НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів
(назва кафедри)

_____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

«_____» _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Покращення роботи дизельного двигуна трактора зміною температурного режиму»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор _____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

д.т.н., професор _____ Степанов О.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Стрикун Ростислав Володимирович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
тракторів і автомобілів
д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
«_____» _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту Стрикуну Ростиславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Покращення роботи дизельного двигуна трактора зміною температурного режиму»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру: 01.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра: Характеристики та конструктивні особливості трактора ХТЗ-17221 з дизельним двигуном ЯМЗ-236Д-3 та системи рідинного охолодження при забезпеченні оптимального температурного режиму в умовах експлуатації

Перелік питань які потрібно розробити
Вступ. Аналіз впливу температурного режиму на роботу дизельного двигуна трактора ХТЗ-17221. Обґрунтування оптимального температурного режиму дизеля ЯМЗ-236Д-3. удосконалення причіпного пристрою трактора ХТЗ-17221. Удосконалення системи керованого регулювання температурного режиму двигуна. економічна ефективність та охорона праці. Висновки.

Перелік графічного матеріалу: Загальний вигляд трактора ХТЗ-17221 з двигуном ЯМЗ-236Д-3. Схема штатної системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3. Графічні залежності впливу температурного режиму на паливну економічність двигуна. Схема удосконаленої системи керованого регулювання температури охолоджувальної рідини. Складальне креслення вузла керованого регулювання температурного режиму. Робоче креслення деталі модернізованого вузла..

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____ Степанов О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Стрикун Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проєкту бакалавра викладена на 79 сторінках, містить 21 рисунок, 6 таблиць, список використаних джерел та графічну частину.

Дипломний проєкт складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Тема дипломного проєкту: «Покращення роботи дизельного двигуна трактора зміною температурного режиму».

Дипломний проєкт присвячений підвищенню ефективності роботи дизельного двигуна трактора ХТЗ-17221 з двигуном ЯМЗ-236Д-3 шляхом удосконалення системи регулювання температурного режиму охолоджувальної рідини.

У проєкті запропоновано систему керованого регулювання температури охолоджувальної рідини, що включає датчик температури, електронний блок керування та керований термостат із сервоприводом. Виконано конструктивне опрацювання вузла, проведено розрахунок його параметрів та розроблено монтажну схему встановлення на двигун ЯМЗ-236Д-3.

За результатами розрахунків встановлено, що підтримання температури охолоджувальної рідини в межах 85–95 °С дозволяє знизити витрату дизельного пального приблизно на 3,1 %, що забезпечує позитивний економічний ефект та швидку окупність запропонованого технічного рішення. Також у роботі розглянуто питання охорони праці та безпеки під час експлуатації й технічного обслуговування системи охолодження трактора.

Ключові слова: трактор, дизельний двигун, температурний режим, охолоджувальна рідина, система охолодження, паливна економічність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА РОБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ТРАКТОРА ХТЗ-17221 9
1.1 Характеристика трактора ХТЗ-17221 та дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3 10
1.2 Аналіз конструкції та роботи системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3.....14
1.3 Вплив температурного режиму охолоджувальної рідини на паливну економічність дизельного двигуна.....16
1.4 Аналіз існуючих способів регулювання температурного режиму дизельних двигунів 19
1.5 Обґрунтування напрямку вдосконалення системи регулювання температурного режиму двигуна 21
Висновки до розділу 1. 23
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ДИЗЕЛЯ ЯМЗ-236Д-3 24
2.1 Теоретичні передумови забезпечення оптимального температурного режиму дизельного двигуна.....24
2.2 Формування математичної моделі впливу температури охолоджувальної рідини на паливну економічність двигуна.....26
2.3 Обґрунтування оптимального температурного діапазону роботи двигуна ЯМЗ-236Д-3.....28
2.4 Розрахунок впливу температурного режиму на витрату пального двигуна.....30
2.5 Оцінка очікуваної паливної економічності при оптимізації температурного режиму 35
Висновки до розділу 2. 37
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ДВИГУНА.....39
3.1 Обґрунтування конструктивної схеми системи керованого регулювання температури охолоджувальної рідини.....39

3.2 Розробка конструкції системи керованого регулювання температури 41
3.3. Розрахунок параметрів елементів системи охолодження 43
3.4. Опис роботи удосконаленої системи регулювання температурного режиму двигуна 47
3.5. Конструкторська розробка вузла керованого регулювання температури охолоджувальної рідини 49
Висновки до розділу 3. 53
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 55
4.1 Економічна ефективність удосконалення системи регулювання температурного режиму двигуна.....55
4.2 Охорона праці та безпека при експлуатації системи охолодження трактора ХТЗ-17221 57
4.3. Охорона праці при технічному обслуговуванні системи охолодження трактора.....60
Висновки до розділу 4 62
ВИСНОВКИ.....64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 66
ДОДАТКИ.....68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОР — охолоджувальна рідина;

ДВЗ — двигун внутрішнього згоряння;

ПВП — питома витрата пального;

ККД — коефіцієнт корисної дії;

ЕСУ — електронна система управління;

Q — кількість теплоти;

$Q_{ох}$ — теплота, що відводиться системою охолодження;

T — температура;

$T_{ор}$ — температура охолоджувальної рідини;

$T_{опт}$ — оптимальна температура охолоджувальної рідини.

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується значними витратами паливно-енергетичних ресурсів, вагому частку яких становить використання тракторної техніки. В умовах постійного зростання вартості дизельного пального особливої актуальності набуває підвищення паливної економічності тракторних двигунів шляхом удосконалення режимів їх експлуатації та технічних систем забезпечення роботи.

Одним із важливих факторів, що впливають на ефективність роботи дизельного двигуна, є температурний режим охолоджувальної рідини. Від температури ОР залежать інтенсивність теплообміну, умови сумішоутворення та згоряння палива, механічні втрати на тертя, в'язкість моторної оливи, а також стабільність теплового стану двигуна. Відхилення температурного режиму від оптимальних значень призводить до підвищення питомої витрати пального, збільшення токсичності відпрацьованих газів, прискореного зношування деталей циліндро-поршневої групи та зниження загальної ефективності роботи двигуна.

Особливо актуальною є проблема забезпечення стабільного температурного режиму для потужних тракторів, які працюють у змінних тягово-навантажувальних режимах. Під час виконання сільськогосподарських робіт двигун трактора працює в умовах суттєвих коливань навантаження, що супроводжується зміною тепловиділення та нестабільністю температури ОР. У більшості випадків штатні системи охолодження забезпечують лише базове підтримання температури за допомогою механічних термостатів і не враховують поточний режим роботи двигуна.

Для трактора ХТЗ-17221 з дизельним двигуном ЯМЗ-236Д-3 питання підтримання оптимального температурного режиму є важливим через значну встановлену потужність двигуна та високі експлуатаційні витрати пального. Застосування системи керованого регулювання температури ОР дозволяє підтримувати робочу температуру двигуна в оптимальному діапазоні, що сприятиме зменшенню питомої витрати пального та підвищенню ефективності використання енергетичних ресурсів.

У зв’язку з цим удосконалення системи регулювання температурного режиму дизельного двигуна трактора ХТЗ-17221 є актуальним інженерним завданням.

Мета проєкту – покращення роботи дизельного двигуна трактора ХТЗ-17221 шляхом оптимізації температурного режиму охолоджувальної рідини для зниження витрати пального.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати конструкцію дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3 та особливості роботи його системи охолодження;
- дослідити вплив температурного режиму ОР на паливну економічність двигуна;
- обґрунтувати оптимальний температурний режим роботи двигуна та виконати розрахунок його впливу на витрату пального;
- розробити удосконалену систему керованого регулювання температури ОР двигуна;
- оцінити економічну ефективність запропонованого технічного рішення та розглянути питання охорони праці.

Об’єкт дослідження – процес функціонування дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3 трактора ХТЗ-17221 у змінних експлуатаційних режимах.

Предмет дослідження – вплив температурного режиму охолоджувальної рідини на паливну економічність дизельного двигуна та система керованого регулювання температури ОР.

Методи дослідження – аналіз технічної літератури та конструктивних особливостей двигуна, математичне моделювання теплових процесів, розрахункові методи оцінювання паливної економічності, графо-аналітичні методи обробки результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування удосконаленої системи регулювання температурного режиму двигуна для зменшення витрати дизельного пального та підвищення ефективності експлуатації трактора ХТЗ-17221.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НА РОБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ТРАКТОРА ХТЗ-17221

Ефективність використання сучасної тракторної техніки значною мірою визначається стабільністю роботи силової установки, рівнем витрати пального та здатністю двигуна працювати в умовах змінного навантаження. Для енергетично насичених тракторів, що використовуються під час виконання тягових і транспортних робіт, особливого значення набуває забезпечення раціонального теплового режиму двигуна, оскільки саме температурний стан суттєво впливає на процеси сумішоутворення, повноту згоряння палива, механічні втрати та інтенсивність тепловідведення [1–4].

Під час експлуатації трактора температура охолоджувальної рідини не залишається сталою та змінюється залежно від режиму роботи двигуна, температури навколишнього середовища, характеру навантаження та технічного стану системи охолодження. Робота дизельного двигуна за температур, нижчих від оптимальних, супроводжується зростанням втрат на тертя внаслідок підвищеної в’язкості моторної оливи, погіршенням умов випаровування та згоряння пального, що, у свою чергу, призводить до підвищення питомої витрати пального. Надмірне підвищення температури, навпаки, може спричиняти погіршення теплового стану деталей двигуна та зниження надійності його роботи [1, 7–9].

Трактор ХТЗ-17221 із дизельним двигуном ЯМЗ-236Д-3 належить до класу машин, що працюють у широкому діапазоні тягових навантажень. У процесі виконання польових робіт двигун часто функціонує в перехідних режимах, що ускладнює підтримання стабільної температури охолоджувальної рідини. Застосування штатної системи охолодження забезпечує працездатність двигуна, однак не завжди дозволяє підтримувати температурний режим у діапазоні, найбільш сприятливому з точки зору паливної економічності.

У зв’язку з цим виникає необхідність аналізу конструктивних особливостей трактора ХТЗ-17221, характеристик дизельного двигуна ЯМЗ-

236Д-3 та особливостей функціонування його системи охолодження з метою визначення можливостей удосконалення температурного режиму для зниження витрати дизельного пального.

1.1 Характеристика трактора ХТЗ-17221 та дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3

Трактор ХТЗ-17221 належить до універсально-просапних колісних тракторів тягового класу 5 та призначений для виконання широкого спектра сільськогосподарських робіт, зокрема основного й передпосівного обробітку ґрунту, посіву, транспортування вантажів та роботи в агрегаті з причіпними й навісними машинами [2, 4]. Завдяки високій енергонасиченості, приводу на всі колеса та значному запасу тягового зусилля трактор широко використовується у великих аграрних підприємствах.

Конструкція трактора передбачає експлуатацію в умовах суттєво змінного навантаження, що особливо характерно для польових технологічних процесів. За таких умов двигун працює в режимах, які відрізняються інтенсивністю тепловиділення, а отже, потребують ефективного відведення теплоти та підтримання стабільного температурного режиму.

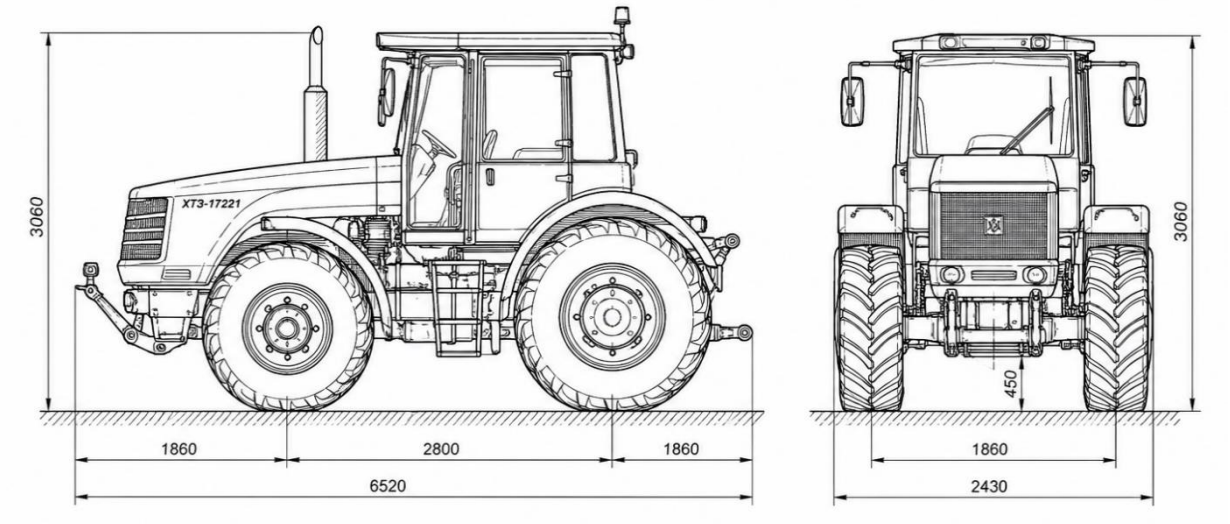


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд трактора ХТЗ-17221

У конструктивному відношенні трактор ХТЗ-17221 має класичне компонування з переднім розміщенням двигуна, механічною трансмісією та колісною формулою 4×4. Компоновочна схема забезпечує раціональний

розподіл маси між мостами, що позитивно впливає на тягово-зчіпні властивості машини.

Основні технічні характеристики трактора ХТЗ-17221 наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика трактора ХТЗ-17221

Показник	Значення
Тип двигуна	дизельний, V-подібний
Кількість циліндрів	6
Робочий об’єм, л	11,15
Номінальна потужність N_e, кВт.	132
Частота обертання n, $хв^{-1}$	2100
Максимальний крутний момент M_e, Н·м.	716
Система охолодження	рідинна, закритого типу
Система живлення	безпосереднє впорскування

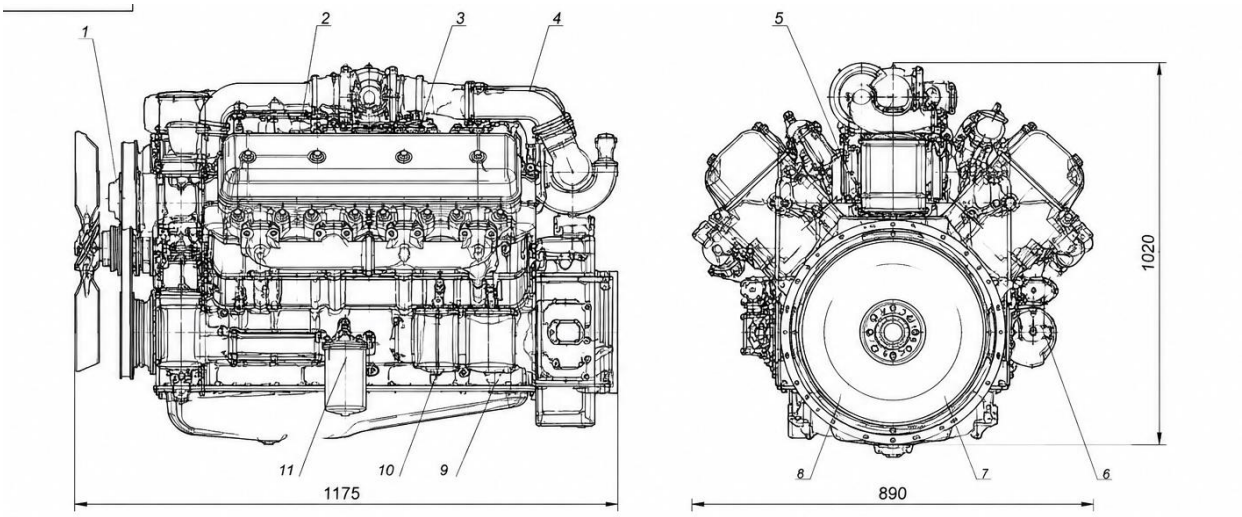
Для оцінювання режимів роботи двигуна надалі буде використано зовнішню швидкісну характеристику, яка відображає зміну ефективної потужності N_e, крутного моменту M_e та питомої витрати пального g_e залежно від частоти обертання колінчастого вала n. Її побудову та розрахункове використання доцільно виконати в розділі 2 під час обґрунтування впливу температурного режиму на паливну економічність двигуна.

Аналіз наведених характеристик свідчить про те, що трактор ХТЗ-17221 належить до класу енергетично насичених машин, призначених для тривалої роботи за значних тягових навантажень. Це зумовлює підвищені вимоги до стабільності функціонування силової установки та системи охолодження двигуна.

Силовою установкою трактора є дизельний двигун ЯМЗ-236Д-3, який забезпечує необхідні тягово-енергетичні показники трактора. Загальний вигляд двигуна наведено на рис. 1.2.

Двигун ЯМЗ-236Д-3 являє собою шестициліндровий V-подібний чотиритактний дизель із безпосереднім упорскуванням пального, рідинною системою охолодження та турбонаддувом. Конструктивне виконання двигуна

забезпечує достатній запас потужності та крутного моменту для роботи трактора в широкому діапазоні експлуатаційних навантажень.



Умовні позначення:

1 – вентилятор; 2 – турбокомпресор; 3 – кришка головки циліндрів;
4 – повітряний ресивер; 5 – паливний насос високого тиску; 6 – маховик;
7 – картер маховика; 8 – стартер; 9 – масляний фільтр; 10 – масляний картер;
11 – генератор.

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3

Основні технічні параметри двигуна ЯМЗ-236Д-3 наведено в табл. 1.2.

Наведені технічні характеристики свідчать про те, що двигун ЯМЗ-236Д-3 характеризується значною літровою потужністю та працює в умовах інтенсивного теплового навантаження. У процесі експлуатації істотна частина теплоти, що утворюється внаслідок згоряння пального, повинна бути своєчасно відведена системою охолодження для підтримання допустимого температурного стану деталей двигуна.

Під час роботи двигуна значна частина теплоти, яка виділяється внаслідок згоряння пального, відводиться через систему охолодження. Водночас зміна режиму навантаження супроводжується зміною теплового балансу двигуна, що може призводити до коливання температури охолоджувальної рідини. За недостатньої температури $T_{ОР}$ збільшуються втрати енергії на тертя та зростає

питома витрата пального g_e, тоді як перегрів негативно впливає на ресурс двигуна та стабільність його роботи.

Таблиця 1.2 – Основні технічні параметри двигуна ЯМЗ-236Д-3

Показник	**Значення**
Тип двигуна	дизельний, чотиритактний, V-подібний
Кількість циліндрів	6
Робочий об’єм, л	11,15
Номінальна потужність, кВт	132
Номінальна частота обертання колінчастого вала, $хв^{-1}$	2100
Максимальний крутний момент, Н·м	716
Ступінь стиску	16,5
Діаметр циліндра, мм	130
Хід поршня, мм	140
Питома ефективна витрата пального, г/(кВт·год)	220
Система охолодження	рідинна, закритого типу
Система мащення	комбінована

Отже, забезпечення раціонального температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 є важливою передумовою підвищення паливної економічності трактора ХТЗ-17221. Для визначення можливостей удосконалення температурного режиму необхідно детальніше розглянути конструкцію та принцип роботи штатної системи охолодження двигуна.

Стабільність температурного режиму двигуна безпосередньо залежить від ефективності роботи системи охолодження, її конструктивних особливостей та

здатності адаптуватися до змін навантаження. У зв’язку з цим доцільно проаналізувати будову та особливості функціонування системи охолодження дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3.

