передбачено максимально допустимі значення температури води до 368 К та масла до 359 К, а середньоексплуатаційні значення температури води та мастила перебувають у діапазоні 333... 353 К. Технічними умовами на експлуатацію чотиритактних дизелів (типу Д49 і Д70) нових тепловозів, зокрема тепловозів великої секційної потужності, допускаються вищі рівні максимально допустимих значень температур теплоносіїв на виході з дизелів (води - до 378 К, масла - до 361 К).

Специфіка експлуатації тепловозів така, що тепловозний дизель 30...35% часу працює з номінальним навантаженням і до 35% - без навантаження, коли потужність дизеля витрачається лише на власні потреби і привід допоміжних механізмів тепловоза. Досвід експлуатації серійних магістральних тепловозів свідчить про те, що системи охолодження силових установок не забезпечують раціональних значень температури теплоносіїв у всьому діапазоні режимів

роботи тепловоза. У холодну пору року під час роботи дизеля в режимі холостого ходу і на часткових навантаженнях, близьких до режиму холостого ходу, температура теплоносіїв виявляється значно нижчою за допустиму. Так, під час роботи тепловозів без навантаження і зміні температури навколишнього повітря від 263 до 288 К температура води і масла змінюється в межах 323 ... 348 К. За нижчої температури повітря слід очікувати зменшення температури води та масла на 10... 15 К.

Низька температура води і масла в системах охолодження дизелів тепловозів за непрацюючих вентиляторів зумовлена значною протяжністю трубопроводів систем і великою площею поверхні теплообміну радіаторів, що призводить до порівняно інтенсивного відведення теплоти від води за рахунок природної конвекції.

Сумарні втрати теплоти можуть перевищувати порівняно невеликі тепловиділення в дизелі та призводити до значних знижень температури теплоносіїв у процесі експлуатації, а також ускладнювати процес прогрівання силової установки на зупинці.

Це свідчить про необхідність подальшого вдосконалення охолоджувальних пристроїв та способів контролю надійної роботи системи охолодження з метою не тільки зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище, а й підігріву теплоносіїв у зимовий час для підтримання їхньої температури на потрібному рівні, оскільки економічність, потужність і довговічність дизелів значною мірою визначаються тепловим режимом їхньої роботи.

Для кожного конкретного типу двигуна існують раціональні значення температури теплоносіїв у системах охолодження, які для відкритих систем відповідають максимально допустимим значенням, передбаченим технічними умовами на експлуатацію дизеля, а для закритих систем можуть сягати максимально можливих значень, які визначаються надійністю дизеля. При цьому система автоматичного регулювання температури теплоносіїв повинна підтримувати раціональні рівні температури під час роботи тепловоза на режимі холостого ходу і часткових навантаженнях.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано вимоги конструктивного, енергетичного, технологічного та експлуатаційного характеру до систем охолодження тепловозів.

2. Розглянуто конструктивні особливості систем охолодження тепловозів та схеми їх функціонування. Відзначено, що найбільш поширеною є двоконтурна система охолодження, в якій «гарячий» контур використовується для охолодження дизеля, а «холодний» для охолодження масла та наддувочного повітря.

3. Встановлено, що системи охолодження силових установок не забезпечують раціональних значень температури теплоносіїв у всьому діапазоні режимів роботи тепловоза, що суттєво впливає на їх технічний стан протягом життєвого циклу.

2 МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

В елементах систем охолодження (теплообмінних апаратах, повітропроводах, шахтах тощо) відбуваються складні гідродинамічні та теплові процеси, які пов'язані з рухом теплоносіїв, які омивають поверхні теплообміну. Режим течії теплоносіїв змінюється від ламінарного до турбулентного. Процеси тепловіддачі, теплопровідності та теплопередачі можуть мати як стаціонарний, так і нестаціонарний режим.

2.1 Засоби вимірювань та їхня характеристика

Експериментальні дослідження зазвичай пов'язані з прямими, непрямими, сукупними або спільними вимірами великої кількості однорідних параметрів різними засобами вимірювання (механічними, електричними, пневматичними та ін.) [8-9]. Для цього застосовують вимірювальні установки, що містять сукупність вимірювальних заходів, приладів, перетворювачів та інших пристроїв, які забезпечують отримання вимірювальної інформації в необхідній формі. Під час дослідження систем охолодження тепловозів головним чином реєструють температуру, тиск, швидкість і витрату теплоносіїв.

Для вимірювання температури газів і рідин широко застосовують рідинно-скляні термометри (лабораторні, технічні, зразкові та спеціальні), термоелектричні термометри (термопари), електричні термометри опору та терморезистори. Під час вимірювання температури потоку газу або рідини з високим тиском термометри встановлюють у спеціальних гільзах, які заповнюються для підвищення чутливості термометра компресорним маслом ($T < 473$ К) або мідною тирсою ($T > 473$ К). Виступаючу частину термометра зазвичай ізолюють.

Чутлива частина термометра повинна розташовуватися в середині потоку. Швидкість руху теплоносіїв у системах охолодження, як правило, не перевищує 70 м/с. Тому вимірюють повну температуру потоку, яка в цьому випадку

відрізняється від статичної не більше ніж на 0,5%. Термометри перед використанням піддають градуюванню; вони залежно від умов експерименту мають забезпечувати точність вимірювання від 0,01 до 0,5 К. За умови застосування термометрів опору та терморезисторів похибка вимірювання становить приблизно 0,1%, а в разі використання термопар вона може досягати 0,5%. Для автоматизації експерименту доцільно використовувати автоматичні потенціометри, що мають уніфіковані вихідні електричні та пневматичні сигнали, класу точності 0,25 і 0,5.

Для вимірювання тиску середовища в системах охолодження використовують: рідинні прилади з видимим рівнем, вантажопоршневі манометри, прилади з пружними чутливими елементами (трубкою Бурдона, гофрованими мембранами, сильфонами) тощо. Рідинні прилади з видимим рівнем застосовують як диференціальні манометри, манометри та вакуумметри для вимірювання надлишкового тиску газів до 0,1 МПа. Для вимірювання невеликих різниць тисків (до 1 кПа) служать мікроманометри.

Похибка у визначенні тиску за шкалою u-подібних приладів не перевищує відповідно ± 2 і ± 1 мм, а клас точності мікроманометрів становить 0,5 і 1,0.

Прилади з пружними чутливими елементами виконують у вигляді манометрів надлишкового й абсолютного тисків, диференціальних манометрів. Класи точності таких приладів не повинні перевищувати 2,5. Доцільно застосовувати зразкові манометри класу точності 0,15; 0,25 і 0,4 та самописні манометри класу точності 0,6; 1,0 і 1,5.

Для одночасного вимірювання тиску у великій кількості точок доцільно застосовувати групові манометри. Вантажопоршневі манометри вирізняються високою точністю вимірювання тиску (клас точності 0,02...0,05 за температури довкілля 288...298 К) і тому використовуються для перевірки манометрів інших типів.

Для вимірювання статичного і повного тисків у потоці використовують приймачі тиску різних конструкцій (рис. 10). Для вимірювання статичного тиску в дозвуковому потоці використовують насадки Прандтля (рис. 10, e), а як

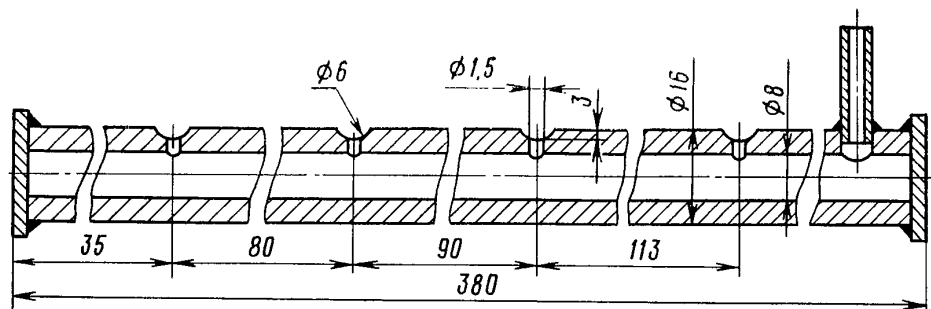
приймач повного тиску – трубки Піто (рис. 10, б). У них тиск реєструється з високою точністю при відхиленні напрямку потоку від осі трубки Прандтля до $\pm 8^\circ$, а осі трубки Піто – до $\pm 40^\circ$.

Для вимірювання статичного тиску в каналах (повітропроводах) рекомендується робити в стінках отвори діаметром 0,2... 0,5 мм при відношенні товщини стінки до діаметра отвору понад три.

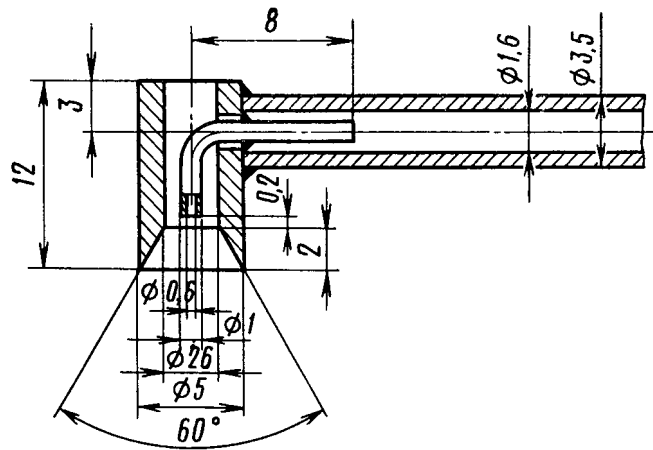
Для вимірювання швидкості газів і рідин широко застосовують чашкові та крильчасті анемометри, різноманітні пневматичні насадки (трубки Піто-Прандтля та ін.), циліндричні та кульові зонди, термоанемометри (похибка вимірювання не перевищує +1%). Комбіновані трубки Піто-Прандтля (рис. 10, в) призначені для вимірювання швидкостей ≥ 5 м/с. При цьому допускається відхилення носика трубки від напрямку потоку до $+5^\circ$. За швидкості потоку менше 5 м/с слід застосовувати термоанемометри з вольфрамовим або платиновим дротом діаметром 0,005...0,2 мм, завдовжки 3...10 мм, температура якого повинна підтримуватися в межах 473... 673 К.

Витрату теплоносіїв (рідин і газів) вимірюють витратомірами змінного перепаду тиску – плоскими діафрагмами (рис. 10, д), нормалізованими соплами і соплами Вентурі (рис. 10, з), витратомірами пневматичного типу (з насадками статичного і повного тисків), витратомірами постійного перепаду тиску (ротаметри, поплавкові та поршневі витратоміри), тахометричними витратомірами тощо.

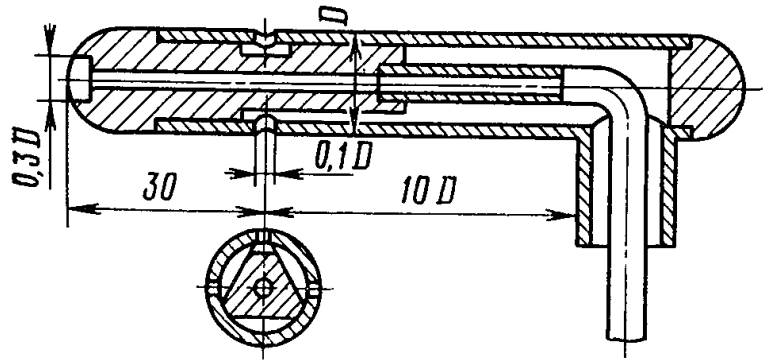
Останніми роками промисловістю було розроблено швидкісні турбінні та кулькові лічильники-витратоміри з безконтактним перетворенням частоти обертання чутливих елементів в електричні імпульси для вимірювання невеликих (до 0,015 м³/год) і великих (до 2500 м³/год) об'ємних витрат рідин.