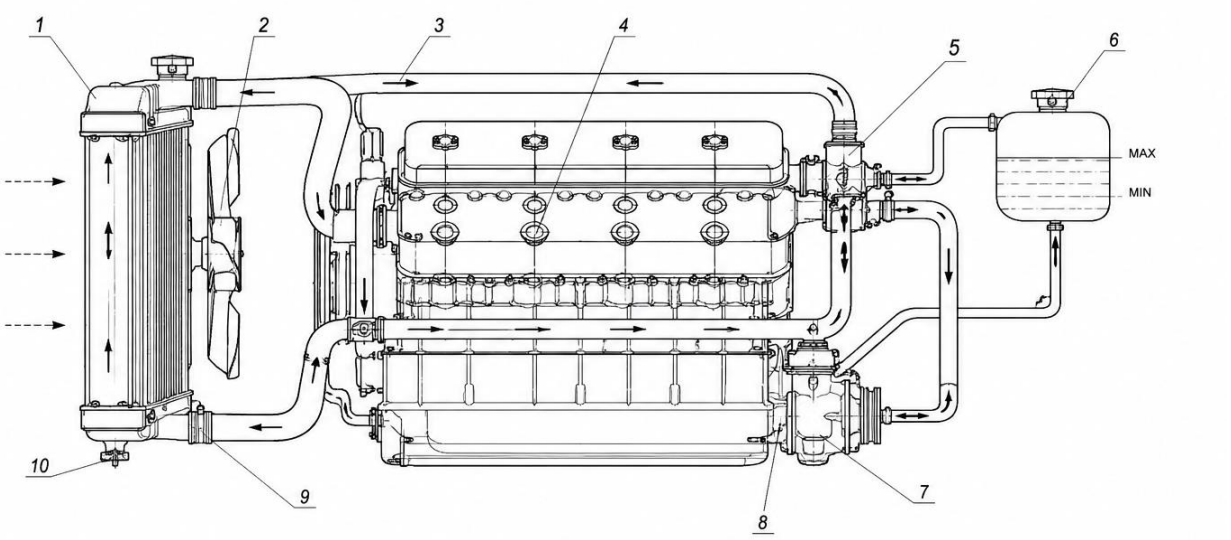
1.2 Аналіз конструкції та роботи системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3

Стабільність роботи дизельного двигуна значною мірою залежить від здатності системи охолодження забезпечувати підтримання температурного режиму в допустимих межах. Під час роботи двигуна лише частина теплоти, яка утворюється внаслідок згоряння пального, перетворюється на корисну механічну роботу, тоді як інша частина відводиться через систему охолодження, систему мащення та відпрацьовані гази. Недостатнє відведення теплоти може призвести до перегрівання деталей двигуна, а надмірне охолодження — до погіршення паливної економічності та збільшення механічних втрат [1–4].

На двигуні ЯМЗ-236Д-3 застосовується рідинна система охолодження закритого типу з примусовою циркуляцією ОР. Основним призначенням системи є підтримання температурного режиму двигуна в межах, які забезпечують стабільність робочого процесу, зменшення теплових деформацій деталей та зниження інтенсивності зношування [3, 8, 9].

Схему штатної системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3 наведено на рис. 1.3.

До складу системи охолодження входять радіатор, водяний насос, вентилятор, термостати, сорочка охолодження блока циліндрів і головок блока, патрубки, розширювальний бачок та сполучні трубопроводи. Робота системи ґрунтується на безперервній циркуляції ОР, яка відбирає надлишкову теплоту від нагрітих деталей двигуна та передає її до навколишнього середовища через поверхню радіатора.



Умовні позначення:

1 – радіатор; 2 – вентилятор; 3 – верхній патрубок радіатора; 4 – сорочка охолодження блока циліндрів і головок блока; 5 – термостат;
6 – розширювальний бачок; 7 – водяний насос; 8 – перепускний (байпасний) патрубок; 9 – нижній патрубок радіатора; 10 – зливний кран радіатора

Рисунок 1.3 – Схема штатної системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3

Під час запуску та прогрівання двигуна циркуляція ОР відбувається переважно по малому колу, минаючи радіатор, що сприяє швидшому досягненню робочої температури. Після досягнення визначеного температурного рівня термостат поступово відкриває доступ ОР до радіатора, переводячи систему на великий контур циркуляції [3].

Схему циркуляції ОР у різних режимах роботи наведено на рис. 1.4.

Штатна система охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3 загалом забезпечує працездатність двигуна в умовах експлуатації. Водночас її робота базується переважно на механічному принципі регулювання температури за допомогою термостатів, що не дозволяє достатньо гнучко реагувати на зміну навантаження та режимів роботи двигуна [1, 4]. Унаслідок цього температура T_{op} може відхилятися від оптимального діапазону, що негативно впливає на паливну економічність двигуна [2].

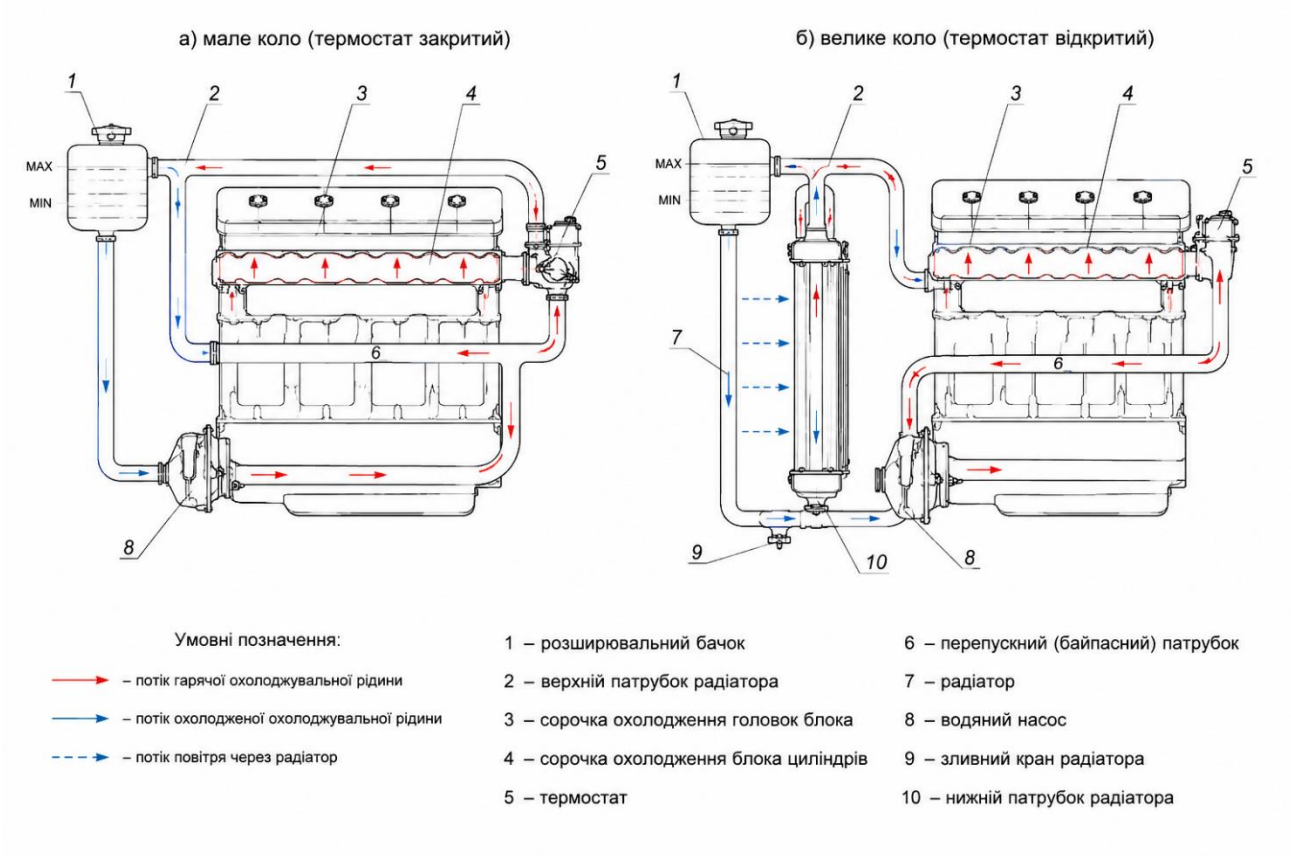


Рисунок 1.4 – Схема циркуляції ОР у малому та великому колах охолодження

Отже, для підвищення ефективності роботи дизеля доцільним є аналіз впливу температурного режиму охолоджувальної рідини на показники паливної економічності, що розглянуто в наступному підрозділі.

1.3 Вплив температурного режиму охолоджувальної рідини на паливну економічність дизельного двигуна

Температурний режим дизельного двигуна є одним із чинників, що безпосередньо впливають на ефективність його роботи та рівень витрати пального [1, 7–9]. У процесі експлуатації трактора двигун працює в умовах змінного навантаження, що супроводжується коливанням температури охолоджувальної рідини $T_{ор}$. Відхилення температурного режиму від оптимального значення може призводити до зростання механічних втрат, погіршення процесу згоряння палива та збільшення питомої витрати пального g_e [4].

Під час роботи двигуна за знижених температур відбувається збільшення в’язкості моторної оливи, унаслідок чого зростають втрати енергії на тертя між деталями циліндро-поршневої групи та кривошипно-шатунного механізму [1, 8]. Одночасно погіршуються умови випаровування та сумішоутворення пального, що негативно позначається на повноті його згоряння. У результаті цього зростає витрата пального та знижується ефективність використання енергії згоряння [7, 9].

За надмірного підвищення температури двигуна спостерігається погіршення теплового стану деталей, збільшення ймовірності локального перегрівання, а також прискорення процесів зношування. Таким чином, для забезпечення ефективної роботи дизеля важливим є підтримання температури ОР у діапазоні, близькому до оптимального [3, 8].

Витрату пального двигуна можна оцінити через залежність годинної витрати пального G_n від ефективної потужності двигуна N_e та питомої витрати пального g_e [1]:

$$G_n = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}, \tag{1.1}$$

де G_n – годинна витрата пального, кг/год; g_e – питома ефективна витрата пального, г/(кВт·год); N_e – ефективна потужність двигуна, кВт.

З наведеної залежності видно, що навіть незначне зменшення питомої витрати пального g_e приводить до відповідного зниження загальної витрати пального двигуна. Саме тому стабілізація температурного режиму є одним із шляхів покращення паливної економічності трактора [4].

Ефективність використання теплоти під час роботи двигуна характеризується ефективним коефіцієнтом корисної дії η_e, який залежить від теплового стану двигуна та визначається співвідношенням корисної роботи до загальної теплоти, отриманої внаслідок згоряння пального [7]:

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot N_e}{G_n \cdot Q_H}, \tag{1.2}$$

де η_e – ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна; Q_H – нижча теплота згоряння пального, кДж/кг.

Підтримання температури $T_{ор}$ у межах, близьких до оптимальних, дозволяє знизити втрати теплоти, покращити умови згоряння паливоповітряної суміші та забезпечити більш стабільну роботу двигуна. Для більшості тракторних дизелів раціональний температурний діапазон охолоджувальної рідини становить приблизно 85–95 °С, однак конкретне значення залежить від конструктивних особливостей двигуна та режиму навантаження [1, 8].

Для наочного відображення впливу температурного режиму на паливну економічність доцільно розглянути зміну питомої витрати пального залежно від температури ОР.

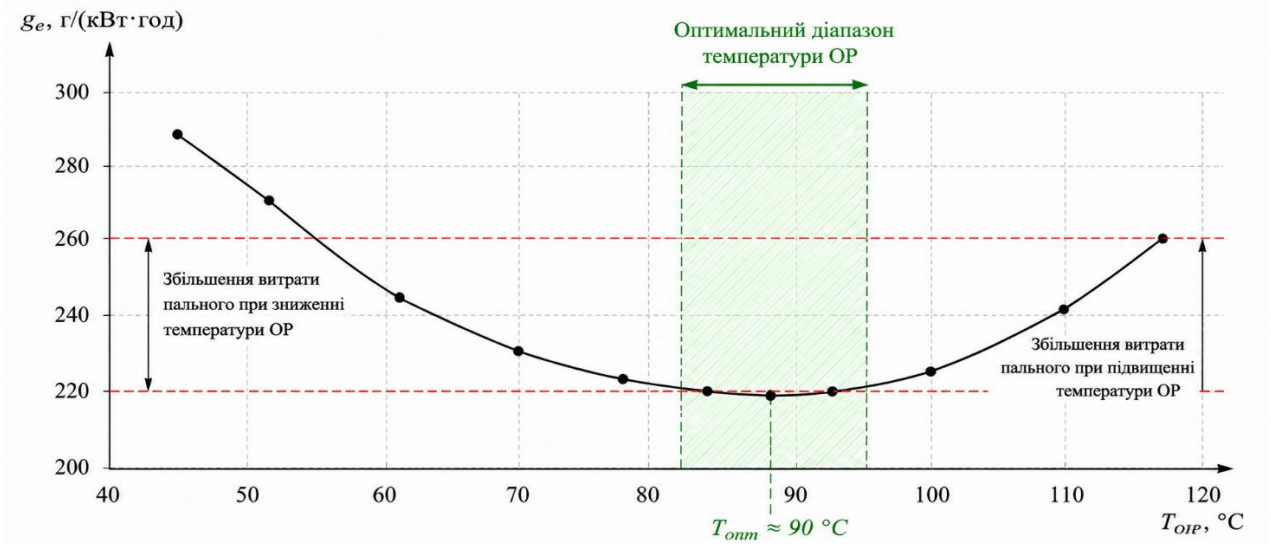


Рисунок 1.5 – Вплив температури охолоджувальної рідини на питому витрату пального дизельного двигуна

Аналіз наведеної залежності дозволяє зробити висновок, що найбільш економічна робота двигуна досягається за підтримання температури ОР у певному діапазоні. Це створює передумови для застосування систем керованого регулювання температурного режиму двигуна [8, 9].

Отже, оцінювання існуючих технічних рішень щодо підтримання температурного режиму дизельних двигунів є необхідною умовою обґрунтування напрямку вдосконалення системи охолодження, що розглянуто в наступному підрозділі.

1.4 Аналіз існуючих способів регулювання температурного режиму дизельних двигунів

Підтримання стабільного температурного режиму є однією з умов ефективної та надійної роботи дизельного двигуна. У процесі розвитку тракторних двигунів застосовувалися різні технічні рішення, спрямовані на забезпечення допустимого теплового стану силової установки в умовах змінного навантаження та різних температур навколишнього середовища [1–4]. Ефективність цих рішень визначається здатністю системи підтримувати температуру охолоджувальної рідини $T_{ор}$ у діапазоні, близькому до оптимального [7–9].

Основні способи регулювання температурного режиму дизельних двигунів наведено на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Основні способи регулювання температурного режиму дизельних двигунів

У сучасних дизельних двигунах найбільш поширеним способом є механічне регулювання температури за допомогою термостата [1, 3]. Принцип його роботи полягає у зміні напрямку циркуляції ОР між малим і великим колами охолодження залежно від температури. За низької температури термостат залишається закритим, що забезпечує швидше прогрівання двигуна. Після досягнення визначеного температурного рівня термостат відкриває доступ ОР до радіатора, підвищуючи інтенсивність тепловідведення [4].

Перевагою такого рішення є простота конструкції, відносно висока надійність і невисока вартість [2, 5]. Водночас механічні термостати мають низку обмежень, пов’язаних із недостатньою гнучкістю регулювання. Вони працюють за фіксованими температурними межами та не враховують поточний режим навантаження двигуна, температуру навколишнього середовища чи зміну теплового балансу [8, 9].

Іншим способом є регулювання інтенсивності охолодження за допомогою вентилятора [7]. У деяких конструкціях використовуються вентилятори з постійним приводом, тоді як більш сучасні системи передбачають застосування в’язкісних муфт або електрокерованого приводу [9, 13]. Такий підхід дозволяє частково змінювати інтенсивність охолодження залежно від теплового стану двигуна, однак не завжди забезпечує точне підтримання температури ОР [1].

Перспективним напрямом є керовані системи регулювання температурного режиму, у яких використовуються датчики температури, електронний блок керування та виконавчі механізми, здатні змінювати режим роботи елементів системи охолодження [9–13]. Такі системи дозволяють підтримувати температуру T_{op} у заданому діапазоні з урахуванням навантаження двигуна та умов експлуатації [12].

Для двигуна ЯМЗ-236Д-3, який працює у складі трактора ХТЗ-17221 в умовах суттєво змінного навантаження, застосування керованого регулювання температурного режиму є доцільним, оскільки дозволяє зменшити коливання температури ОР і забезпечити більш стабільні показники паливної економічності.

Таким чином, аналіз існуючих способів регулювання температурного режиму свідчить про те, що найбільш перспективним напрямом удосконалення системи охолодження є впровадження керованого регулювання температури охолоджувальної рідини. Це дозволить підтримувати роботу двигуна в температурному діапазоні, близькому до оптимального, та знизити витрату дизельного пального.

На підставі проведеного аналізу виникає необхідність обґрунтування конкретного напрямку вдосконалення системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3, який забезпечуватиме покращення паливної економічності трактора ХТЗ-17221.

1.5 Обґрунтування напрямку вдосконалення системи регулювання температурного режиму двигуна

Проведений аналіз конструкції двигуна ЯМЗ-236Д-3, особливостей функціонування його системи охолодження та впливу температурного режиму на паливну економічність дозволяє визначити основні напрямки підвищення ефективності роботи двигуна [1–4]. Однією з передумов покращення експлуатаційних показників є забезпечення стабільного температурного режиму охолоджувальної рідини в умовах змінного навантаження.

Штатна система охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3 забезпечує підтримання працездатного теплового стану силової установки, однак її функціонування ґрунтується переважно на механічному принципі регулювання температури за допомогою термостата [1, 3]. Така система характеризується достатньою надійністю та простотою конструкції, проте має обмежені можливості адаптації до швидкої зміни режимів роботи двигуна [4].

Як було встановлено в підрозділі 1.3, відхилення температури охолоджувальної рідини $T_{ор}$ від оптимального діапазону супроводжується збільшенням питомої витрати пального g_e, що безпосередньо впливає на загальну паливну економічність трактора [7–9]. Особливо це проявляється під час виконання польових робіт, коли двигун працює в умовах змінного тягового навантаження, а температура ОР має тенденцію до коливань.

З урахуванням проведеного аналізу найбільш доцільним напрямком удосконалення є застосування системи керованого регулювання температурного режиму охолоджувальної рідини, яка дозволить підтримувати температуру $T_{ор}$ у межах, близьких до оптимального значення $T_{опт}$, незалежно від характеру навантаження двигуна [9, 12, 13].

На відміну від штатної системи, запропоноване рішення передбачає використання датчиків температури, керуючого елемента та виконавчого механізму, які забезпечуватимуть оперативне регулювання інтенсивності охолодження залежно від поточного теплового стану двигуна. Очікується, що це дозволить скоротити час роботи двигуна в неоптимальних температурних режимах, зменшити коливання температури ОР та знизити витрату дизельного пального.

Принциповий напрямок удосконалення системи охолодження наведено на рис. 1.7.