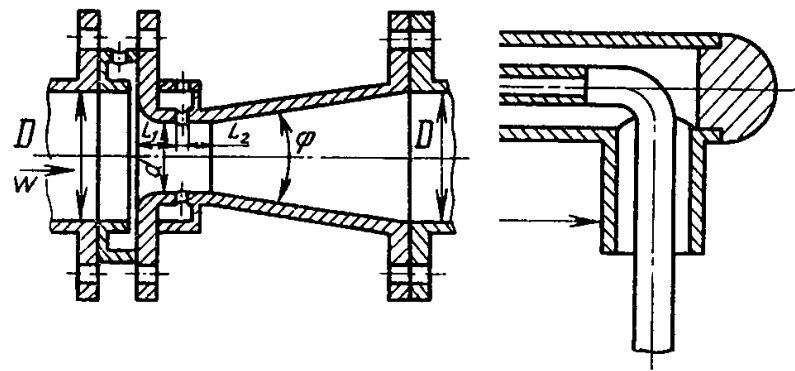
а)



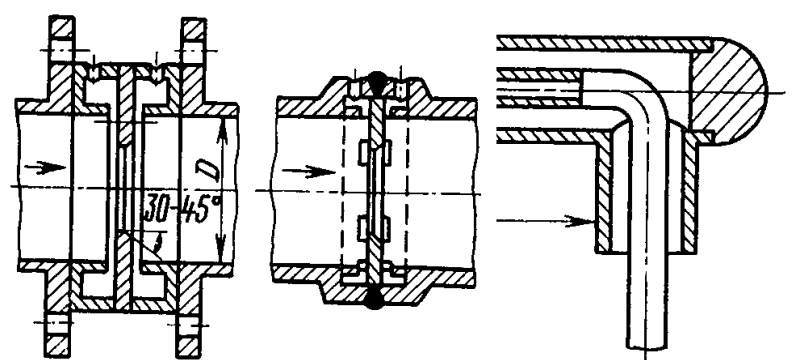
а)



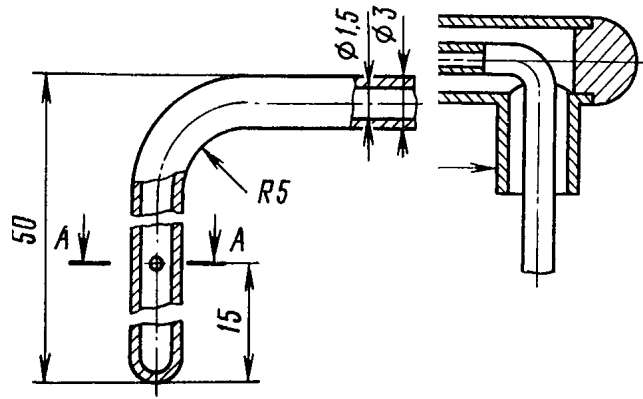
б)



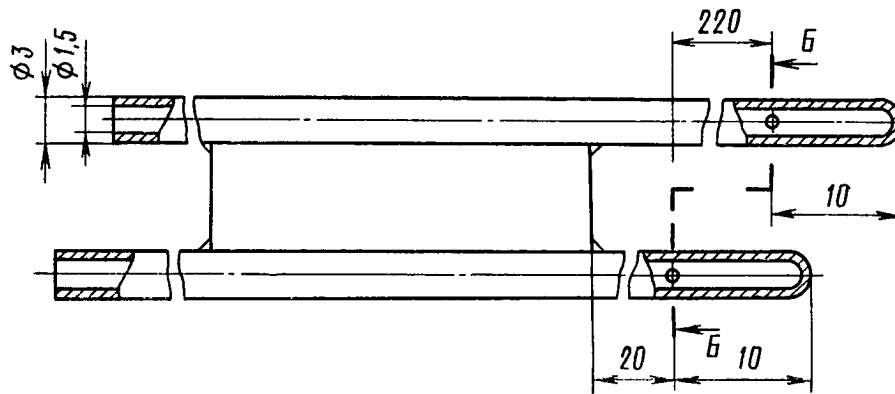
в)



г)



e)



ж)

Рисунок 10 – Прилади для вимірювання тиску та витрати рідин і газів:

a – трубка для вимірювання середнього значення повного тиску; *б* – трубка для вимірювання повного тиску; *в* – комбінована трубка Піто-Прандтля; *г* – стандартне сопло Вентурі; *д* – стандартні діафрагми; *е* – трубка для вимірювання статичного тиску; *ж* – трубки для вимірювання статичного тиску перед і за секціями радіатора

2.2 Енергетичні випробування охолоджувальних пристроїв

Випробування теплообмінників на стендах. Методи досліджень моделей та натурних теплообмінників різних типів не мають принципових відмінностей. Розглянемо основні тези методики енергетичних випробувань теплообмінника рекуперативного типу з прикладу випробувань секцій радіаторів дизелів.

На рис. 11 наводиться схема стенда для випробування секцій радіаторів, в якому з основного бака 3 насосом 16 підігріта електричними нагрівачами 4 вода прокачується через секцію 7. Температура води на вході та виході з секцій вимірюється термопарами 5. У баку 3 температура води постійно підтримується

на рівні 85°C – термометр *18* з магнітною перестановкою контакту управляє електричним колом нагрівальних елементів *4*.

Витрата води регулюється вентилями *17* і контролюється час заповнення мірного бака *1* відомого об'єму. Клапан *2* на час виміру щільно замикає мірний бак. Гідравлічний опір при проходженні води через дослідну секцію вимірюється за допомогою диференціального манометра *15*. Атмосферне повітря через секцію просмоктується осьовим вентилятором *12*. Температура повітря на вході в секцію та виході з неї вимірюється термометрами опору *6* та *10*.

При виході з конфузора повітря потрапляє в циліндричний ділянку аеродинамічної труби *9* з діафрагмою *11*. Зміна витрати повітря через секцію здійснюється дросельним пристроєм *13*. Витрата повітря вимірюється за допомогою діафрагми *11* і *U*-подібного манометра *14*. Аеродинамічний опір секції вимірюється пневмометричними трубками *8*, приєднаними до *U*-подібних водяних манометрів *14*.