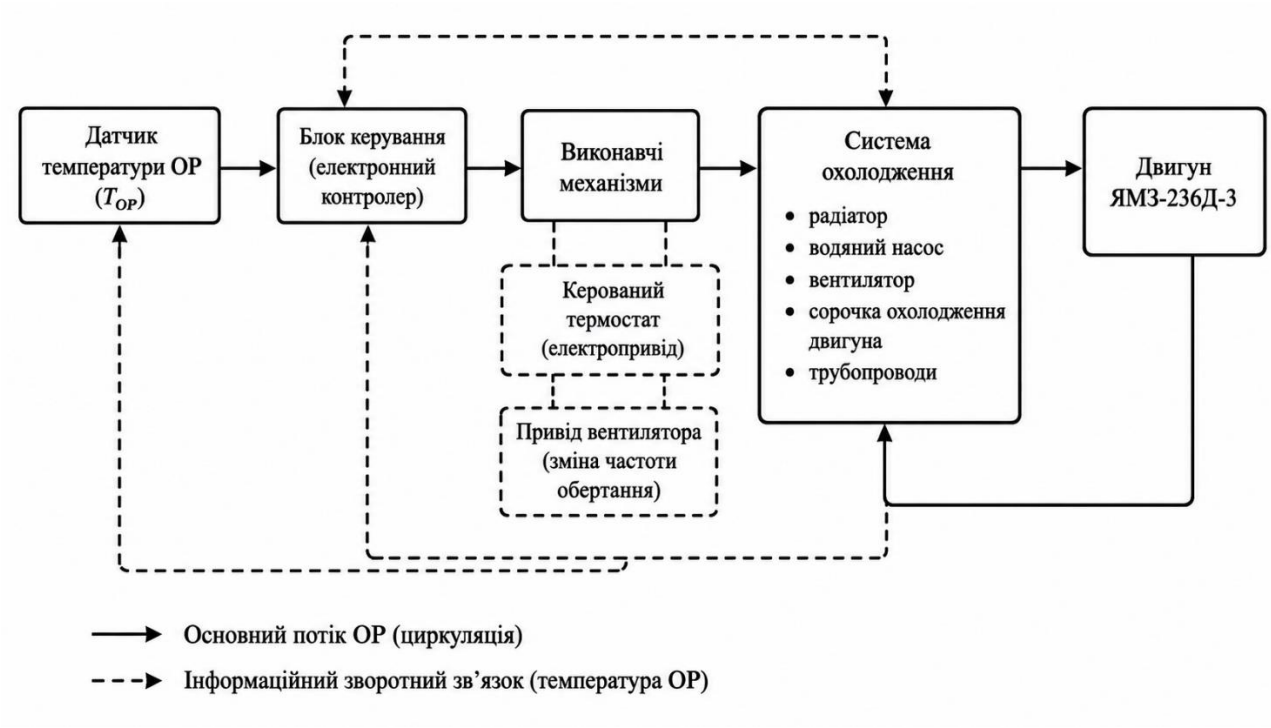


Рисунок 1.7 – Напрямок удосконалення системи регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3

Передбачається, що система буде забезпечувати постійний контроль температури охолоджувальної рідини та змінювати режим роботи елементів системи охолодження залежно від теплового стану двигуна. У результаті цього стане можливим підтримання температурного режиму, найбільш сприятливого з точки зору паливної економічності.

Таким чином, як напрямок удосконалення в дипломному проєкті прийнято розроблення системи керованого регулювання температури охолоджувальної

рідини дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3 трактора ХТЗ-17221, що дозволить підвищити паливну економічність за рахунок стабілізації температурного режиму роботи двигуна.

Для кількісного оцінювання впливу температурного режиму на показники паливної економічності необхідно обґрунтувати оптимальний температурний діапазон роботи двигуна та сформувати математичну модель зміни витрати пального залежно від температури охолоджувальної рідини.

Висновки по розділу 1

У розділі виконано аналіз конструктивних особливостей трактора ХТЗ-17221 та дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3, що дозволило встановити доцільність дослідження температурного режиму як одного з чинників підвищення паливної економічності двигуна. Визначено, що двигун працює в умовах змінного навантаження, характерних для сільськогосподарського виробництва, що супроводжується коливанням температури охолоджувальної рідини.

Проаналізовано конструкцію та принцип роботи штатної системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3. Встановлено, що застосована система забезпечує підтримання працездатного теплового стану двигуна, однак механічний принцип регулювання температури не дозволяє достатньо ефективно адаптувати режим охолодження до зміни експлуатаційних умов.

Досліджено вплив температурного режиму охолоджувальної рідини на паливну економічність дизельного двигуна. Встановлено, що мінімальна питома витрата пального досягається за температури ОР, близької до оптимального діапазону 85–95 °С, тоді як відхилення температури від цього інтервалу супроводжується збільшенням витрати пального.

На підставі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність удосконалення системи охолодження шляхом впровадження керованого регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3, що дозволить стабілізувати температуру ОР та підвищити паливну економічність трактора ХТЗ-17221.

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ДИЗЕЛЯ ЯМЗ-236Д-3

У першому розділі встановлено, що температурний режим охолоджувальної рідини впливає на паливну економічність дизельного двигуна. Для подальшого обґрунтування удосконалення системи охолодження необхідно кількісно оцінити, як зміна температури $T_{ор}$ позначається на питомій витраті пального g_e та годинній витраті пального $G_п$.

У цьому розділі виконується формування розрахункової моделі, яка дозволяє визначити оптимальний температурний діапазон роботи дизеля ЯМЗ-236Д-3 і оцінити очікуване зниження витрати пального при стабілізації температури ОР.

2.1 Теоретичні передумови забезпечення оптимального температурного режиму дизельного двигуна

Під час роботи дизельного двигуна теплота, що виділяється внаслідок згоряння пального, розподіляється між корисною механічною роботою, втратами з відпрацьованими газами, тепловідведенням через систему охолодження, системою мащення та іншими втратами. Такий розподіл визначає тепловий баланс двигуна і суттєво залежить від режиму навантаження, частоти обертання колінчастого вала n та температурного стану деталей двигуна [1, 3, 7].

Загальний тепловий баланс двигуна можна подати у спрощеному вигляді:

$$Q = Q_e + Q_{ox} + Q_Г + Q_{ін}, \tag{2.1}$$

де Q – загальна кількість теплоти, що виділяється під час згоряння пального, Дж; Q_e – теплота, перетворена на корисну ефективну роботу, Дж; Q_{ox} – теплота, відведена системою охолодження, Дж; $Q_г$ – теплота, винесена з відпрацьованими газами, Дж; $Q_{ін}$ – інші теплові втрати, Дж.

Ця залежність є загальноприйнятим поданням теплового балансу ДВЗ, тому в роботі вона використовується з посиланням на джерела [3, 7, 8].

Для системи охолодження важливим є не тільки відведення надлишкової теплоти, а й недопущення переохолодження двигуна. Надмірне зниження

температури ОР призводить до збільшення в’язкості моторної оливи, підвищення механічних втрат і погіршення умов згоряння пального. Водночас перегрів двигуна погіршує тепловий стан деталей і може знижувати надійність роботи силової установки [7–9].

Кількість теплоти, яку відводить охолоджувальна рідина, можна оцінити за залежністю:

$$Q_{ox} = G_{op} \cdot c \cdot (T_{вих} - T_{вх}), \tag{2.2}$$

де Q_{ox} – теплота, відведена системою охолодження, Дж/с; G_{op} – масова витрата охолоджувальної рідини, кг/с; c – питома теплоємність охолоджувальної рідини, Дж/(кг·°С); $T_{вих}$ – температура ОР на виході з двигуна, °С; $T_{вх}$ – температура ОР на вході в двигун, °С.

Ця формула також не є авторською, а належить до базових рівнянь теплопередачі й використовується для інженерної оцінки роботи систем охолодження [7, 9].

З погляду паливної економічності основним розрахунковим показником є питома ефективна витрата пального g_e. Вона показує, яка маса пального витрачається двигуном для вироблення одиниці ефективної енергії. Зв’язок між питомою витратою пального, ефективною потужністю та годинною витратою пального визначається залежністю [3, 7]:

$$G_n = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}, \tag{2.3}$$

де G_n – годинна витрата пального, кг/год; g_e – питома ефективна витрата пального, г/(кВт·год); N_e – ефективна потужність двигуна, кВт.

Для двигуна ЯМЗ-236Д-3 доцільно розглядати температурний режим ОР у діапазоні приблизно 70–110 °С, оскільки саме в цих межах найчастіше проявляються режими недогріву, нормальної роботи та підвищеного теплового навантаження. У подальших розрахунках оптимальним приймається діапазон 85–95 °С, а орієнтовне значення оптимальної температури — $T_{опт} \approx 90$ °С. Таке припущення відповідає загальним рекомендаціям для рідинних систем

охолодження тракторних дизелів і узгоджується з характером залежності $g_e = f(T_{ор})$ [1, 3, 8].

Отже, для математичного обґрунтування оптимального температурного режиму необхідно перейти від якісного опису до розрахункової моделі, яка дозволить встановити залежність питомої витрати пального g_e від температури охолоджувальної рідини $T_{ор}$. Саме така модель формується у наступному підрозділі.

2.2 Формування математичної моделі впливу температури охолоджувальної рідини на паливну економічність двигуна

Для кількісного оцінювання впливу температурного режиму охолоджувальної рідини на паливну економічність двигуна ЯМЗ-236Д-3 доцільно сформувати математичну модель, яка дозволить встановити залежність питомої витрати пального g_e від температури ОР $T_{ор}$.

Як було встановлено в розділі 1, зміна температури охолоджувальної рідини впливає на процеси тертя, сумішоутворення та повноту згоряння пального. За недостатньої температури двигуна збільшуються механічні втрати та погіршується випаровування пального, тоді як за надмірного нагрівання погіршується тепловий стан двигуна [1, 7–9]. Унаслідок цього залежність питомої витрати пального від температури має нелінійний характер і характеризується наявністю області мінімуму.

Для опису такої залежності в роботі прийнято квадратичну апроксимаційну модель, яка забезпечує достатню точність інженерних розрахунків та дозволяє описати наявність оптимального температурного діапазону:

$$g_e = aT_{ор}^2 + bT_{ор} + c\,, \tag{2.4}$$

де g_e – питома ефективна витрата пального, г/(кВт·год); $T_{ор}$ – температура охолоджувальної рідини, °С; a, b, c – коефіцієнти апроксимації.

У межах даного дипломного проєкту значення коефіцієнтів a, b та c приймаються таким чином, щоб модель відповідала характеру зміни питомої

витрати пального, наведеному в розділі 1 (рис. 1.5), а також реальним експлуатаційним характеристикам тракторних дизельних двигунів.

Для двигуна ЯМЗ-236Д-3 приймаємо розрахункову модель:

$$g_e = 0.015(T_{op} - 90)^2 + 218. \quad (2.5)$$

Модель побудована таким чином, що мінімальне значення питомої витрати пального відповідає температурі $T_{опт}$ = 90 °С, а мінімальна питома витрата становить близько 218г/(кВт·год), що відповідає характерним показникам дизелів цього класу [1, 3].

Для перевірки адекватності моделі виконаємо оцінку значень g_e при характерних температурних режимах:

при T_{op} = 70 °С

$$g_e = 0.015(70 - 90)2 + 218 = 224 г / (кВт \cdot год)$$

при T_{op} = 90 °С

$$g_e = 0.015(90 - 90)2 + 218 = 218 г / (кВт \cdot год)$$

при T_{op} = 105 °С

$$g_e = 0.015(105 - 90)2 + 218 = 221.4 г / (кВт \cdot год)$$

Отримані результати підтверджують наявність мінімуму питомої витрати пального в області температури, близької до 90 °С, а також демонструють погіршення паливної економічності за умов недогріву та перегріву двигуна.

Для наочного відображення отриманої залежності побудовано графік зміни питомої витрати пального залежно від температури охолоджувальної рідини.

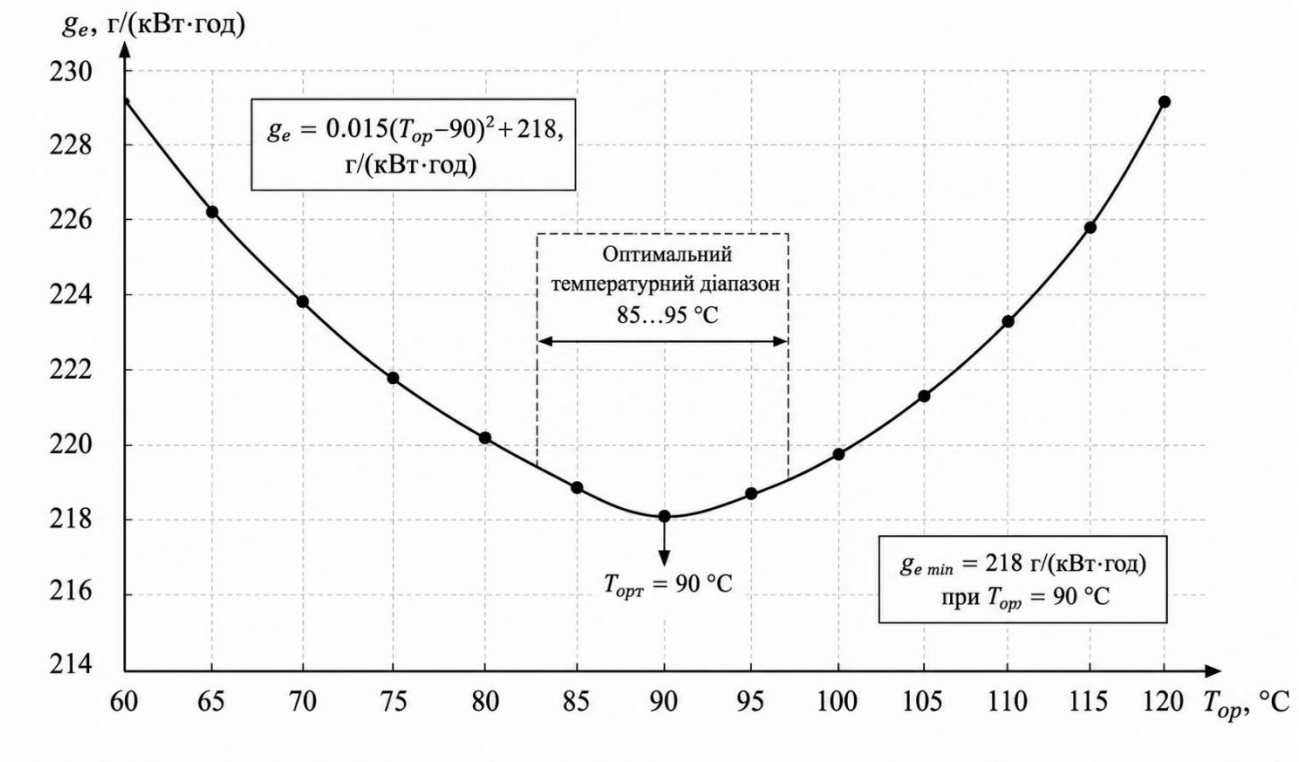


Рисунок 2.1 – Розрахункова залежність питомої витрати пального від температури охолоджувальної рідини

Побудована математична модель дозволяє перейти до визначення оптимального температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 та оцінити його вплив на загальну витрату дизельного пального. Це є основою для подальших розрахунків, які наведено в наступному підрозділі.

2.3 Обґрунтування оптимального температурного діапазону роботи двигуна ЯМЗ-236Д-3

Побудована в підрозділі 2.2 математична модель дозволяє визначити температурний режим, за якого питома витрата пального двигуна є мінімальною. З практичної точки зору саме цей режим є найбільш доцільним, оскільки забезпечує найкращу паливну економічність дизельного двигуна [1, 7, 8].

У попередньому підрозділі отримано залежність питомої витрати пального від температури охолоджувальної рідини (2.5).

Оскільки функція має квадратичний характер, її мінімум відповідає вершині параболи. Для аналітичного визначення оптимальної температури ОР

використаємо умову екстремуму функції, відповідно до якої перша похідна повинна дорівнювати нулю [7]:

$$\frac{dg_e}{dT_{op}} = 0, \tag{2.6}$$

Після диференціювання рівняння отримуємо:

$$\frac{dg_e}{dT_{op}} = 0.03(T_{op} - 90)$$

Прирівнюючи похідну до нуля, визначаємо значення оптимальної температури:

$$0.03(T_{op} - 90) = 0.$$

Звідки:

$$T_{опт} = 90^{\circ}C.$$

Отримане значення відповідає області мінімальної питомої витрати пального, що узгоджується з результатами, наведеними в розділі 1, а також із характером роботи тракторних дизельних двигунів [1, 3, 8].

Водночас у реальних умовах експлуатації температура охолоджувальної рідини не є сталою і може коливатися залежно від навантаження двигуна, температури навколишнього середовища та режиму роботи системи охолодження. Тому доцільно розглядати не окреме значення температури, а оптимальний температурний діапазон.

З урахуванням результатів математичного моделювання та експлуатаційних особливостей двигуна ЯМЗ-236Д-3 оптимальним доцільно прийняти температурний інтервал:

$$85 \le T_{op} \le 95 \circ C$$

У зазначених межах зміна питомої витрати пального є незначною, а двигун працює в умовах, близьких до найкращої паливної економічності.

Для наочного відображення впливу температурного режиму на годинну витрату пального побудовано графік залежності $G_n = f(T_{op})$(рис. 2.2).

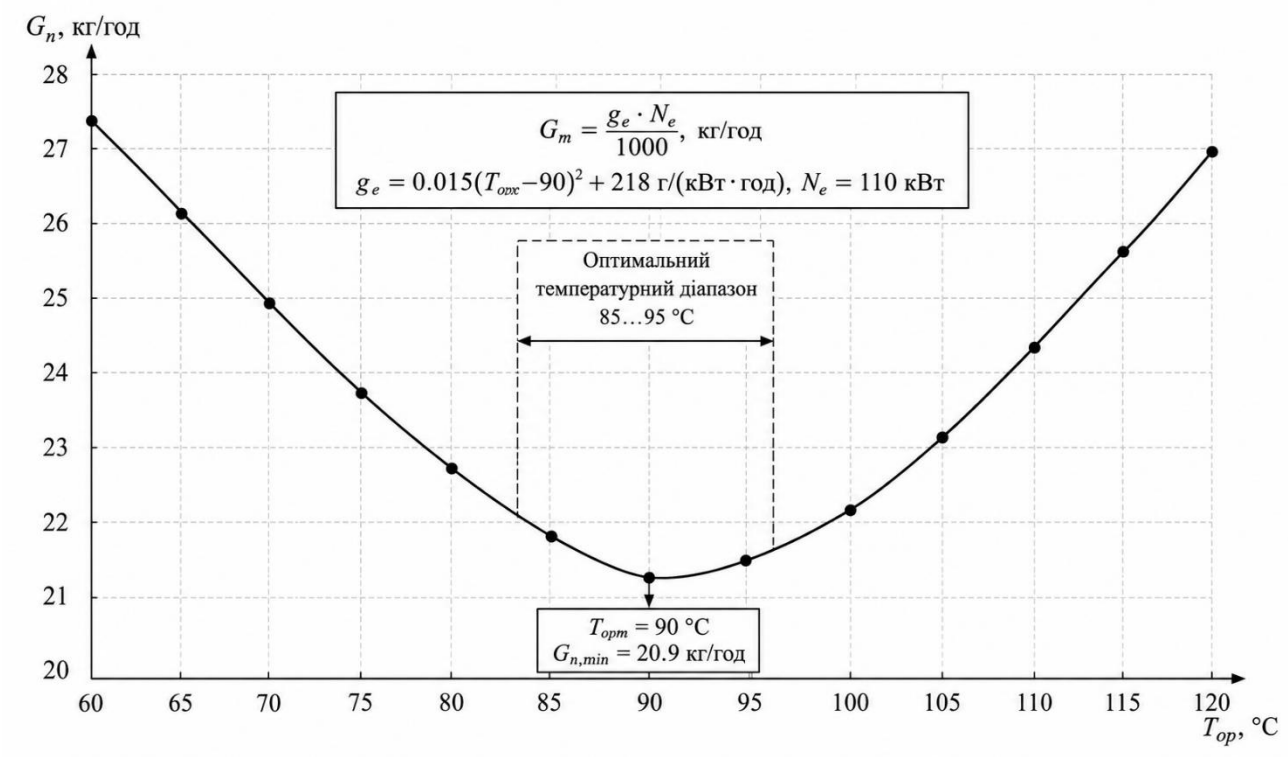


Рисунок 2.2 – Розрахункова залежність годинної витрати пального від температури охолоджувальної рідини

Таким чином, виконане математичне обґрунтування підтвердило, що найменша витрата пального двигуна ЯМЗ-236Д-3 досягається при температурі охолоджувальної рідини, близькій до 90 °С. Це створює передумови для застосування системи керованого регулювання температурного режиму, здатної підтримувати роботу двигуна в оптимальному температурному діапазоні.

Для оцінювання практичної ефективності запропонованого температурного режиму необхідно виконати розрахунок зміни витрати пального двигуна при різних значеннях температури охолоджувальної рідини.

2.4 Розрахунок впливу температурного режиму на витрату пального двигуна

Для оцінювання ефективності підтримання оптимального температурного режиму виконаємо розрахунок зміни витрати пального двигуна ЯМЗ-236Д-3 за різних значень температури охолоджувальної рідини $T_{ор}$. Розрахунок виконується для характерних режимів роботи двигуна: недогріву, оптимального режиму та підвищеної температури.

Для аналізу приймаємо три температурні режими:

- $T_{ор}$ = 70 °C — недостатній прогрів двигуна;
- $T_{ор}$ = 90 °C — оптимальний температурний режим;
- $T_{ор}$ = 105 °C — підвищений тепловий режим.

Питома витрата пального визначається за розрахунковою залежністю (2.5), отриманою в підрозділі 2.2.

Годинна витрата пального визначається за залежністю [1, 3]:

$$G_n = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}, \tag{2.7}$$

де N_e = 110 кВт.

Приклад розрахунку для температури $T_{ор}$ = 70 °C

Питома витрата пального:

$$g_e = 0.015(70-90)^2 + 218 = 224 г/(кВт \cdot год).$$

Годинна витрата пального:

$$G_n = \frac{224 \cdot 110}{1000} = 24.64 кг/год.$$

Приклад розрахунку для температури $T_{ор}$ = 90 °C

Питома витрата пального:

$$g_e = 218 г/(кВт \cdot год)$$

Годинна витрата пального:

$$G_n = \frac{218 \cdot 110}{1000} = 23.98 кг/год.$$

Приклад розрахунку для температури $T_{ор}$ = 105 °C

Питома витрата пального:

$$g_e = 0.015(105-90)^2 + 218 = 221.4 г/(кВт \cdot год).$$

Годинна витрата пального:

$$G_n = \frac{221.4 \cdot 110}{1000} = 24.35 кг/год.$$

Результати розрахунків наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вплив температурного режиму на показники паливної економічності двигуна ЯМЗ-236Д-3

Температура ОР, °С	Питома витрата пального, г/(кВт·год)	Годинна витрата пального, кг/год	Відхилення витрати пального, кг/год
70	224,0	24,64	+0,66
90	218,0	23,98	0
105	221,4	24,35	+0,37

Для визначення відносного зменшення витрати пального використаємо залежність:

$$\Delta G_n = \frac{G_{n1} - G_{n2}}{G_{n1}} \cdot 100, \tag{2.8}$$

Наприклад, для переходу від температури 70 °С до оптимального режиму:

$$\Delta G_n = \frac{24.64 - 23.98}{24.64} \cdot 100 = 2.68\%$$

Отримані результати свідчать про те, що підтримання температури охолоджувальної рідини поблизу оптимального значення $T_{опт} \approx 90$ °С забезпечує зменшення питомої та годинної витрати пального. Найбільше погіршення паливної економічності спостерігається за недостатнього прогрівання двигуна, що підтверджує доцільність застосування системи керованого регулювання температурного режиму.

Для більш наочного оцінювання впливу температурного режиму на паливну економічність двигуна побудовано графік відносної зміни годинної витрати пального залежно від температури охолоджувальної рідини відносно оптимального режиму (рис. 2.3).

Аналіз графіка свідчить про наявність чітко вираженого мінімуму витрати пального в області температури, близької до $T_{опт}$ = 90 °С. У межах температурного діапазону 85–95 °С відхилення годинної витрати пального є незначним і не перевищує приблизно ±0,5 %, що свідчить про стабільність паливної економічності двигуна в цьому інтервалі.

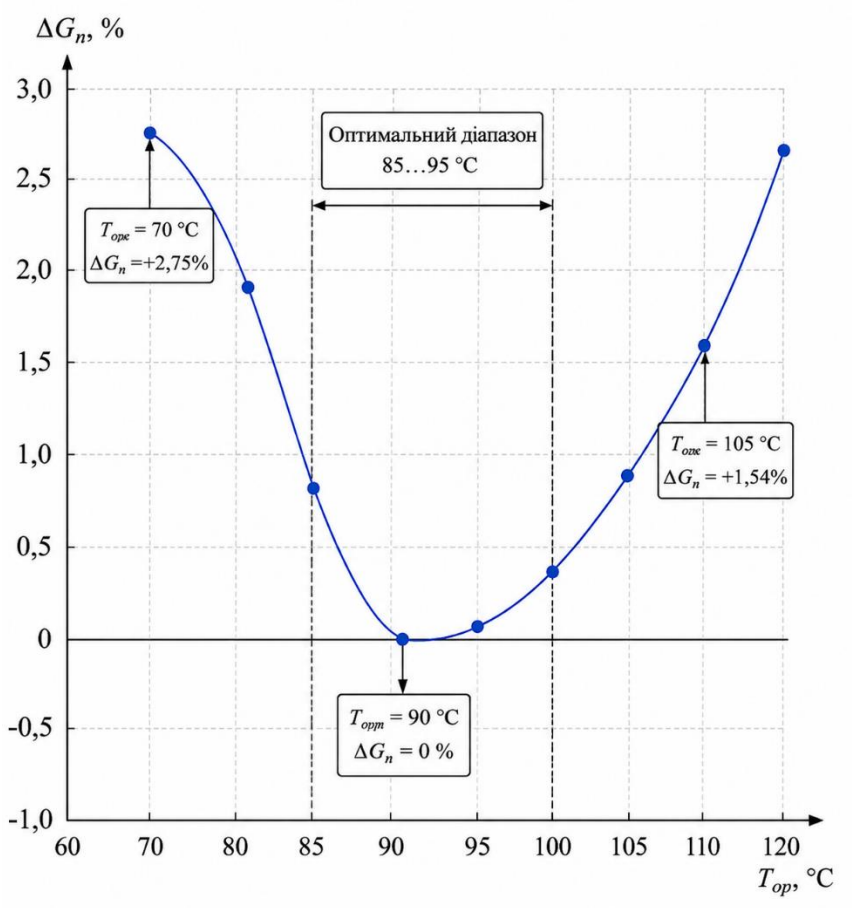


Рисунок 2.3 – Залежність відносної зміни годинної витрати пального від температури охолоджувальної рідини

За недостатнього прогрівання двигуна (T_{op} = 70 °C) годинна витрата пального збільшується приблизно на 2,68 %, що пояснюється підвищенням механічних втрат і погіршенням умов сумішоутворення. У разі підвищення температури до 105 °C витрата пального також зростає — приблизно на 1,54 %, що пов’язано зі зміною теплового стану двигуна та погіршенням умов його роботи.

Отримані результати підтверджують, що підтримання температури охолоджувальної рідини в межах 85–95 °C забезпечує найбільш економічну роботу двигуна ЯМЗ-236Д-3 та дозволяє уникнути додаткових витрат пального як у випадку недогрівання, так і при перегріванні двигуна. Це підтверджує доцільність застосування системи керованого регулювання температурного режиму, здатної стабілізувати температуру ОР у заданому оптимальному діапазоні.

Для оцінювання очікуваного ефекту від застосування керованого регулювання температурного режиму виконано порівняння характеру зміни температури охолоджувальної рідини в часі для штатної та удосконаленої систем охолодження.

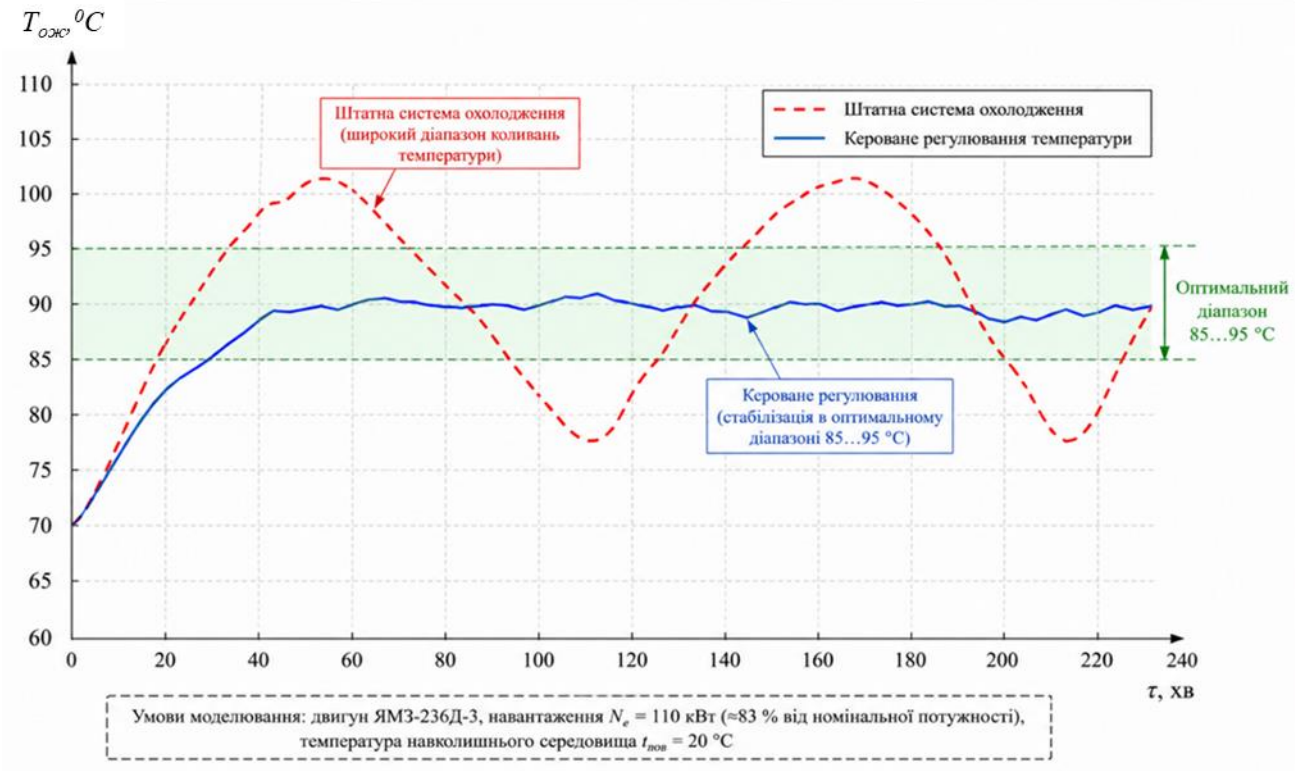


Рисунок 2.4 – Порівняння базового та оптимізованого температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3

Як видно з рис. 2.4, за використання штатної системи охолодження температура ОР змінюється в більш широкому діапазоні, що пояснюється інерційністю роботи механічного термостата та недостатньою адаптивністю системи до зміни навантаження двигуна. У процесі експлуатації це може призводити до періодичного недогрівання або перегрівання двигуна, особливо під час переходу між різними режимами роботи.

Натомість застосування керованого регулювання температурного режиму дозволяє підтримувати температуру охолоджувальної рідини в межах, близьких до оптимального діапазону 85–95 °C, із суттєво меншими амплітудами коливань. У розрахунковому випадку температура стабілізується поблизу значення Топт ≈ 90 °C, що відповідає області мінімальної питомої витрати пального.

Зменшення коливань температури ОР сприяє скороченню часу роботи двигуна в неоптимальних теплових режимах, що, своєю чергою, забезпечує зниження питомої та годинної витрати пального. Крім того, стабілізація температурного режиму позитивно впливає на тепловий стан деталей двигуна та сприяє підвищенню стабільності його роботи.

Для оцінювання практичної доцільності запропонованого технічного рішення необхідно визначити очікуваний ефект від стабілізації температурного режиму двигуна в умовах експлуатації трактора ХТЗ-17221.

2.5 Оцінка очікуваної паливної економічності при оптимізації температурного режиму двигуна

Підтримання температури охолоджувальної рідини в оптимальному діапазоні дозволяє зменшити час роботи двигуна в режимах недогрівання та перегрівання, які супроводжуються збільшенням питомої та годинної витрати пального. Для оцінювання очікуваної ефективності запропонованого удосконалення виконаємо визначення можливого зниження витрати дизельного пального при стабілізації температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3.

На підставі результатів математичного моделювання встановлено, що при відхиленні температури ОР від оптимального значення $T_{опт} \approx 90$ °С годинна витрата пального збільшується в межах 1,5–2,7 % залежно від характеру температурного режиму. В умовах реальної експлуатації трактора ХТЗ-17221 температура двигуна змінюється нерівномірно, тому очікуваний ефект доцільно оцінювати за усередненим значенням [1, 3, 8].

Очікуване відносне зниження витрати пального визначається за залежністю:

$$\Delta G_n = \frac{G_{пб} - G_{попт}}{G_{пб}} \cdot 100, \qquad (2.9)$$

де ΔG_n – відносне зниження витрати пального, %; $G_{пб}$ – годинна витрата пального при базовому температурному режимі, кг/год; $G_{попт}$ – годинна витрата пального при оптимальному температурному режимі, кг/год.

Для умов моделювання приймаємо, що середня витрата пального при роботі штатної системи охолодження становить:

$$G_{пб} = 24.75 кг / год$$

а при підтриманні оптимального температурного режиму:

$$G_{попт} = 23.98 кг / год$$

Тоді очікуване відносне зниження витрати пального становитиме:

$$\Delta G_n = \frac{24.75 - 23.98}{24.75} \cdot 100 = 3.11\%$$

Отриманий результат свідчить про те, що застосування керованого регулювання температурного режиму дозволяє забезпечити зниження витрати дизельного пального приблизно на 3,1 % за рахунок підтримання температури охолоджувальної рідини в межах, близьких до оптимального діапазону 85–95 °C.

Для наочного порівняння показників паливної економічності до та після оптимізації температурного режиму побудовано графік (рис. 2.5).

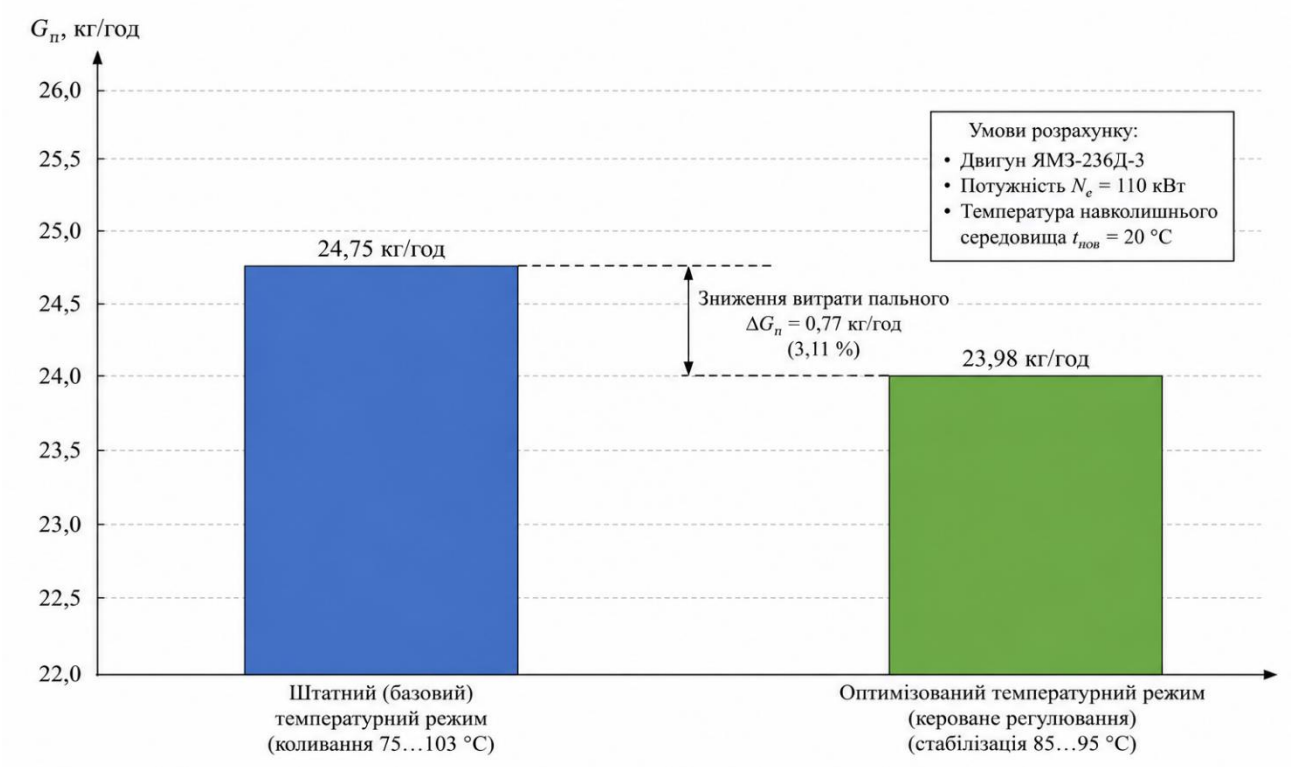


Рисунок 2.5 – Порівняння витрати пального при штатному та оптимізованому температурному режимі двигуна

Таким чином, результати математичного моделювання підтверджують доцільність впровадження системи керованого регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна ЯМЗ-236Д-3. Отримані результати є основою для розроблення конструктивного рішення, яке наведено в третьому розділі дипломного проєкту.

Висновки до розділу 2

У розділі виконано математичне обґрунтування впливу температурного режиму охолоджувальної рідини на паливну економічність дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3. На підставі аналізу теплового стану двигуна встановлено, що температура ОР є одним із чинників, які безпосередньо впливають на величину питомої та годинної витрати пального.

Сформовано математичну модель залежності питомої витрати пального g_e від температури охолоджувальної рідини T_{op}, яка дозволила визначити характер зміни паливної економічності двигуна в різних температурних режимах. Установлено, що залежність має нелінійний характер із чітко вираженим мінімумом у зоні оптимальної температури.

У результаті математичного моделювання визначено, що найбільш економічна робота двигуна ЯМЗ-236Д-3 досягається при температурі охолоджувальної рідини, близькій до 90 °С, а раціональний температурний діапазон становить 85–95 °С. За відхилення температури від оптимального значення спостерігається збільшення витрати пального: при недостатньому прогріванні (70°С) — приблизно на 2,68 %, а при підвищеній температурі (105°С) — на 1,54 %.

Виконані розрахунки показали, що стабілізація температурного режиму двигуна в оптимальному діапазоні дозволяє знизити годинну витрату пального приблизно на 3,1 % порівняно зі штатним режимом роботи системи охолодження. Це підтверджує доцільність застосування керованого регулювання температури охолоджувальної рідини.

Отримані результати є підґрунтям для розроблення конструктивного рішення щодо вдосконалення системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3, яке наведено в наступному розділі дипломного проєкту.

РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ДВИГУНА ЯМЗ-236Д-3

У результаті математичного моделювання, виконаного в розділі 2, встановлено, що найкраща паливна економічність двигуна ЯМЗ-236Д-3 досягається при підтриманні температури охолоджувальної рідини в межах 85–95°C, а найбільш доцільним є значення $T_{опт} \approx 90$ °C. Водночас штатна система охолодження двигуна не забезпечує достатньої стабільності температурного режиму в умовах змінного навантаження трактора ХТЗ-17221.

У процесі виконання польових робіт теплова напруженість двигуна змінюється залежно від тягового опору, глибини обробітку ґрунту, швидкості руху та інших експлуатаційних чинників. Це призводить до коливань температури охолоджувальної рідини та періодичної роботи двигуна в режимах, близьких до недогрівання або перегрівання. Унаслідок цього зростає витрата пального та погіршується стабільність теплового стану двигуна [1, 3, 8].

З метою усунення вказаних недоліків у даному дипломному проєкті пропонується вдосконалення системи охолодження шляхом застосування керованого регулювання температури охолоджувальної рідини, яке базується на використанні електронного контролю температури та виконавчих механізмів керування.