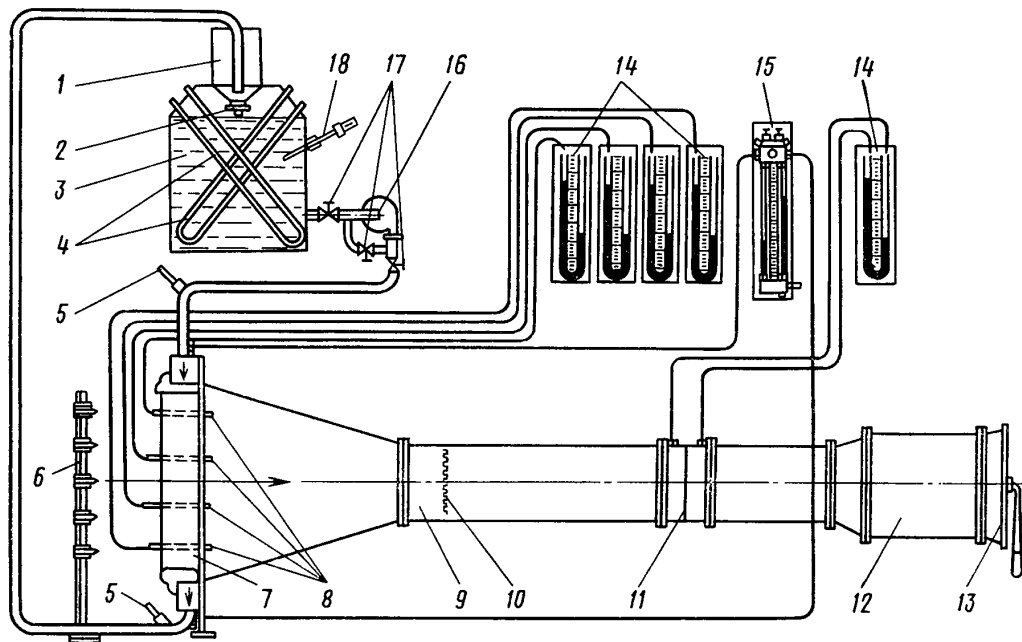


Рисунок 11 – Схема стенду для випробувань секцій радіаторів:

- 1* – мірний бак; *2* – запірний клапан; *3* – основний бак; *4* – нагрівальні елементи;
- 5* – термопари; *6* і *10* – термометри опору; *7* – секція радіатора; *8* – пневмометричні трубки;
- 9* – ділянка аеродинамічної труби; *11* – діафрагма; *12* – вентилятор; *13* – дросельний пристрій;
- 14* – *U*-подібні манометри; *15* – диференціальний манометр; *16* – насос; *17* – вентилялі;
- 18* – термометр з магнітною перестановкою контакту

Випробування охолоджувальних пристроїв на тепловозі. Теплообмінники (радіатори, маслоохолоджувачі та ін.) піддають випробуванням у процесі контрольних реостатних теплотехнічних випробувань тепловозів. При цьому встановлюють ефективність роботи теплообмінників та систем охолодження в цілому, рівень теплового режиму дизеля за температурами теплоносіїв та його відповідність вимогам технічних умов (ТУ), визначають теплові, гідравлічні та аеродинамічні характеристики теплообмінних пристроїв.

У процесі проведення випробувань вимірюють:

- температуру теплоносіїв на вході та виході з дизеля;
- температуру теплоносіїв на вході та виході з теплообмінників;
- температуру охолоджуючого повітря на вході (термометр 5) у секції радіатора та на виході (термометри 7 та 9) з них (рис. 12);
- подачу насосів (води та масла);
- гідравлічний опір основних елементів систем (дизеля, теплообмінників та ін.);
- аеродинамічний опір основних елементів систем (секцій радіаторів, шахти та ін) повітряного тракту (рис. 12, позиції 5-12);
- повний напір, що розвивається вентилятором (вентиляторами) (рис. 12, позиції 7-10);
- частоту обертання та потужність, що споживається приводом вентилятора;
- параметри атмосферного повітря (тиск, вологість та ін.);
- основні параметри дизеля, що характеризують режим його роботи, у тому числі потужність та економічність.

Для вимірювання цих параметрів слід застосовувати прилади, що забезпечують максимальну автоматизацію та припустиму похибку вимірювання.

При випробуваннях охолоджуючих пристроїв тепловозів витрату повітря визначають по аеродинамічному опору секцій радіатора, який вимірюють спеціальними пневмометричними трубками (див. рис. 10), аеродинамічний опір

шахти - за величиною статичного та повного тисків у шахті в перерізах Б-Б і А-А вентилятора (рис. 12) за допомогою спеціальних пневмометричних трубок (рис. 10), а потужність, що витрачається на привід вентиляторів - тензометруванням вертикального карданного валу приводу вентилятора при гідромеханічному приводі та електричним методом при електроприводі.

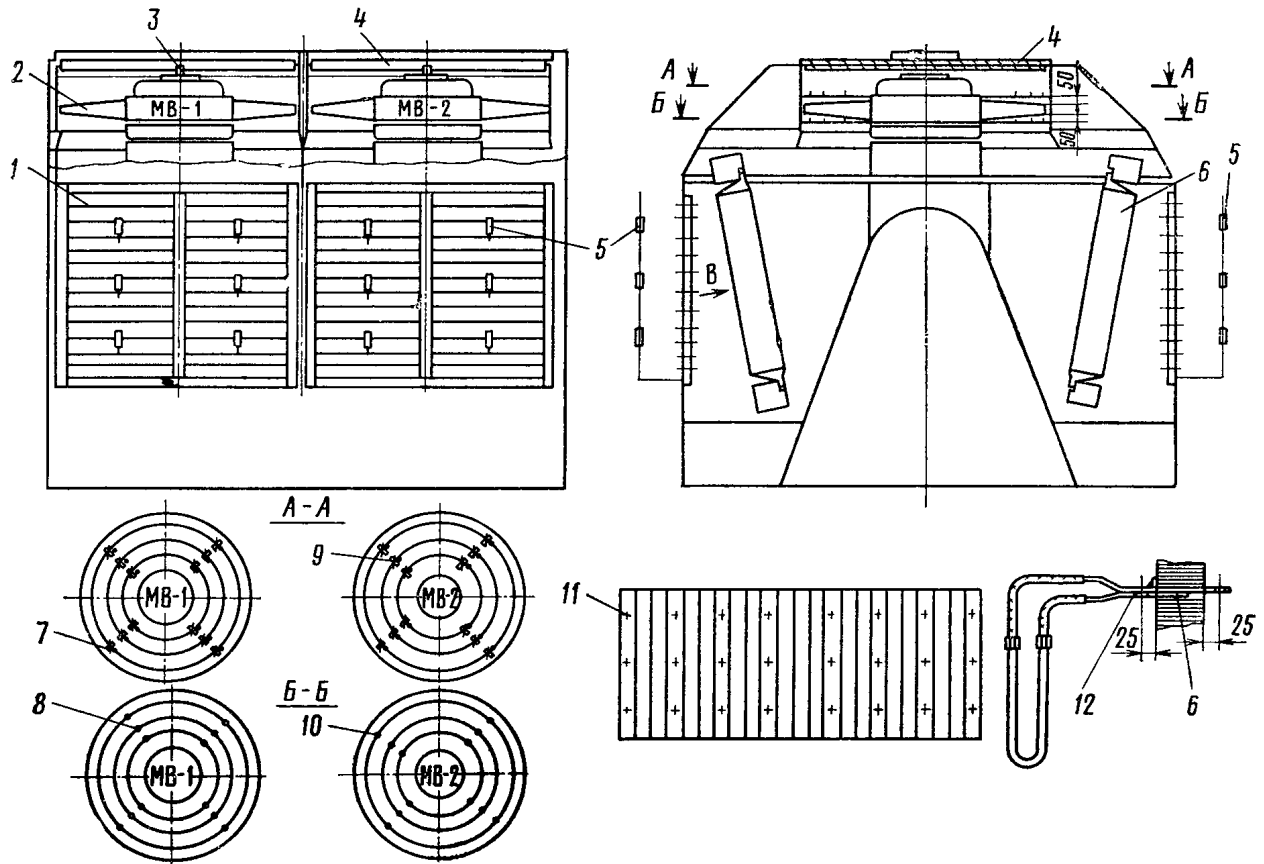


Рисунок 12 – Схема розташування приладів в охолоджувальному пристрої:
 1 – бічні жалюзі; 2 – мотор-вентилятор (МВ); 3 – датчик частоти обертання МВ; 4 – верхні жалюзі; 5 – термометри опору для визначення температури повітря перед радіатором;
 6 – панелі радіатора; 7 і 9 – термометри опору та трубки повного тиску відповідно над МВ-1 та МВ-2; 8 і 10 – трубки повного тиску відповідно перед МВ-1 та МВ-2; 11 – схема розташування зондів 12 для вимірювання аеродинамічного опору секцій радіаторів

Перед початком випробувань необхідно провести підготовчі роботи:

- виготовити ділянки трубопроводів систем циркуляції води та масла з витратомірними діафрагмами, які градуують на спеціальних стендах;

- попередньо випробувати секції радіатора на стенді для отримання їх енергетичних характеристик (теплорозсіювальної здатності, гідравлічного та аеродинамічного опорів);

- обладнати системи охолодження контрольно-вимірювальними приладами, які попередньо піддати повірці та спеціальному градуюванню;

- перевірити відповідність зовнішньої характеристики дизель-генератора вимогам ТУ.

Контрольні реостатні теплотехнічні випробування тепловоза проводити, використовуючи позиції контролера 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 та 15.

Показання з контрольно-вимірювальних приладів знімати при тепловому режимі роботи силової установки тепловоза не рідше ніж через 1 год після пуску або 0,5 год після переходу з однієї позиції на іншу. Режим вважається таким, що встановився, якщо протягом 15 хв температури теплоносіїв дизеля і перепади температур в теплообмінниках залишаються постійними.

В результаті випробувань отримати залежності температур теплоносіїв на виході дизеля, на вході і виході теплообмінників в залежності від температури атмосферного повітря при роботі тепловоза на номінальному режимі при повністю відкритих жалюзях, закритих перепусках теплоносіїв, перекритих вентилях подачі води до паливопідігрівача резервуару протипожежної установки, бачку санвузла, при номінальному режимі роботи вентиляторів та відключеній системі автоматичного регулювання температури (САРТ). Визначити подачу води та масла насосами та повітря вентиляторами залежно від режиму роботи дизеля (частоти обертання колінчастого валу).

Встановити залежності кількості теплоти, що виділяється дизелем у воду та масло та відводиться від наддувочного повітря, від температури атмосферного повітря. Підрахувати витрату палива та повітря, що споживаються дизелем, а також потужність, що споживається вентиляторами, залежно від частоти обертання колінчастого валу. Визначити повні напори, що розвиваються насосами, та гідравлічний опір основних елементів систем залежно від частоти обертання колінчастого валу дизеля. Встановити залежність повного напору

вентилятора (вентиляторів) та аеродинамічного опору основних елементів (радіаторів, шахти та ін) повітряного тракту від частоти обертання валу вентилятора.

Після проведення контрольних реостатних випробувань, в результаті яких силову установку та допоміжне обладнання тепловоза, у тому числі теплообмінні апарати, системи охолодження, налаштувати та привести у відповідність до вимог ТУ, провести тягово-теплотехнічні випробування тепловоза. Ці випробування передбачають визначення теплорозсіювальної здатності охолоджувальних пристроїв, їх основних енергетичних характеристик та тепловиділення дизеля під час руху тепловоза зі складом. Для цього використовують спеціальні вагони-лабораторії з контрольно-вимірювальною апаратурою, а останні роки - з автоматизованими вимірювальними та обчислювальними комплексами на базі ЕОМ.

Такі випробування проводять у літній, а потім у зимовий період для всебічної перевірки надійності роботи охолоджувальних пристроїв та САРТ теплоносіїв.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що основними факторами оцінки технічного стану системи охолодження тепловоза є: температура, тиск, швидкість і витрата теплоносіїв.
2. Здійснено структурування переліку робіт перед початком випробувань.
3. Наведено перелік показників роботи системи охолодження, які отримані при проведенні енергетичних випробувань секцій радіаторів.