3.1 Обґрунтування конструктивного рішення системи керованого регулювання температури ОР

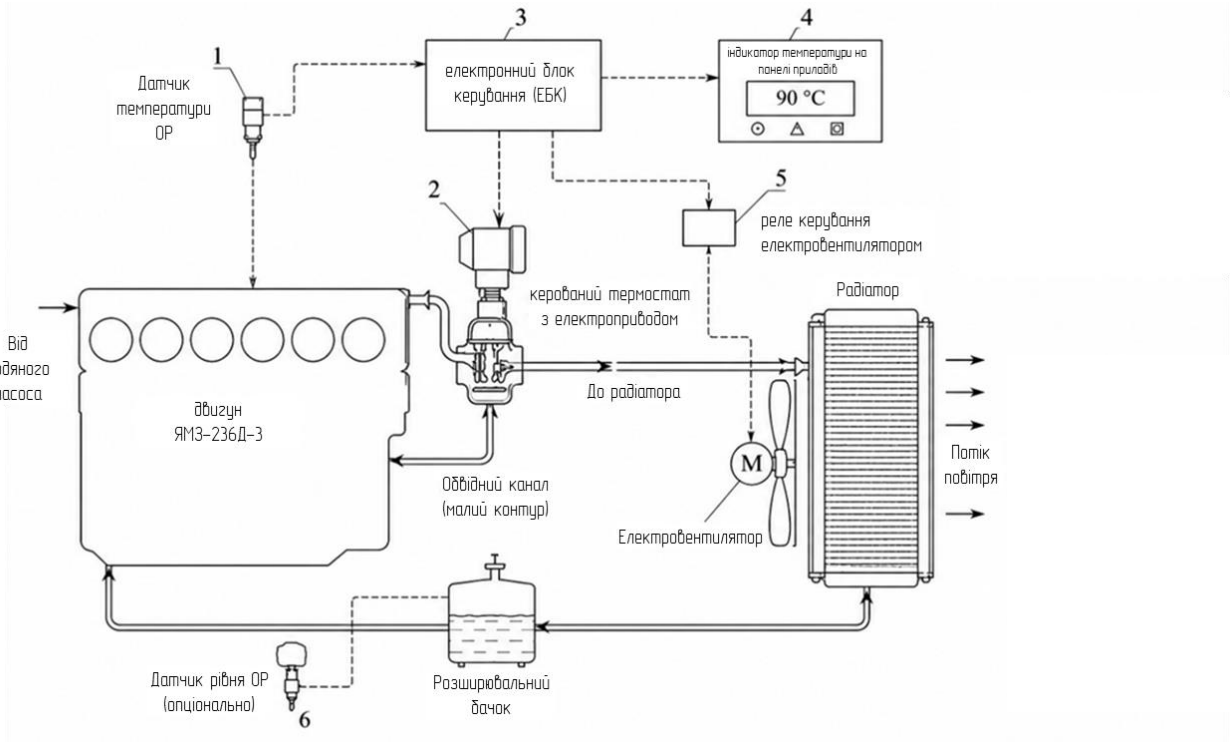
Штатна система охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3 використовує механічний термостат, робота якого визначається виключно температурою ОР і не враховує поточний режим навантаження двигуна [1]. Такий принцип регулювання є достатньо надійним, однак характеризується значною інерційністю та не дозволяє оперативно стабілізувати температуру в оптимальному діапазоні.

Для підвищення точності підтримання температурного режиму в роботі пропонується застосування керованого термостата з електроприводом, робота

якого координується електронним блоком керування на основі сигналу від датчика температури ОР.

Принцип роботи удосконаленої системи полягає в тому, що датчик температури безперервно контролює значення $T_{ор}$ та передає сигнал до електронного блока керування. Залежно від отриманого значення температури контролер змінює положення керованого термостата та режим роботи приводу вентилятора, забезпечуючи підтримання температури ОР поблизу оптимального значення $T_{опт} \approx 90$ °С.

Функціональна схема удосконаленої системи наведена на рис. 3.1.



1 – датчик температури ОР; 2 – керований термостат з електроприводом;
3 – електронний блок керування; 4 – індикатор температури; 5 – реле керування електровентилятором; 6 – датчик рівня ОР

Рисунок 3.1 – Функціональна схема керованої системи регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3

Запропоноване технічне рішення дозволяє:

- зменшити коливання температури ОР;
- скоротити тривалість роботи двигуна в режимах недогрівання та перегрівання;

– забезпечити стабілізацію температури в межах 85–95 °С;
– знизити витрату дизельного пального;
– покращити стабільність роботи двигуна в умовах змінного навантаження.

На відміну від штатної системи, запропоноване рішення передбачає можливість активного керування інтенсивністю охолодження залежно від поточного теплового стану двигуна. Це створює передумови для підвищення паливної економічності та покращення експлуатаційних показників трактора ХТЗ-17221.

Таким чином, для подальшого опрацювання в дипломному проєкті прийнято конструктивне рішення у вигляді керованого термостата з електроприводом та електронною системою керування температурним режимом двигуна ЯМЗ-236Д-3.

3.2 Розробка конструкції системи керованого регулювання температури

Для реалізації керованого регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 у дипломному проєкті запропоновано вдосконалення штатної системи охолодження шляхом застосування керованого термостата з електроприводом.

Конструктивною основою запропонованого рішення є штатний вузол термостата двигуна ЯМЗ-236Д-3, до якого додатково встановлюється механізм електроприводного керування положенням регулювального клапана. Такий підхід дозволяє мінімізувати втручання в базову конструкцію двигуна та забезпечує сумісність із серійною системою охолодження [1, 3].

Запропонована конструкція передбачає використання сервоприводу постійного струму напругою 12 В, який через систему важеля та вала здійснює зміну положення клапана термостата залежно від сигналів електронного блока керування.

Загальний вигляд керованого термостата наведено на рис. 3.2.

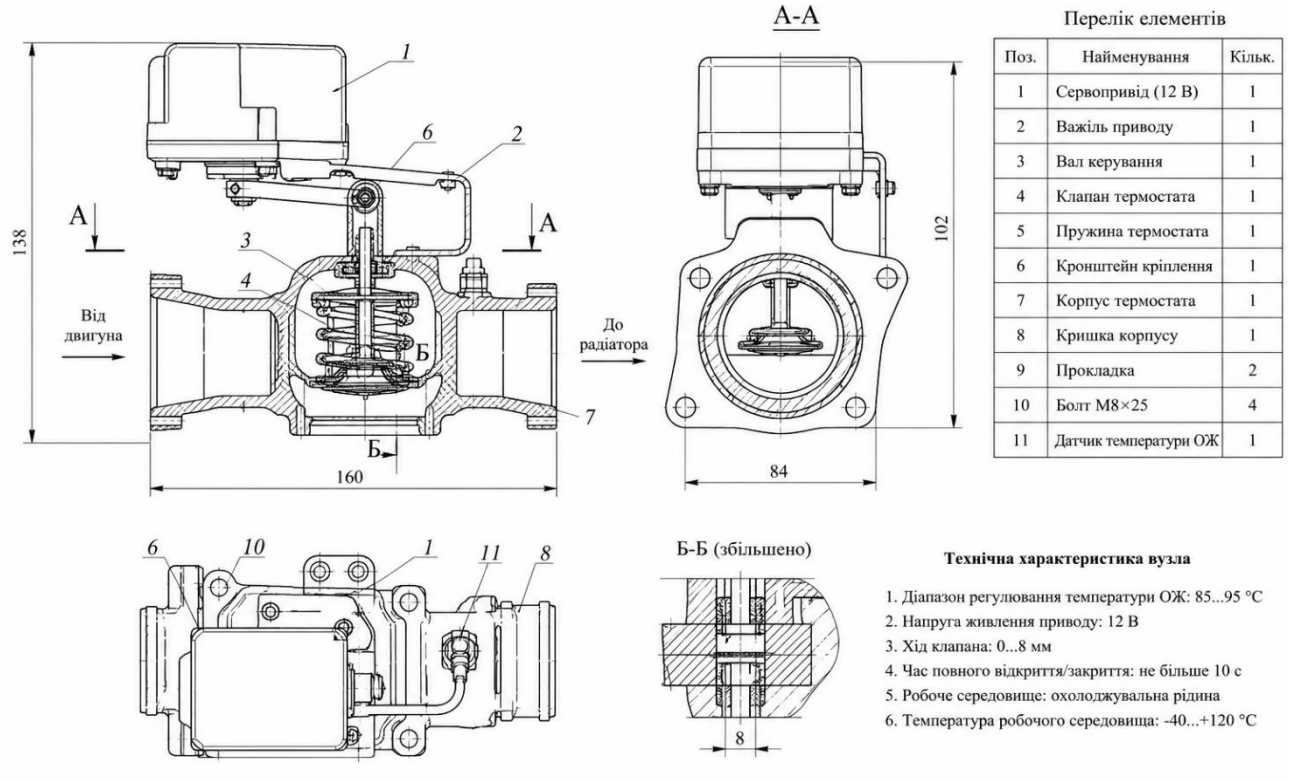


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд керованого термостата двигуна ЯМЗ-236Д-3

Конструкція вузла включає корпус термостата, регулювальний клапан, вал керування, важільний механізм, сервопривід, кронштейн кріплення та ущільнювальні елементи. Електронний блок керування на основі сигналу від датчика температури визначає необхідне положення клапана та передає відповідну команду на привід.

Принцип роботи запропонованої конструкції полягає у плавній зміні ступеня відкриття великого контуру охолодження залежно від поточної температури ОР. За температур, нижчих від 85 °С, система обмежує подачу ОР до радіатора, прискорюючи прогрів двигуна. У межах 85–95 °С підтримується стабільне положення клапана, а при підвищенні температури понад заданий рівень збільшується інтенсивність охолодження.

Кінематичну схему роботи приводу наведено на рис. 3.3.

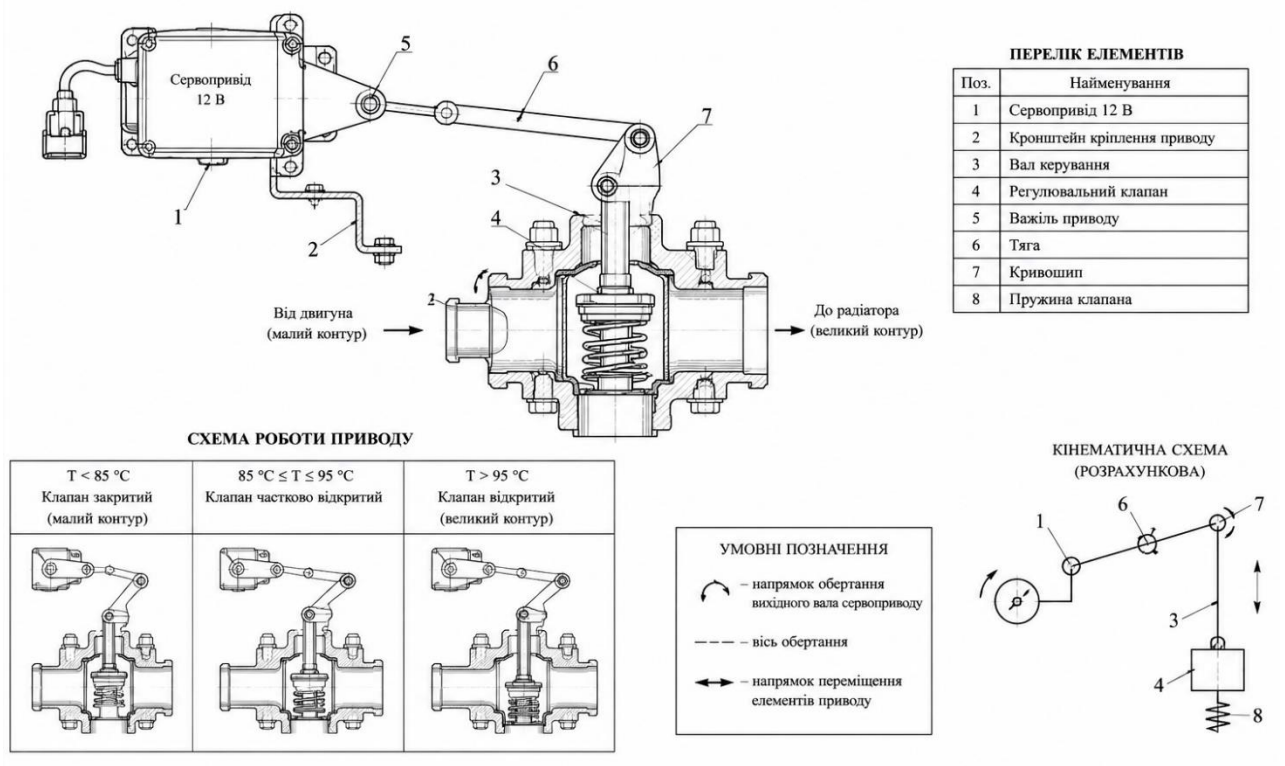


Рисунок 3.3 – Кінематична схема приводу керованого термостата двигуна ЯМЗ-236Д-3

Кінематична схема відображає принцип передавання переміщення від сервоприводу до регулювального клапана термостата. При зміні температури охолоджувальної рідини електронний блок керування подає сигнал на сервопривід, який через важільний механізм, тягу та кривошип змінює положення клапана термостата. Це забезпечує плавне регулювання ступеня відкриття великого контуру охолодження залежно від температурного режиму двигуна. За температури $T_{op} < 85$ °C клапан залишається переважно закритим, що прискорює прогрів двигуна. У межах 85–95 °C підтримується оптимальний режим роботи, а при $T_{op} > 95$ °C збільшується подача ОР до радіатора, підвищуючи інтенсивність охолодження двигуна.

3.3. Розрахунок параметрів керованої системи регулювання температури

Для забезпечення стабільної роботи керованої системи регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 необхідно визначити основні параметри її функціонування, зокрема діапазон регулювання температури,

величину переміщення регулювального клапана термостата, необхідний крутний момент приводу та швидкодію системи.

Параметри системи визначаються з урахуванням результатів математичного моделювання, виконаного в розділі 2, відповідно до якого оптимальний температурний режим роботи двигуна забезпечується при підтриманні температури охолоджувальної рідини в межах 85–95 °С.

У результаті математичного обґрунтування встановлено, що мінімальна питома витрата пального двигуна ЯМЗ-236Д-3 досягається при температурі ОР, близькій до 90°С. Тому для керованої системи приймаємо діапазон регулювання:

$$85 \le T_{op} \le 95^{\circ} C$$

За температури нижче 85 °С система повинна обмежувати подачу ОР до радіатора з метою прискорення прогріву двигуна. При температурі понад 95 °С має забезпечуватися повне відкриття великого контуру охолодження та активізація інтенсивного тепловідведення. У подальших розрахунках приймаємо: $T_{опт}$=90°С.

Для забезпечення стабільного температурного режиму необхідно визначити величину переміщення регулювального клапана керованого термостата залежно від температури охолоджувальної рідини. У запропонованій конструкції регулювання інтенсивності охолодження здійснюється шляхом зміни ступеня відкриття великого контуру циркуляції ОР.

Для термостатів двигунів сімейства ЯМЗ характерний повний хід клапана в межах 6–10 мм, тому в роботі приймаємо максимальний хід клапана термостата: h_{max}=8мм.

У межах робочого температурного діапазону 85–95 °С залежність переміщення клапана від температури ОР приймається лінійною:

$$h = h_{\max} \cdot \frac{T_{op} - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}, \qquad (3.1)$$

де h – поточне переміщення клапана, мм; h_{max} – максимальний хід клапана, мм; T_{op} – температура охолоджувальної рідини, °С; T_{min} = 85 °С – температура

початку відкриття клапана; T_{max} = 95 °C – температура повного відкриття клапана.

Розрахунок положення клапана при різних температурах

Для температури T_{op} = 85 °C:

$$h = 8 \cdot \frac{85 - 85}{95 - 85} = 0 мм$$

Отже, клапан практично закритий, а циркуляція ОЖ відбувається переважно по малому контуру.

Для температури T_{op} = 90 °C:

$$h = 8 \cdot \frac{90 - 85}{95 - 85} = 4 мм$$

У цьому випадку клапан відкритий приблизно на 50 %, що відповідає оптимальному температурному режиму двигуна.

Для температури T_{op} = 95 °C:

$$h = 8 \cdot \frac{95 - 85}{95 - 85} = 8 мм$$

Отже, клапан повністю відкритий, а система забезпечує максимальну інтенсивність охолодження.

Результати розрахунків наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність переміщення клапана термостата від температури ОР

Температура ОР, °C	Хід клапана, мм	Ступінь відкриття, %
85	0	0
90	4	50
95	8	100

Для наочного відображення характеру роботи системи побудовано графік зміни переміщення клапана залежно від температури ОР.

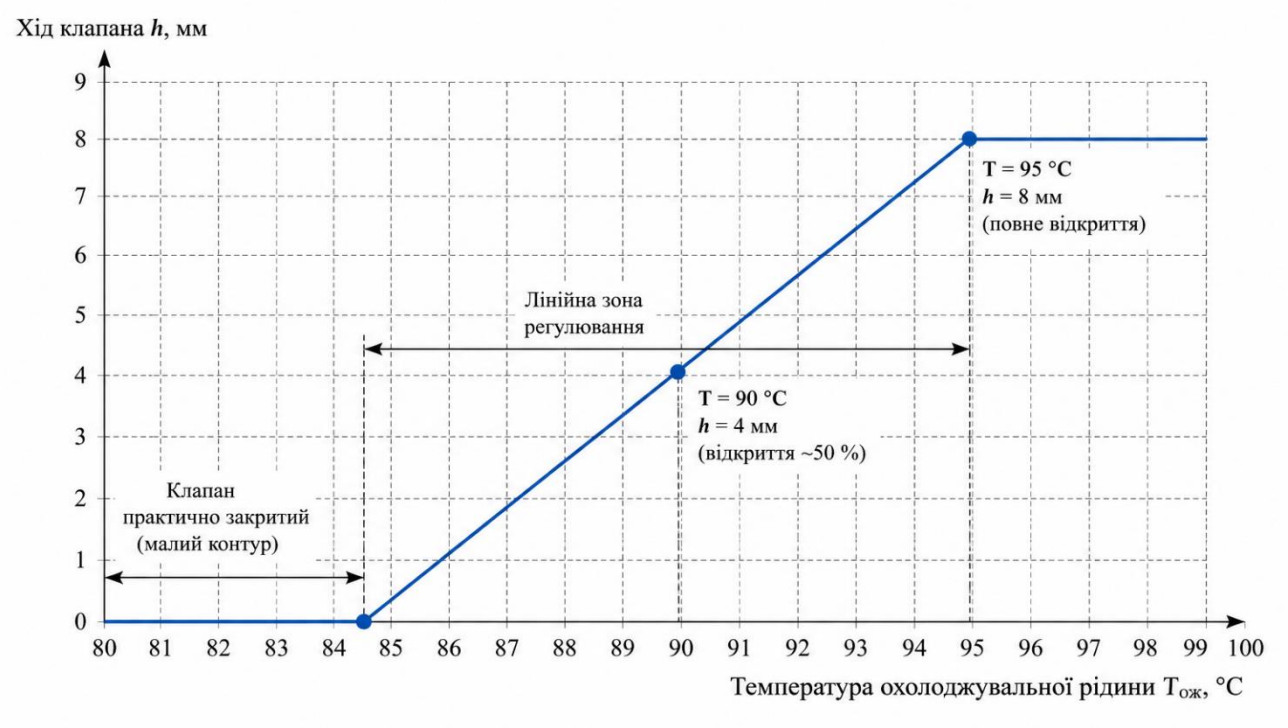


Рисунок 3.4 – Залежність ходу клапана керованого термостата від температури охолоджувальної рідини

Отримані результати свідчать про те, що прийнятий діапазон регулювання забезпечує плавну зміну інтенсивності охолодження та дозволяє підтримувати температуру двигуна в межах, близьких до оптимального значення $T_{опт} \approx 90$ °C.

Для забезпечення працездатності керованого термостата необхідно визначити крутний момент, який повинен розвивати сервопривід для переміщення регулювального клапана. Основним опором переміщенню клапана є зусилля пружини термостата, а також додаткові втрати на тертя в рухомих з’єднаннях.

Крутний момент на валу приводу визначається за залежністю:

$$M = F \cdot l \,, \tag{3.2}$$

де M – крутний момент, Н·м; F – зусилля, необхідне для переміщення клапана, Н; l – плече прикладання сили, м.

Для розрахунку приймаємо зусилля переміщення клапана: F=20Н, а плече важеля приводу l=0,04м.

Тоді розрахунковий крутний момент становитиме:

$$M = 20 \cdot 0{,}04 = 0{,}8 Нм.$$

Оскільки під час роботи вузла можливі додаткові втрати на тертя, забруднення рухомих елементів та зростання опору переміщенню клапана при тривалій експлуатації, сервопривід доцільно вибирати із запасом. Коефіцієнт запасу приймаємо k=3.

Необхідний крутний момент сервоприводу з урахуванням запасу визначається за формулою:

$$M_{пр} = k \cdot M \ , \tag{3.3}$$

де $M_{пр}$ – необхідний крутний момент сервоприводу, Н·м.

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$M_{пр} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 Нм.$$

З урахуванням умов експлуатації трактора, вібраційного навантаження та можливого збільшення опору переміщенню клапана приймаємо сервопривід із номінальним крутним моментом:

$$M_{пр.ном} = 8 Нм.$$

Прийняте значення забезпечує достатній запас за крутним моментом і дозволяє надійно переміщувати клапан термостата в усьому діапазоні регулювання. Такий запас є доцільним для тракторної техніки, яка працює в умовах пилу, вібрацій, перепадів температури та змінного навантаження.

Отже, для керованого термостата двигуна ЯМЗ-236Д-3 доцільно застосувати сервопривід постійного струму напругою 12 В з номінальним крутним моментом не менше 8 Н·м. Це забезпечить стабільне переміщення регулювального клапана та надійну роботу системи керованого регулювання температури ОР.

3.4. Опис роботи удосконаленої системи регулювання температурного режиму двигуна

Удосконалена система регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 призначена для підтримання температури охолоджувальної рідини $T_{ор}$ у межах оптимального діапазону 85–95 °С. Основними елементами системи

є датчик температури ОР, електронний блок керування, керований термостат з електроприводом, електровентилятор радіатора та реле керування вентилятором.

Під час запуску холодного двигуна температура ОР є нижчою за нижню межу робочого діапазону. У цьому випадку електронний блок керування утримує клапан керованого термостата в закритому або майже закритому положенні. Циркуляція ОР відбувається переважно по малому контуру, минаючи радіатор. Такий режим дозволяє скоротити час прогрівання двигуна та швидше вивести його на робочу температуру.

Коли температура ОР досягає 85 °С, електронний блок керування починає поступово змінювати положення клапана термостата. Відкриття клапана відбувається пропорційно до зростання температури. При температурі близько 90 °С клапан відкривається приблизно на половину повного ходу, що відповідає оптимальному режиму роботи двигуна.

У разі підвищення температури ОР до 95 °С клапан термостата повністю відкриває великий контур охолодження, і рідина надходить до радіатора. Якщо температура продовжує зростати, електронний блок керування додатково вмикає електровентилятор радіатора, що підвищує інтенсивність тепловідведення.

Алгоритм роботи системи можна подати так:

1. при $T_{ор} < 85$ °С — клапан закритий, циркуляція ОЖ відбувається по малому контуру;
2. при $85\ °С \leq T_{ор} \leq 95\ °С$ — клапан поступово відкривається, система підтримує оптимальний температурний режим;
3. при $T_{ор} > 95$ °С — клапан повністю відкритий, за потреби вмикається електровентилятор.

У процесі роботи датчик температури постійно передає інформацію про фактичне значення $T_{ор}$ до електронного блока керування. За наявності відхилення від заданого діапазону блок керування формує сигнал на сервопривід, який змінює положення клапана термостата. Таким чином реалізується зворотний зв’язок між температурним станом двигуна та роботою системи охолодження.

Перевагою запропонованої системи є можливість плавного регулювання інтенсивності охолодження, на відміну від штатного механічного термостата, який працює з більшою інерційністю. Це дозволяє зменшити коливання температури ОР, скоротити тривалість роботи двигуна в неоптимальних режимах і забезпечити умови для зниження питомої витрати пального g_e.

Отже, удосконалена система керованого регулювання температури ОР забезпечує стабілізацію теплового режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 у межах 85–95 °С, що відповідає результатам математичного обґрунтування, наведеного в розділі 2.

3.5. Конструкторська розробка вузла керованого регулювання температури охолоджувальної рідини

Основним конструктивним елементом вузла є керований термостат, який складається з корпусу, регулювального клапана, штока керування, сервоприводу, важільного механізму, кронштейна кріплення та ущільнювальних елементів. Конструкція передбачає встановлення сервоприводу безпосередньо на корпусі термостата через жорсткий кронштейн, що забезпечує компактність вузла та мінімізує люфти у приводному механізмі.

Корпус термостата виконує функцію базової деталі та забезпечує циркуляцію охолоджувальної рідини між малим і великим контурами системи охолодження. Для зменшення обсягу конструктивних змін у проєкті використано геометрію, максимально наближену до штатного вузла двигуна ЯМЗ-236Д-3. Це дозволяє забезпечити сумісність із серійною системою охолодження та спрощує монтаж удосконаленого вузла на двигуні.

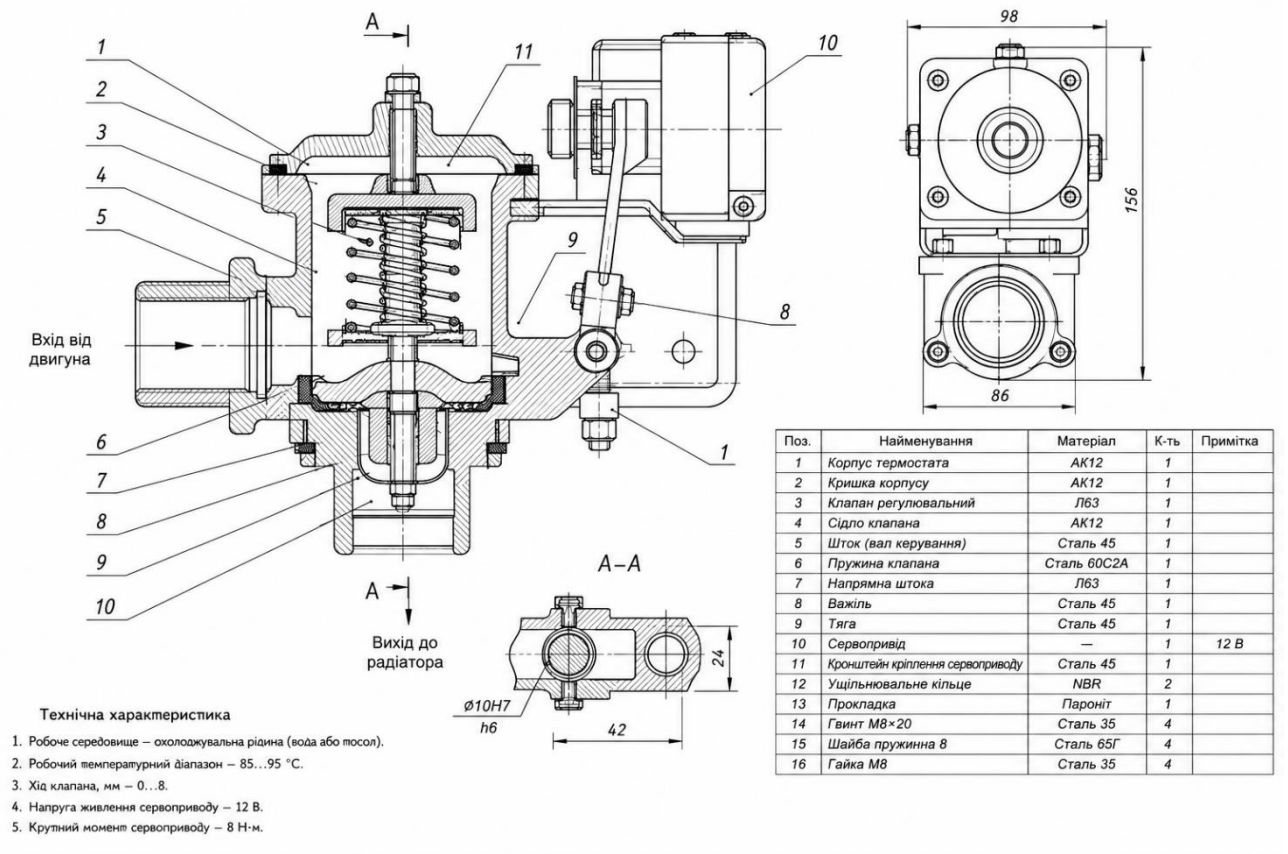
Керування положенням клапана здійснюється за допомогою електричного сервоприводу постійного струму напругою 12 В, який через систему важелів і тягу змінює ступінь відкриття клапана залежно від температури ОР. Обраний сервопривід має номінальний крутний момент 8 Нм, що перевищує розрахункове значення та забезпечує необхідний запас надійності при роботі в умовах вібраційних навантажень і підвищеного забруднення.

Кріплення сервоприводу до корпусу здійснюється болтовим з’єднанням через кронштейн, що забезпечує ремонтопридатність конструкції та можливість заміни окремих елементів без демонтажу всього вузла. Для запобігання самовідгвинчуванню в умовах вібрації передбачено використання пружинних шайб та різьбового фіксатора.

Після вибору принципової конструкції було виконано конструктивне опрацювання вузла керованого регулювання температури охолоджувальної рідини для двигуна ЯМЗ-236Д-3. Основною метою розробки є забезпечення плавного регулювання інтенсивності охолодження двигуна шляхом зміни положення клапана термостата залежно від температури ОР.

Запропонований вузол являє собою модернізований термостат із сервоприводним керуванням, який встановлюється на місці штатного вузла та забезпечує сумісність із серійною системою охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3.

Загальний конструктивний вигляд розробленого вузла наведено на рис. 3.5.



Поз.	Найменування	Матеріал	К-ть	Примітка
1	Корпус термостата	АК12	1	
2	Кришка корпусу	АК12	1	
3	Клапан регулювальний	Л63	1	
4	Сідло клапана	АК12	1	
5	Шток (вал керування)	Сталь 45	1	
6	Пружина клапана	Сталь 60С2А	1	
7	Напрямна штока	Л63	1	
8	Важіль	Сталь 45	1	
9	Тяга	Сталь 45	1	
10	Сервопривід	—	1	12 В
11	Кронштейн кріплення сервоприводу	Сталь 45	1	
12	Ущільнювальне кільце	NBR	2	
13	Прокладка	Пароніт	1	
14	Гвинт М8×20	Сталь 35	4	
15	Шайба пружинна 8	Сталь 65Г	4	
16	Гайка М8	Сталь 35	4	

Технічна характеристика

1. Робоче середовище – охолоджувальна рідина (вода або тосол).
2. Робочий температурний діапазон – 85…95 °С.
3. Хід клапана, мм – 0…8.
4. Напруга живлення сервоприводу – 12 В.
5. Крутний момент сервоприводу – 8 Н·м.

Рисунок 3.5 – Складальне креслення вузла керованого термостата двигуна ЯМЗ-236Д-3

Конструкція вузла включає корпус термостата, регулювальний клапан, вал керування, важільний механізм, сервопривід, кронштейн кріплення, ущільнювальні елементи та з’єднувальні деталі. Сервопривід установлюється на спеціальному кронштейні та через вал і важіль передає крутний момент до клапана термостата, забезпечуючи зміну ступеня його відкриття залежно від сигналу електронного блока керування.

У робочому режимі при температурі T_{op} < 85 °C клапан термостата утримується в закритому положенні, що забезпечує циркуляцію ОР переважно по малому контуру. У міру підвищення температури сервопривід змінює положення клапана, а при досягненні температури 95 °C забезпечується повне відкриття великого контуру охолодження.

Для забезпечення жорсткого та надійного кріплення сервоприводу в конструкції передбачено спеціальний кронштейн. Робоче креслення деталі наведено на рис. 3.6.

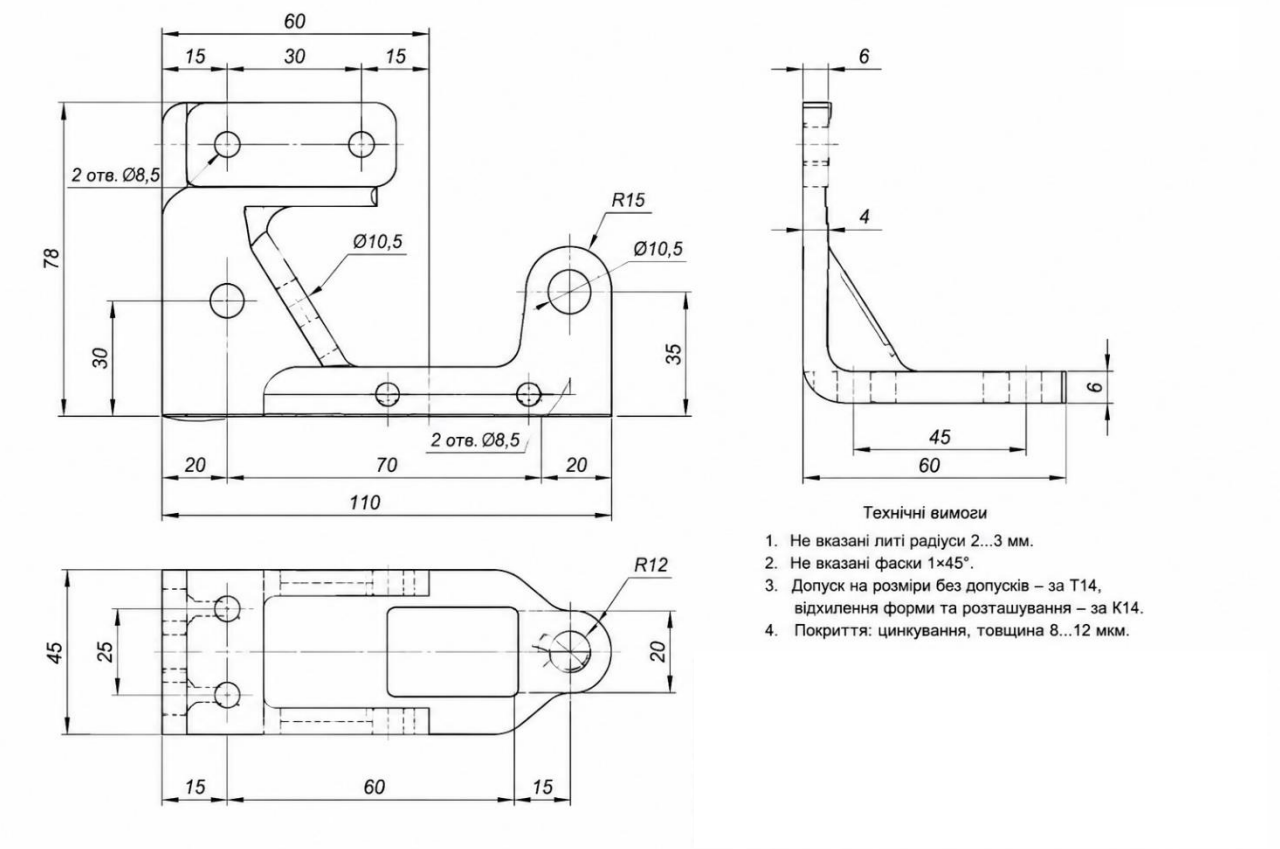


Рисунок 3.6 – Робоче креслення кронштейна кріплення сервоприводу

Кронштейн виконує функцію базового елемента для встановлення сервоприводу та забезпечує точне взаємне розташування елементів приводу відносно осі клапана термостата. Конструкція деталі передбачає використання болтового з'єднання, що спрощує монтаж, демонтаж і технічне обслуговування системи.

Матеріалом кронштейна прийнято сталь 45, яка характеризується достатньою міцністю, жорсткістю та стійкістю до вібраційних навантажень, характерних для тракторної техніки.

Схему встановлення вузла керованого термостата на двигуні ЯМЗ-236Д-3 наведено на рис. 3.7.

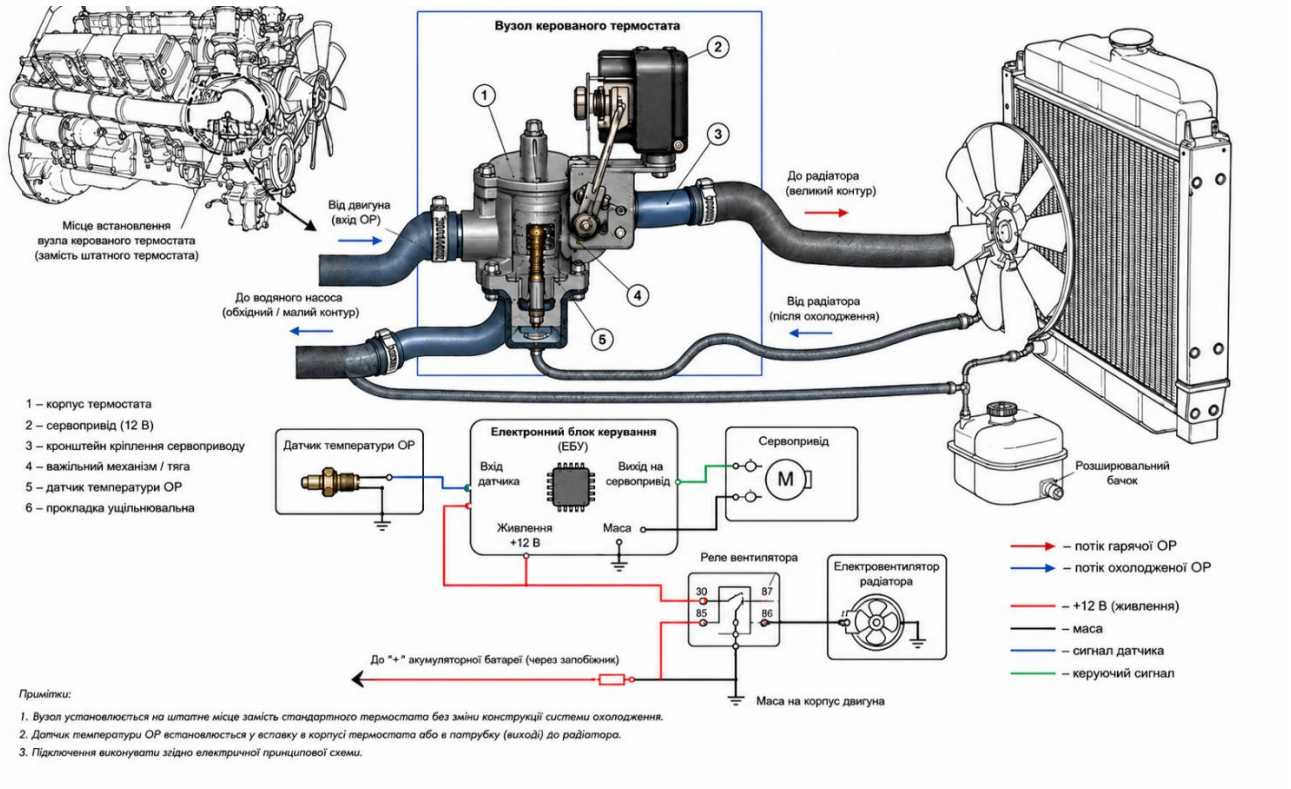


Рисунок 3.7 – Монтажна схема встановлення вузла керованого термостата на двигун ЯМЗ-236Д-3

Як видно з рис. 3.7, запропонований вузол інтегрується у штатну систему охолодження без необхідності суттєвої зміни конструкції двигуна. Датчик температури встановлюється у магістралі циркуляції ОР, а сервопривід під'єднується до електронного блока керування, який здійснює контроль температурного режиму в реальному часі.