3 РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ

3.1 Оцінка теплорозсіювальної здатності охолоджуючих пристроїв по перепаду температури води в радіаторах

Метод широко застосовується при діагностиці систем охолодження автомобільних двигунів. Він заснований на припущенні, що при роботі двигуна в режимі з постійним навантаженням та частотою обертання колінчастого валу тепловиділення від двигуна в охолоджуючу рідину стабільне. При цьому витрата охолоджуючої рідини через радіатор залежить від гідравлічного стану внутрішніх порожнин, і при чистих радіаторах ця витрата відома (нормативне паспортне значення). У міру забруднення радіатора витрата охолоджуючої рідини через нього падає, а перепад температур на вході та виході охолоджуючої рідини в охолоджуючому пристрою зростає. Кількісно це можна виразити залежністю:

$$V = \frac{Q_0}{V_0 \cdot c_{p1} \cdot \rho_1 (t'_1 - t''_1)} \frac{(\text{факт})}{(\text{норма})}, \quad (3.1)$$

де V – відносна зміна витрати охолоджуючої рідини через радіатор (факт) порівняно з очікуваним значенням (норма);

Q_0 – тепловиділення від двигуна в охолоджуючу рідину, що відповідає заданому режиму його роботи, Вт;

V_0 – значення витрати охолоджуючої рідини через радіатор, що відповідає заданій частоті обертання колінчастого валу дизеля, м³/с;

ρ_1 – щільність охолоджувальної рідини, кг/ м³;

c_{p1} – питома теплоємність охолоджувальної рідини, Дж/(кг·°С);

t'_1 і t''_1 – температура охолоджувальної рідини відповідно при вході в радіатор та при виході з нього, °С.

Однак, щоб використовувати вираз (3.1), необхідно заздалегідь встановити очікувані значення цих параметрів для конкретного тепловоза і занести ці параметри в паспорт (формуляр). Це можна зробити лише під час проведення реостатних випробувань тепловозів. Слід зазначити, що тепловідведення дизеля при роботі на тому самому режимі не залишаються постійними, а залежать від зовнішніх умов, у тому числі від температури атмосферного повітря, температур масла та охолоджуючої рідини, а також від розрідження повітря на вході в турбокомпресор і від тиску газів на виході з турбокомпресора. Величини температури охолоджуючої рідини та масла залежать також від температури атмосферного повітря та здатності САРТ підтримувати їх встановлені значення. Отже, для того щоб користуватися даним методом, необхідно враховувати ряд інших параметрів.

Також, існує можливість зміни значення витрати охолоджуючої рідини з причин, що не залежать від стану радіаторів. Наприклад, ця зміна може бути викликана зносом робочого колеса водяного насоса або забрудненням внутрішніх водяних порожнин каналів охолодження дизеля, охолоджувача наддувочного повітря, охолоджувача масла, їх трубопроводів та ін.

Отже, в процесі експлуатації тепловоза для оцінки стану його охолоджуючих пристроїв з перепаду температур води в радіаторах потрібно періодичне підтвердження та уточнення очікуваних параметрів тепловиділень (Q_0) та витрат охолоджувальної рідини через радіатор (V_0).

Слід відзначити, що ігнорування викладених проблем призведе до похибки визначення фактичного стану охолоджувального пристрою, а ретельний облік усіх факторів – до високої трудомісткості та вартості методу.

3.2 Оцінка теплорозсіювальної здатності охолоджуючих пристроїв по перепаду температури повітря

Метод заснований на припущенні, що при роботі двигуна з фіксованим навантаженням і частотою обертання колінчастого валу тепловиділення від двигуна в охолоджувальну рідину фіксовані. При цьому витрата повітря через

радіатор залежить від аеродинамічного стану і при чистих радіаторах ця витрата відома. У міру забруднення радіатора витрата повітря через нього падає, а перепад температур на вході та виході зростає. Кількісно це можна виразити залежністю:

$$G_2 = \frac{Q_0}{G_0 \cdot c_{p2} (t_2'' - t_2')}, \quad (3.2)$$

де G_2 – відносна зміна витрати повітря через радіатор порівняно з очікуваним значенням;

G_0 – очікуване значення масової витрати повітря через радіатор, що відповідає заданій частоті обертання колінчастого валу дизеля, кг/с;

c_{p2} – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°С);

t_2' і t_2'' – температура повітря відповідно при вході в радіатор та при виході з нього, °С.

У більшості випадків виконання охолоджуючих пристроїв тепловозів температура повітря при вході в радіатор за значенням дорівнює температурі атмосферного повітря.

Однак, через особливості теплопередачі поле температур повітря після радіатора дуже нерівномірне по площі. Для виключення помилки вимірювання усередненого значення температури потрібно встановити велику кількість датчиків.

Слід зазначити, що поле температур повітря після радіатора дуже чутливе до різних змін аеродинамічної схеми руху повітря, пов'язаних з факторами технічного стану охолоджувального пристрою. Так, наявність недемонтованих утеплювальних щитів вимагатиме перегляду схеми встановлення датчиків, а відсутність ущільнювальних закладень - до спотворення усередненого значення температури повітря після радіатора. При цьому достовірність способу залежить не лише від кількості таких датчиків та правильності визначення

місць їх встановлення, а й від безвідмовності роботи кожного датчика.

3.3 Оцінка теплорозсіювальної здатності охолоджуючих пристроїв по перепаду тиску охолоджувальної рідини в радіаторі

Застосовуючи даний метод необхідно врахувати припущення, що при роботі двигуна з фіксованим навантаженням та частотою обертання колінчастого валу витрата охолоджувальної рідини через радіатор постійна і залежить від його гідравлічного опору.