Запропонована конструкція забезпечує можливість підтримання температури охолоджувальної рідини в межах 85–95 °С, що відповідає встановленому в розділі 2 оптимальному температурному режиму роботи двигуна. Реалізація такого рішення створює передумови для зменшення витрати дизельного пального та покращення стабільності роботи двигуна ЯМЗ-236Д-3.

Висновки до розділу 3

У розділі виконано розроблення конструктивного рішення системи керованого регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3, спрямованого на підтримання температури охолоджувальної рідини в оптимальному діапазоні 85–95 °С.

На підставі аналізу роботи штатної системи охолодження встановлено, що використання механічного термостата не забезпечує достатньої стабільності температурного режиму двигуна в умовах змінного навантаження трактора ХТЗ-17221. Це обумовлює доцільність застосування керованого регулювання температури охолоджувальної рідини.

У результаті конструкторського опрацювання запропоновано вузол керованого термостата з електроприводом, який включає корпус термостата, регулювальний клапан, вал керування, важільний механізм, сервопривід, кронштейн кріплення та елементи ущільнення. Розроблено функціональну схему системи, складальне креслення вузла, робоче креслення кронштейна кріплення сервоприводу та монтажну схему встановлення на двигун ЯМЗ-236Д-3.

Виконані розрахунки показали, що для забезпечення необхідного переміщення клапана достатнім є максимальний хід 8 мм, а оптимальний режим роботи досягається при температурі $T_{опт} \approx 90$ °С. Розрахунковий крутний момент виконавчого механізму становить 0,8 Нм, а з урахуванням коефіцієнта запасу доцільним є використання сервоприводу з номінальним моментом не менше 8Нм.

Установлено, що запропонована система забезпечує плавне регулювання інтенсивності охолодження двигуна, зменшує амплітуду температурних

коливань та скорочує тривалість роботи двигуна в режимах недогрівання і перегрівання. Реалізація розробленого конструктивного рішення створює передумови для зниження витрати дизельного пального приблизно на 3,1 %, що підтверджує доцільність його застосування.

Отримані результати є основою для подальшого визначення економічної ефективності впровадження запропонованого технічного рішення та оцінювання умов безпечної експлуатації системи, що розглядаються в наступному розділі.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Економічна ефективність удосконалення системи регулювання температурного режиму двигуна

Економічна доцільність застосування керованого регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 визначається насамперед зменшенням витрати дизельного пального внаслідок стабілізації температури охолоджувальної рідини в оптимальному діапазоні 85–95 °C.

У результаті математичного моделювання, виконаного в розділі 2, встановлено, що впровадження запропонованої системи дозволяє знизити витрату пального приблизно на 3.1%.

Для оцінювання річної економії пального приймаємо такі вихідні дані, характерні для умов експлуатації трактора ХТЗ-17221:

- середнє річне напрацювання трактора — 1000 мотогод/рік;
- середня годинна витрата дизельного пального — 24,75 кг/год;
- густина дизельного пального — ρ = 0,84 кг/л;
- вартість дизельного пального — 60 грн/л.

Річна витрата пального до впровадження удосконалення становитиме:

$$G_{річ} = 24.75 \cdot 1000 = 24750 кг\,, \tag{4.1}$$

У літрах:

$$G_{л} = \frac{24750}{0.84} = 29464 л$$

Річна економія пального визначається за формулою:

$$E_{пал} = G_{л} \cdot \frac{\Delta G_{п}}{100}\,, \tag{4.2}$$

Підставляючи числові значення у формулу, визначимо річну економію дизельного пального:

$$E_{пал} = 29464 \cdot \frac{3.1}{100} = 913 л\ /\ рік.$$

Отже, очікувана річна економія дизельного пального становить приблизно 913 л/рік.

Грошова економія від зменшення витрати пального визначається за залежністю:

$$E_{гр} = E_{пал} \cdot C_{пал} \quad (4.3)$$

де $E_{гр}$ – річна грошова економія, грн/рік; $E_{пал}$ – річна економія пального, л/рік; $C_{пал}$ – вартість дизельного пального, грн/л.

Тоді:

$$E_{гр} = 913 \cdot 60 = 54780 грн / рік.$$

Для реалізації запропонованого технічного рішення необхідні витрати на придбання та виготовлення елементів системи керованого регулювання температури ОР. Орієнтовна вартість модернізації наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Орієнтовні витрати на модернізацію системи охолодження

Найменування	Кількість	Вартість, грн
Сервопривід 12 В (8 Нм)	1	3500
Електронний блок керування	1	2500
Датчик температури ОР	1	800
Матеріали для виготовлення кронштейна	1 компл.	700
Монтажні матеріали та кріплення	1 компл.	1000
Разом	–	8500

Термін окупності запропонованого удосконалення визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{гр}}, \quad (4.4)$$

де $T_{ок}$ – строк окупності, років; K – капітальні витрати на модернізацію, грн; $E_{гр}$ – річна грошова економія, грн/рік.

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$T_{ок} = \frac{8500}{54780} = 0.16 року.$$

Отже, строк окупності становить приблизно 0,16 року, або близько 2 місяців експлуатації.

Для наочного порівняння показників до та після впровадження удосконалення побудовано діаграму.

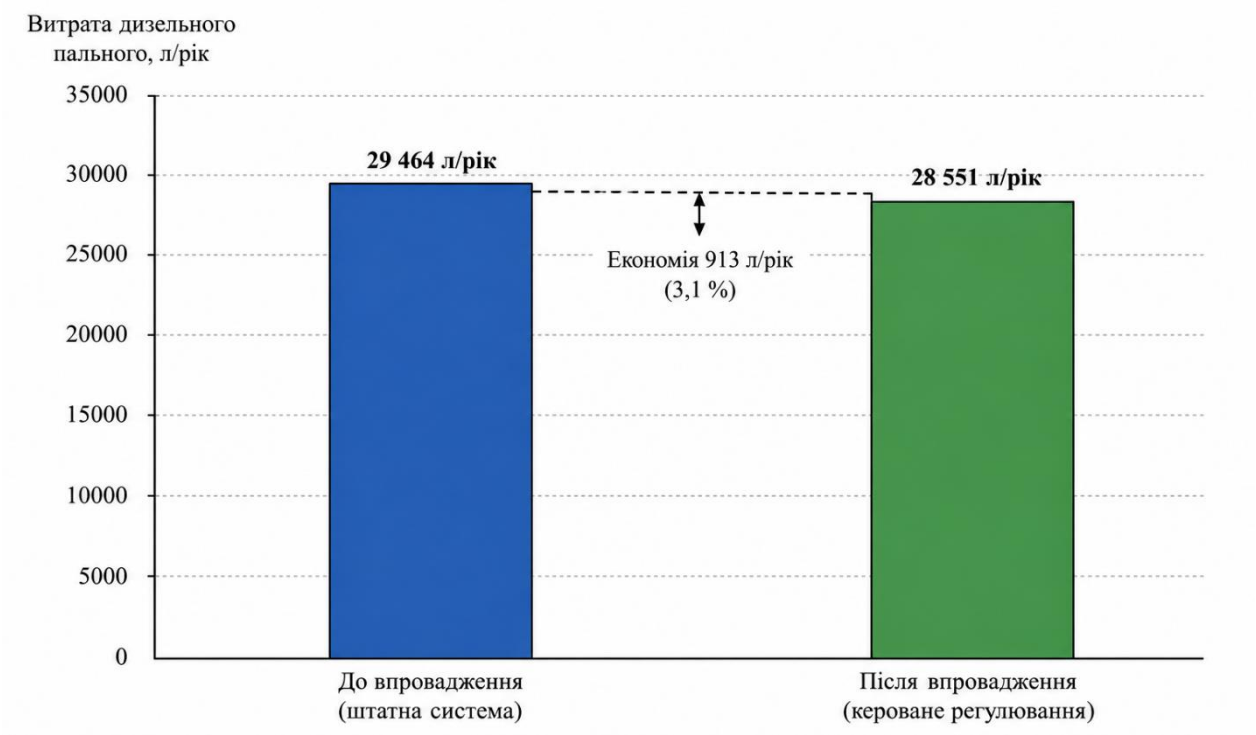


Рисунок 4.1 – Порівняння витрат дизельного пального до та після впровадження керованого регулювання температури ОР

Отримані результати свідчать про високу економічну доцільність запропонованого технічного рішення. Незважаючи на відносно невеликі витрати на модернізацію, стабілізація температурного режиму двигуна дозволяє отримати відчутне зниження витрати пального та забезпечує швидку окупність системи. Це підтверджує практичну доцільність впровадження керованого регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна ЯМЗ-236Д-3 у складі трактора ХТЗ-17221.

4.2 Охорона праці та безпека при експлуатації системи охолодження трактора ХТЗ-17221

Під час експлуатації трактора ХТЗ-17221 з дизельним двигуном ЯМЗ-236Д-3 важливе значення має забезпечення безпечних умов праці оператора та обслуговуючого персоналу. Особливої уваги потребує система охолодження

двигуна, оскільки вона працює під підвищеним тиском, за високих температур і передбачає контакт із нагрітими елементами двигуна та охолоджувальною рідиною.

Під час виконання технічного обслуговування системи охолодження основними небезпечними та шкідливими виробничими чинниками є:

- підвищена температура елементів двигуна та охолоджувальної рідини;
- ризик опіків під час відкривання системи охолодження;
- підвищений тиск у магістралях циркуляції ОР;
- рухомі частини приводу вентилятора;
- електричне обладнання системи керування;
- забруднення робочої зони мастильними матеріалами та охолоджувальною рідиною.

Температура охолоджувальної рідини в процесі роботи двигуна може перевищувати 90–95 °С, тому виконання ремонтних і регулювальних робіт дозволяється лише після часткового охолодження двигуна та зниження тиску в системі охолодження. Забороняється відкривати кришку радіатора або розширювального бачка при працюючому двигуні або безпосередньо після його зупинки, оскільки це може призвести до викиду гарячої рідини та отримання термічних опіків.

При обслуговуванні вузла керованого термостата необхідно:

1. заглушити двигун;
2. відключити електроживлення від акумуляторної батареї;
3. дочекатися зниження температури ОР;
4. перевірити відсутність надлишкового тиску в системі;
5. використовувати справний інструмент.

Монтаж та технічне обслуговування сервоприводу і електронного блока керування повинні виконуватися відповідно до вимог електробезпеки для низьковольтного обладнання. Незважаючи на використання безпечної напруги 12 В, пошкодження ізоляції проводів або коротке замикання можуть призвести до виходу системи з ладу та локального нагрівання електричних елементів.

З метою забезпечення електробезпеки в запропонованій системі передбачено:

– використання запобіжника в ланцюзі живлення;

– герметичні електричні з’єднання;

– захист проводів від механічних пошкоджень;

– ізоляцію контактних груп сервоприводу;

– надійне з’єднання з масою трактора.

Для зменшення ризику травмування персоналу під час технічного обслуговування необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: рукавиці, захисні окуляри та спецодяг. Роботи доцільно виконувати на рівному майданчику з вимкненим двигуном і встановленим стоянковим гальмом.

Важливим елементом безпечної експлуатації є своєчасний контроль герметичності системи охолодження. Витікання охолоджувальної рідини може спричинити перегрів двигуна, а також створює небезпеку ковзання персоналу в зоні обслуговування.

Для наочного відображення основних небезпечних зон під час технічного обслуговування системи охолодження доцільно подати схему (рис. 4.2).

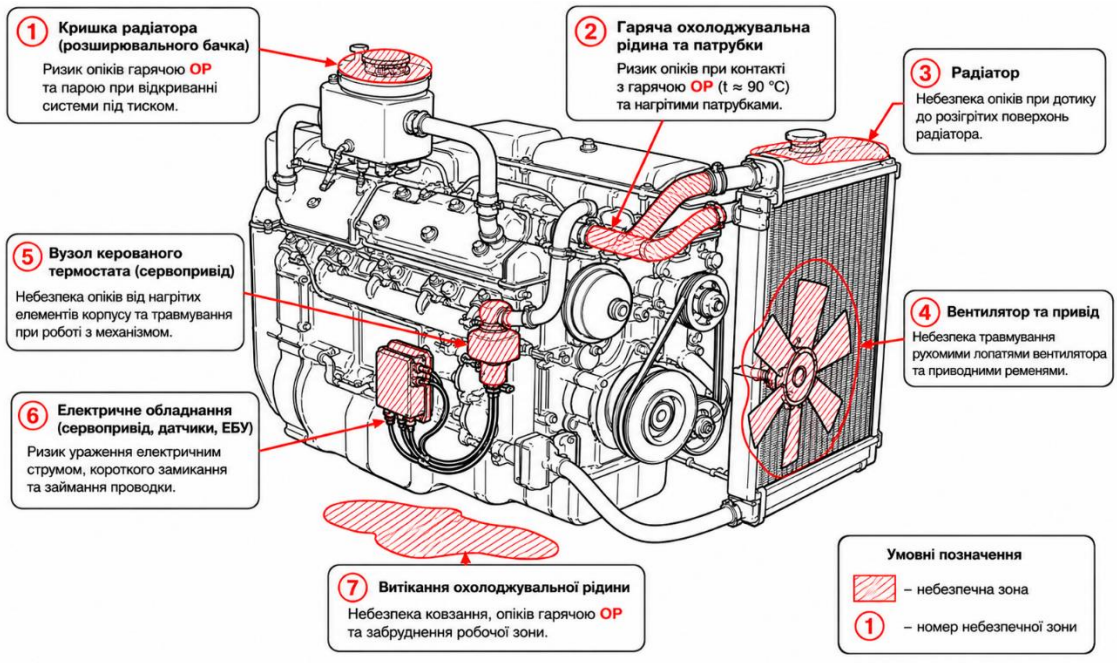


Рисунок 4.2 – Основні небезпечні зони при обслуговуванні системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3

Отже, дотримання вимог безпеки під час експлуатації та технічного обслуговування системи керованого регулювання температури ОР дозволяє мінімізувати ризик травмування персоналу та забезпечити надійну роботу двигуна ЯМЗ-236Д-3 у складі трактора ХТЗ-17221.

4.3. Охорона праці при технічному обслуговуванні системи охолодження трактора

Технічне обслуговування системи охолодження трактора ХТЗ-17221 з двигуном ЯМЗ-236Д-3 пов’язане з виконанням робіт у зоні підвищених температур, рухомих елементів двигуна та електричного обладнання. У зв’язку з цим особливого значення набуває дотримання вимог охорони праці під час діагностування, регулювання, ремонту та обслуговування системи охолодження, а також установленого вузла керованого регулювання температури охолоджувальної рідини.

До виконання робіт з технічного обслуговування допускаються особи, які пройшли відповідний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з конструкцією трактора та знають порядок безпечної експлуатації обладнання. Роботи необхідно виконувати відповідно до вимог нормативних документів з безпеки праці у сільськогосподарському виробництві та правил технічної експлуатації машин.

Перед початком технічного обслуговування необхідно:

1. установити трактор на рівному майданчику;
2. заглушити двигун і дочекатися його повної зупинки;
3. ввімкнути стоянкове гальмо;
4. вимкнути масу або від’єднати клему акумуляторної батареї;
5. переконатися у відсутності надлишкового тиску в системі охолодження.

Обслуговування системи охолодження при працюючому двигуні не допускається, оскільки існує ризик травмування рухомими частинами вентилятора, приводними ременями та шківами. Особливо небезпечним є відкривання кришки радіатора або розширювального бачка без попереднього

охолодження двигуна, оскільки температура охолоджувальної рідини може перевищувати 90 °С, а система перебуває під надлишковим тиском.

При заміні або доливанні охолоджувальної рідини необхідно використовувати захисні рукавиці та окуляри, уникаючи потрапляння ОР на відкриті ділянки шкіри та в очі. У разі потрапляння рідини на шкіру уражену ділянку слід негайно промити великою кількістю води.

Під час технічного обслуговування вузла керованого термостата необхідно додатково контролювати стан електричних з’єднань, сервоприводу, датчика температури та електронного блока керування. Забороняється виконувати монтаж або демонтаж елементів системи при підключеному електроживленні.

Для забезпечення безпечних умов праці рекомендується застосовувати такі засоби індивідуального захисту:

- спеціальний робочий одяг;
- захисні рукавиці;
- захисні окуляри;
- нековзне робоче взуття.

Після завершення технічного обслуговування необхідно перевірити герметичність з’єднань, надійність кріплення патрубків, відсутність витікань ОР та працездатність системи керованого регулювання температури.

Для систематизації вимог безпеки доцільно виділити основні заходи охорони праці під час технічного обслуговування системи охолодження (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Основні заходи охорони праці при технічному обслуговуванні системи охолодження

Небезпечний фактор	Можливі наслідки	Заходи безпеки
Гаряча ОР та нагріті поверхні	Опіки	Виконувати роботи після охолодження двигуна

Надлишковий тиск у системі	Викид гарячої рідини	Не відкривати кришку радіатора на гарячому двигуні
Рухомі елементи вентилятора	Травмування	Обслуговувати лише при заглушеному двигуні
Електрообладнання системи	Коротке замикання	Відключати акумулятор перед роботами
Витік ОР	Ковзання, забруднення	Контроль герметичності системи

Таким чином, дотримання вимог охорони праці при технічному обслуговуванні системи охолодження трактора ХТЗ-17221 та вузла керованого регулювання температури ОР забезпечує безпечні умови праці персоналу, знижує ризик травмування та сприяє надійній експлуатації двигуна ЯМЗ-236Д-3.

Висновки до розділу 4

У розділі виконано оцінювання економічної доцільності впровадження системи керованого регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 та розглянуто питання охорони праці під час експлуатації й технічного обслуговування системи охолодження трактора ХТЗ-17221.

На підставі результатів математичного моделювання та конструктивного опрацювання встановлено, що підтримання температури охолоджувальної рідини в межах 85–95 °С дозволяє забезпечити зниження витрати дизельного пального приблизно на 3,1 %. Виконані економічні розрахунки показали, що річна економія пального може становити близько 913 л, а очікуваний економічний ефект — приблизно 54,8 тис. грн/рік. За прийнятої вартості модернізації строк окупності технічного рішення становить близько 0,16 року, що підтверджує його практичну доцільність.

У межах розділу також проаналізовано основні небезпечні чинники, пов’язані з експлуатацією та технічним обслуговуванням системи охолодження двигуна. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять підвищена температура охолоджувальної рідини, надлишковий тиск у системі, рухомі елементи вентилятора та електричне обладнання вузла керованого регулювання температури.

Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів безпеки, які передбачають виконання робіт лише при зупиненому двигуні, контроль температури й тиску в системі, відключення електроживлення під час обслуговування, використання засобів індивідуального захисту та систематичну перевірку герметичності системи охолодження.

Отже, результати розрахунків підтверджують, що впровадження керованого регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3 є технічно доцільним, економічно ефективним і не призводить до погіршення умов безпечної експлуатації трактора ХТЗ-17221.

ВИСНОВКИ

У бакалаврському дипломному проєкті вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо покращення роботи дизельного двигуна трактора ХТЗ-17221 шляхом зміни температурного режиму роботи двигуна ЯМЗ-236Д-3 за рахунок застосування керованого регулювання температури охолоджувальної рідини.

Проаналізовано особливості функціонування системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3 та встановлено, що штатна система регулювання температурного режиму не забезпечує стабільного підтримання температури охолоджувальної рідини в умовах змінного навантаження трактора. Виявлено, що відхилення температури від оптимального значення призводить до погіршення паливної економічності двигуна та зростання експлуатаційних витрат.

На підставі аналізу впливу температурного режиму на роботу дизельного двигуна визначено оптимальний діапазон температур охолоджувальної рідини 85–95 °С, при якому забезпечується найкраща паливна економічність. Установлено, що найбільш доцільним значенням температури є 90 °С, за якого досягається мінімальна питома витрата пального.