При чистих радіаторах цей параметр відомий. У міру забруднення опір радіатора зростає. Кількісно це можна виразити залежністю:

$$\zeta = \frac{P' - P''}{P'_0 - P''_0} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2, \quad (3.3)$$

де ζ – відносне значення зміни питомого опору радіатора;

P'_0 і P''_0 – очікувані значення тисків охолоджувальної рідини відповідно при вході в радіатор та при виході з нього, кПа;

V_0 – значення витрати охолоджувальної рідини через радіатор, м³/с;

P' і P'' – виміряні значення тисків охолоджувальної рідини відповідно при вході в радіатор та при виході з нього, кПа;

V – виміряне значення витрати охолоджувальної рідини через радіатор, м³/с.

Особливістю запропонованого методу є те, що для достовірної оцінки теплорозсіювальної здатності охолоджуючого пристрою по перепаду тисків точність вимірювань гідравлічного опору радіатора $\Delta P = P' - P''$ і витрати рідини через нього V повинна бути дуже висока.

3.4 Оцінювання тепловізійним способом

Одним із технічних засобів контролю якості роботи секцій холодильника можна запропонувати тепловізор. Тепловізійний контроль – це безконтактний

спосіб контролю температури, який дозволяє зняти показання з поверхонь теплообміну секцій холодильника тепловоза та оцінити за результатами контролю ефективність роботи секцій охолодження та системи охолодження тепловоза загалом.

Крім того, використання тепловізійного контролю дозволить визначити технічний стан водоповітряних секцій холодильника перед встановленням тепловоза на ремонт. Це, у свою чергу, дозволить зменшити час на діагностування під час ремонту та збільшити якість ремонту. Секції холодильника є одним з основних вузлів системи охолодження тепловоза, тому від технічного стану цих вузлів залежить надійність та ефективність роботи тепловоза в цілому.

Для проведення діагностування необхідна попередня підготовка об'єкта дослідження (секцій холодильника), яка буде полягати у наступному:

- продування стисненим повітрям секцій холодильника;
- усунення підсмоктування повітря в шахту холодильника;
- перевірка закритості запірної арматури міжконтурного перепуску.

При виконанні зйомки необхідно стежити за тим, щоб поверхня об'єкта вимірювання знаходилася в прямій видимості під кутом не менше 60°. Вимірювання необхідно проводити після прогрівання дизеля на максимальній позиції. Отже, пропонується для таких досліджень використовувати тепловізор Testo 875i.

Висновки до розділу 3

1. Для комплексної оцінки технічного стану системи охолодження тепловоза запропоновано використовувати метод перепаду температури води в радіаторах, перепаду температури повітря та перепаду тиску охолоджувальної рідини.

2. В якості альтернативи може бути використано тепловізійний спосіб, із використанням тепловізора Testo 875i.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

4.1 Вимоги, що пред'являються до виробничих територій та обладнань, для забезпечення охорони праці працівників

Автомобільні дороги, тротуари та пішохідні доріжки території депо, ПТОЛ повинні мати тверде покриття.

Дороги для транспортних засобів та службові проходи у місцях перетину із залізничними коліями повинні мати тверді покриття або настили (типові чи переносні) на рівні головки рейок для проїзду транспортних засобів та проходу працівників. Ці місця мають бути обладнані сигналізацією, а також штучним освітленням.

На територіях, у виробничих приміщеннях депо, ПТОЛ, екіпірувальних пристроях та технологічному обладнанні, яке може бути джерелом небезпеки для працівників, повинні бути нанесені сигнальні кольори, сигнальна розмітка, встановлені або нанесені знаки безпеки праці.

Приміщення депо, ПТОЛ, призначені щодо технічного обслуговування локомотивів, повинні забезпечуватися установками пожежогасіння, вогнегасниками і пожежним інвентарем відповідно до Норм оснащення об'єктів і рухомого складу залізничного транспорту первинними засобами пожежогасіння [10].

На територіях депо, ПТОЛ мають бути окремі ємності для збирання та зберігання залишків забруднених нафтопродуктів та просочених нафтопродуктами обтиральних матеріалів та інших відходів.

Комплекс очисних споруд повинен забезпечувати очищення води до встановлених норм. Використання промивної води повинно бути, як правило, замкнене. Нафтопастки повинні регулярно очищатися від шламу, бруду та нафтопродуктів.

На кожному стійлі цеху депо, ПТОЛ та екіпірувальних пристроях, що мають контактний провід, повинна бути сигналізація про наявність (відсутність) напруги в контактній мережі. Аналогічною сигналізацією повинні

бути обладнані стійла, введення (виведення) локомотивів у які проводиться з допомогою стороннього джерела живлення.

Сигналізація про наявність напруги в контактній мережі повинна бути виконана за допомогою світлофорів з лінзами діаметром не менше 150 мм, з секційним роз'єднувачем контактної мережі або вимикачем стороннього джерела живлення та діяти залежно від положення.

За наявності напруги в контактній мережі будь-якого стійла або на локомотиві, що стоїть на ньому, підключеному до стороннього джерела живлення, на початку і в кінці цього стійла повинен горіти червоний вогонь світлофора, при знятій напрузі – зелений вогонь світлофора.

Оглядові канали повинні бути обладнані системами опалення, освітлення, мати гладкі стіни, що легко миються, а підлогова частина каналів - ухили і стічні жолоби до збірних колодязів. При необхідності оглядові канали повинні бути обладнані перехідними містками.

Підлоги у виробничих приміщеннях депо, ПТОЛ повинні бути непроникними для рідин, мати рівну, неслизьку, зручну для очищення поверхню та достатній ухил для стоку. У холодних і слизьких місцях повинні бути укладені теплоізолюючі та неслизькі настили. Всі канали та заглиблення в підлогах повинні бути щільно закриті та захищені.

Світильники та скло світлових отворів повинні не рідше двох разів на рік очищатися від пилу та бруду, а в приміщеннях зі значними виробничими виділеннями диму, пилу – не рідше одного разу на квартал. Для зручного та безпечного очищення повинні бути обладнані спеціальні настили з бар'єрами, переносні або постійні сходи, пересувні вежі.

Цеха технічного обслуговування локомотивів повинні бути обладнані механічною загальнообмінною вентиляцією незалежно від наявності системи природної загальнообмінної вентиляції.

Відповідно до вимог Інструкції із застосування та випробування засобів захисту, що використовуються в електроустановках [11], засоби захисту, що знаходяться в експлуатації та запасі, повинні зберігатися та перевозитися в

умовах, що забезпечують їхню справність та придатність до застосування, повинні бути захищені від зволоження, забруднення та механічних пошкоджень.

Засоби захисту з гуми, що знаходяться в експлуатації, слід зберігати в шафах, на полицях, окремо від інструментів. Вони повинні бути захищені від впливу масел, бензину, кислот та інших руйнівних речовин, а також від впливу прямих сонячних променів та тепловипромінювання нагрівальних приладів (тобто знаходитися не ближче 1 м від них). Засоби захисту з гуми, що знаходяться в запасі, необхідно зберігати в закритому сухому приміщенні при температурі 0 – 30°C.

Ізолювальні штанги слід зберігати в умовах, що виключають їх прогин та зіткнення зі стінами.

4.2 Вимоги до робітників, пов'язаних з технічним обслуговуванням локомотивів

Начальники локомотивних депо та їх заступники (головні інженери) мають забезпечити:

- утримання локомотивів, пристроїв та споруд локомотивного господарства відповідно до вимог, що забезпечують охорону праці працівників депо;

- впровадження на локомотивах сучасних засобів безпеки, системи попереджувальної сигналізації, пристроїв дистанційного керування автоматичними установками пожежної сигналізації та пожежогасіння, систем попередження пожеж та протипожежного захисту, засобів відведення надлишкового тепла, локалізації джерел шуму, вібрації, пилу та інших шкідливих факторів;

- організацію роботи та контроль за виконанням заходів з охорони праці працівників;

- організацію навчання з охорони праці та перевірки знань вимог охорони

праці локомотивних бригад та інших працівників, пов'язаних з експлуатацією та технічним обслуговуванням локомотивів;

– контроль за дотриманням працівниками вимог норм, правил, стандартів та інструкцій з охорони праці.

Заступник начальника депо з експлуатації, чергові з основних, оборотних депо, ПТОЛ, їх помічники зобов'язані забезпечити:

– виконання працівниками вимог Правил та інструкцій з охорони праці, дотримання ними вимог пожежної безпеки та виробничої санітарії;

– інструктаж працівників з охорони праці;

– перевірку наявності спеціального інвентарю та його комплектності, стану інструменту, захисних засобів, запобіжних пристроїв, вогнегасників, пожежного обладнання, установок пожежної сигналізації та пожежогасіння, сигнального приладдя та своєчасну їх заміну у разі несправності;

– контроль за правильним використанням локомотивними бригадами та іншими працівниками спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту.

Навчання з охорони праці працівників депо, ПТОЛ має проводитись у кабінетах охорони праці або в технічних кабінетах.

Висновки до розділу 4

1. Розглянуто основні вимоги охорони праці та вимоги робітників при проведенні технічного обслуговування локомотивів.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Проаналізовано вимоги конструктивного, енергетичного, технологічного та експлуатаційного характеру до систем охолодження тепловозів.
2. Розглянуто конструктивні особливості систем охолодження тепловозів та схеми їх функціонування. Відзначено, що найбільш поширеною є двоконтурна система охолодження, в якій «гарячий» контур використовується для охолодження дизеля, а «холодний» для охолодження масла та наддувочного повітря.
3. Встановлено, що системи охолодження силових установок не забезпечують раціональних значень температури теплоносіїв у всьому діапазоні режимів роботи тепловоза, що суттєво впливає на їх технічний стан протягом життєвого циклу.
4. Встановлено, що основними факторами оцінки технічного стану системи охолодження тепловоза є: температура, тиск, швидкість і витрата теплоносіїв.
5. Здійснено структурування переліку робіт перед початком випробувань.
6. Наведено перелік показників роботи системи охолодження, які отримані при проведенні енергетичних випробувань секцій радіаторів.
7. Для комплексної оцінки технічного стану системи охолодження тепловоза запропоновано використовувати метод перепаду температури води в радіаторах, перепаду температури повітря та перепаду тиску охолоджувальної рідини.
8. В якості альтернативи може бути використано тепловізійний спосіб, із використанням тепловізора Testo 875i.
9. Розглянуто основні вимоги охорони праці та вимоги робітників при проведенні технічного обслуговування локомотивів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боднар Б. Є., Бобирь Д. В., Капіца М. І. Гідравлічні передачі локомотивів: підручник. Дніпро: Дріант, 2021. 466 с.
2. Тартаковський, Е. Д. Гідравлічні передачі локомотивів [Текст]: навч. посіб. / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, С. В. Михалків. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Ч. І. – 104 с.
3. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Допоміжні системи та устаткування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП Ліра ЛТД, 2010. – 369 с.
4. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / під ред. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП Ліра ЛТД, 2010. – 358 с.
5. Тартаковський Е.Д., Агулов А.Ф., Фалендиш А.П. Теорія та конструкція локомотивів. Ч.2. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. -150 с.
6. Митрофанов О. С. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згорання: навч. посіб. / О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін. – Миколаїв: видавець Торубара В.В., 2018. – 152 с.
7. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 6. Надійність ДВЗ. / За редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф Шеховцова. – Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004.
8. Іванченко Д. А. Удосконалення методів визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів: дис. ...канд. техн. наук : 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів / Д. А. Іванченко; Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. В. Лазаряна. - Дніпро, 2016. - 177 с.
9. Фалендиш А. П. Використання сучасного програмного забезпечення для аналізу результатів випробувань тягового рухомого складу [Текст] / А.П. Фалендиш, С.Г. Жалкін, Н.Д. Чигирик, Д.А. Іванченко, Є.В. Бондаренко // Збірник наукових праць, - Харків: УкрДАЗТ, 2008. – №99. – С. 34-38.
10. Норми оснащення об'єктів і рухомого складу залізничного транспорту пожежною технікою та інвентарем – Київ: Пожінформтехніка, 2002. – 116 с.
11. Інструкція із застосування, монтажу та експлуатації засобів захисту

від перенапруг в електроустановках напругою 6-750 кВ.- Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 23.05.2014 № 374.

-[Електронний ресурс] / – Режим доступу :

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0842-14#Text>