Виконано моделювання залежності питомої та годинної витрати пального від температури охолоджувальної рідини. Результати розрахунків показали, що стабілізація температурного режиму двигуна поблизу оптимального значення дозволяє знизити витрату дизельного пального приблизно на 3,1 % порівняно зі штатною системою охолодження.

Розроблено вузол керованого регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна ЯМЗ-236Д-3, який включає керований термостат із сервоприводом, електронний блок керування, датчик температури та елементи монтажу. Виконано конструктивне опрацювання системи, розроблено функціональну схему, складальне креслення вузла, робоче креслення кронштейна кріплення сервоприводу та монтажну схему встановлення вузла на двигун.

Визначено основні параметри запропонованої системи, зокрема діапазон регулювання температури, хід клапана термостата та необхідний крутний момент сервоприводу. Встановлено, що для забезпечення надійної роботи системи доцільним є застосування сервоприводу з номінальним крутним моментом не менше 8 Нм.

Виконане техніко-економічне оцінювання показало, що впровадження запропонованого технічного рішення забезпечує річну економію дизельного пального близько 913 л, що відповідає економічному ефекту приблизно 54,8 тис. грн/рік. Розрахований строк окупності модернізації становить близько 0,16 року, що свідчить про високу економічну доцільність впровадження.

Визначено основні небезпечні фактори, пов’язані з експлуатацією та технічним обслуговуванням системи охолодження двигуна, а також запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час обслуговування трактора ХТЗ-17221.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марченко А. П., Парсаданов І. В., Пильов В. В. Двигуни внутрішнього згоряння : підручник. Харків : НТУ «ХПІ», 2008. 493 с.
2. Булгаков В. М., Калетнік Г. М., Адамчук В. В. Трактори і автомобілі : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2011. 400 с.
3. Бабаченко О. І., Бондар С. М. Трактори та автомобілі : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2016. 392 с.
4. Дідух В. Ф. Теплові двигуни внутрішнього згоряння : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2008. 268 с.
5. ДСТУ 4277:2004. Трактори сільськогосподарські. Загальні технічні вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.
6. ДСТУ 3650:2019. Дорожні транспортні засоби. Терміни та визначення понять. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
7. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 1024 p.
8. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. London : Palgrave Macmillan, 2012. 641 p.
9. Bosch. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Hoboken : Wiley, 2018. 1168 p.
10. Rakopoulos C. D., Giakoumis E. G. Diesel Engine Transient Operation: Principles of Operation and Simulation Analysis. London : Springer, 2009. 390 p.
11. Payri F., Desantes J. M. Engine Technology: Thermodynamics and Mechanics. London : Springer, 2011. 450 p.
12. Матейчик В. П., Цюман М. П., Грицук І. В. Двигуни внутрішнього згоряння транспортних засобів : навч. посіб. Київ : НТУ, 2021. 432 с.
13. Матейчик В. П., Грицук І. В. Підвищення паливної економічності транспортних двигунів шляхом оптимізації теплових режимів // Вісник Національного транспортного університету. Київ, 2020.

14. Матейчик В. П., Грицук І. В. Вплив температурного режиму двигуна на показники паливної економічності // Автошляховик України. Київ, 2019.
15. Матейчик В. П. Експлуатаційні властивості транспортних засобів : навч. посіб. Київ : НТУ, 2018.

ДОДАТКИ

Графічний матеріал

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет механіко-технологічний

Кафедра тракторів і автомобілів

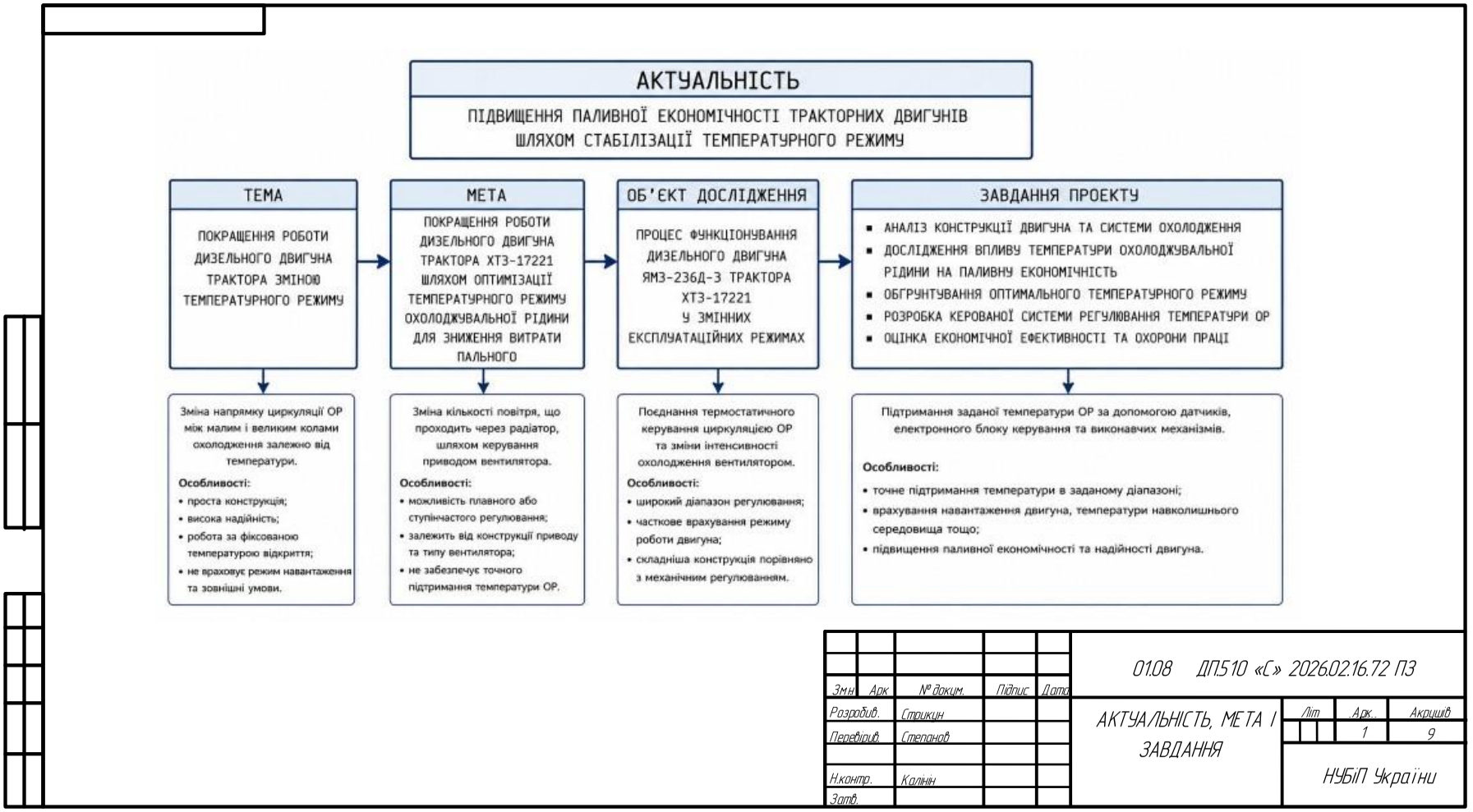
ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ БАКАЛАВРА
на тему:

«ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ТРАКТОРА ЗМІНОЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

Стрикун Ростислав Володимирович

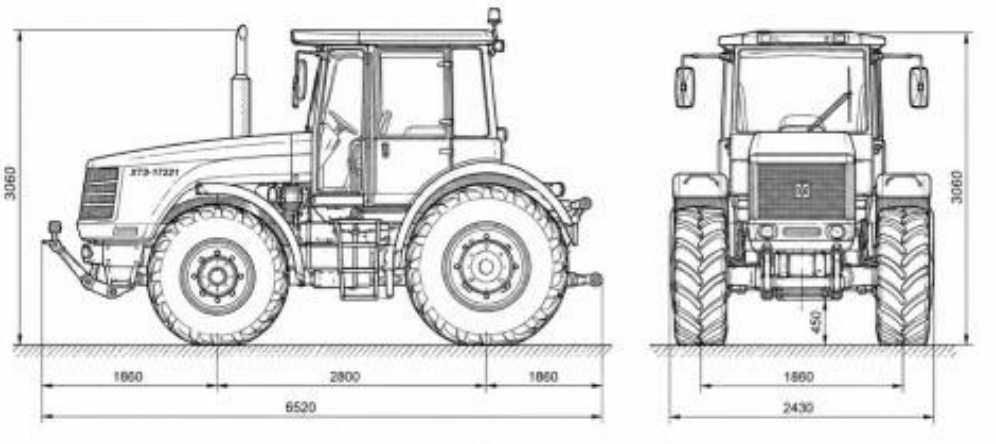
Керівник дипломного проекту професор, д.т.н., *Степанов О.В.*

Київ 2026



					01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив.		Стрикун			АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАВДАННЯ	Літ. / Арк. 1 / Аркушів 9
Перевірив.		Степанов				
Н.контр.		Калнін				НУБіП України
Затв.						

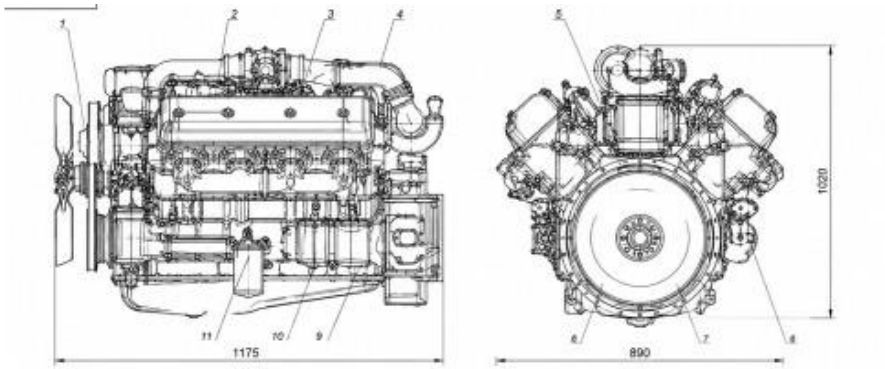
Загальний вигляд трактора ХТЗ-17221



Технічна характеристика

Тип трактора	колісний, повнопривідний
Колісна формула	4x4
Експлуатаційна маса, кг	8500
Номінальна потужність двигуна, кВт	132
Максимальна транспортна швидкість, км/год	40
Дорожній просвіт, мм	450

Загальний вигляд дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3



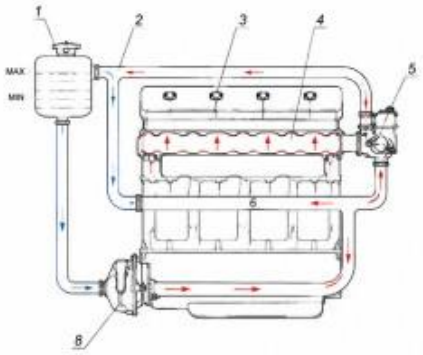
Умовні позначення

1 вентилятор;
2 турбокомпресор;
3 кришка головки циліндрів;
4 повітряний ресивер;
5 паливний насос високого тиску;
6 маховик;
7 картер маховика;
8 стартер;
9 масляний фільтр;
10 масляний картер;
11 генератор.

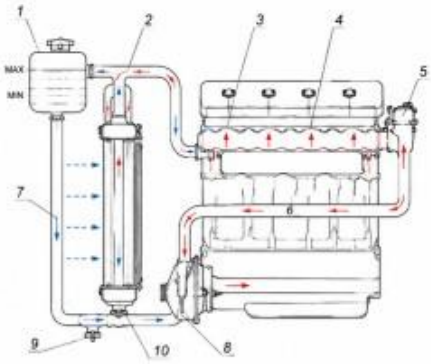
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Стрикун			ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	Літ.	Арк. 2 / Акрушів 9
Перевірив.		Степанов					
Н.контр.		Калнін				НУБіП України	
Затв.							

Схема циркуляції ОР у малому та великому колах охолодження

А) мале коло (термостат закритий)



Б) велике коло (термостат відкритий)

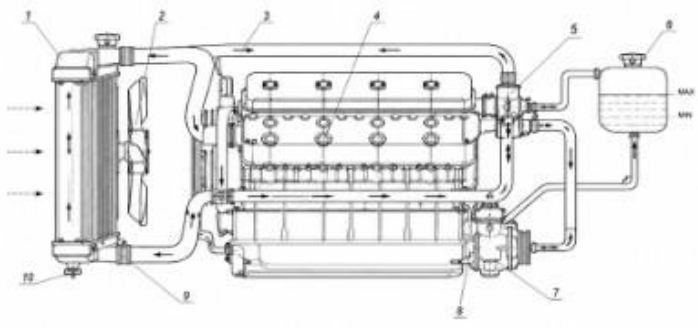


Умовні позначення:

- – потік гарячої охолоджувальної рідини (червона стрілка)
- – потік охолодженої охолоджувальної рідини (синя стрілка)
- – потік повітря через радіатор (пунктирна синя стрілка)

1 розширювальний бачок
2 верхній патрубок радіатора
3 сорочка охолодження головок блока
4 сорочка охолодження блока циліндрів
5 термостат
6 перепускний (байпасний) патрубок
7 радіатор
8 водяний насос
9 зливний кран радіатора
10 нижній патрубок радіатора

Схема штатної системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3

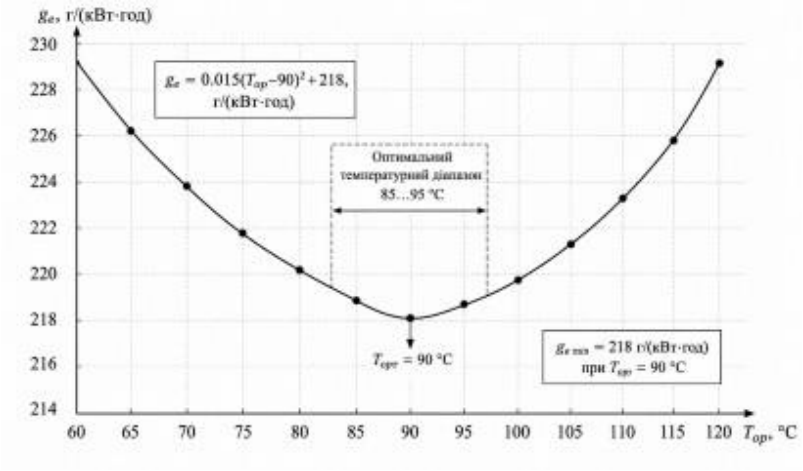


Умовні позначення:

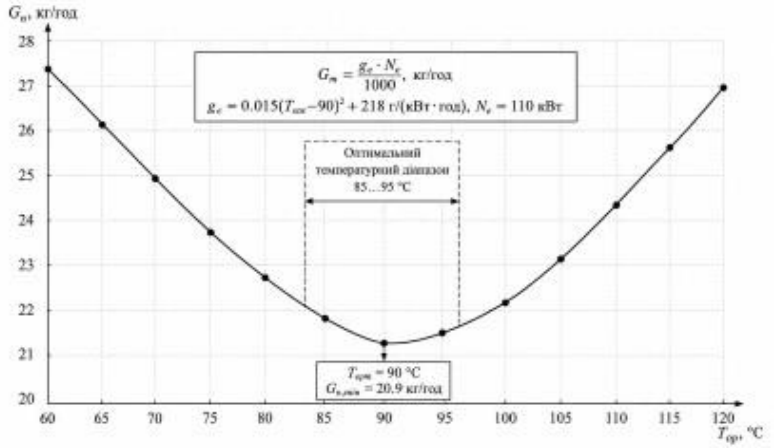
1 радіатор
2 вентилятор
3 верхній патрубок радіатора
4 сорочка охолодження блока циліндрів і головок блока
5 термостат
6 розширювальний бачок
7 водяний насос
8 перепускний (байпасний) патрубок
9 нижній патрубок радіатора
10 зливний кран радіатора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Стрикун			АНАЛІЗ ШТАТНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ	Літ	Арк. 3 / Акрушів 9
Перевірив.		Степанов					
Н.контр.		Калінін				НУБіП України	
Затв.							

Розрахунковазалежність питомої витрати пального від температури охолоджувальної рідини



Розрахунковазалежність годинної витрати пального від температури охолоджувальної рідини



оптимальний температурний діапазон:

$$g_e = aT_{ор}^2 + bT_{ор} + c \qquad (1)$$

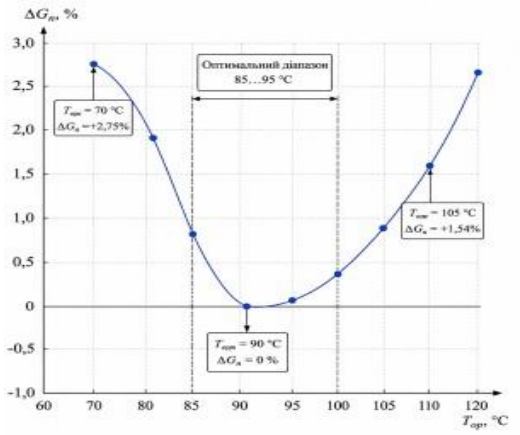
де g питома ефективна витрата пального, г/(кВтгод);
$T_{ор}$ температура охолоджувальної рідини, °С;
a, b, c коефіцієнти апроксимації.

Для двигуна ЯМЗ-236Д-3 приймаємо розрахункову модель:

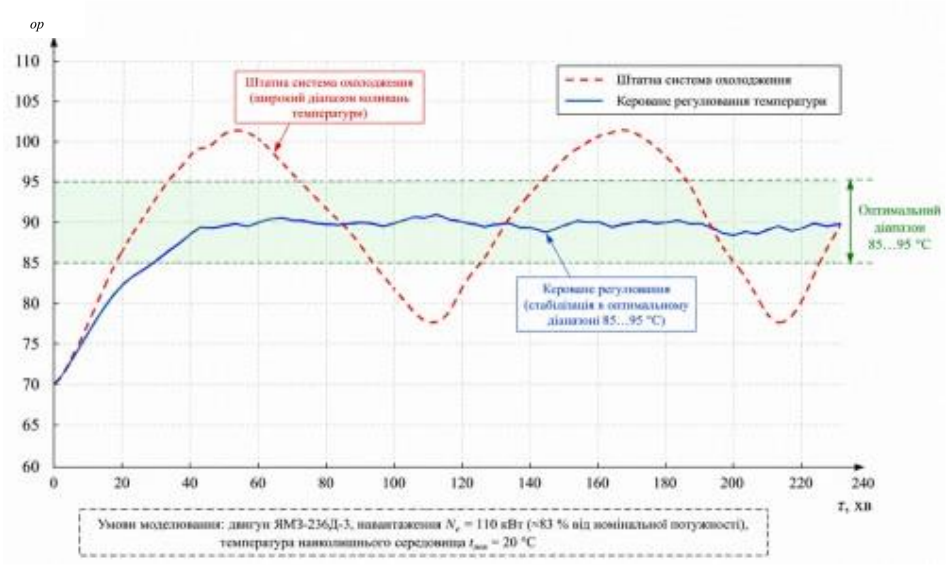
$$g_e = 0.015(T_{ор} - 90)^2 + 218 \qquad (2)$$

					01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив.		Стрикун			МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	Літ. / Арк. 4 / Акрушів 9
Перевірив.		Степанов				
Н.контр.		Калнін				НУБіП України
Затв.						

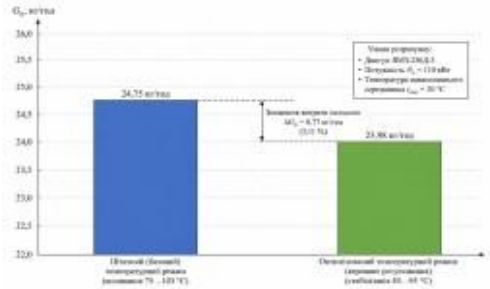
Залежність відносної зміни годинної витрати пального від температури охолоджувальної рідини



Порівняння базового та оптимізованого температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3

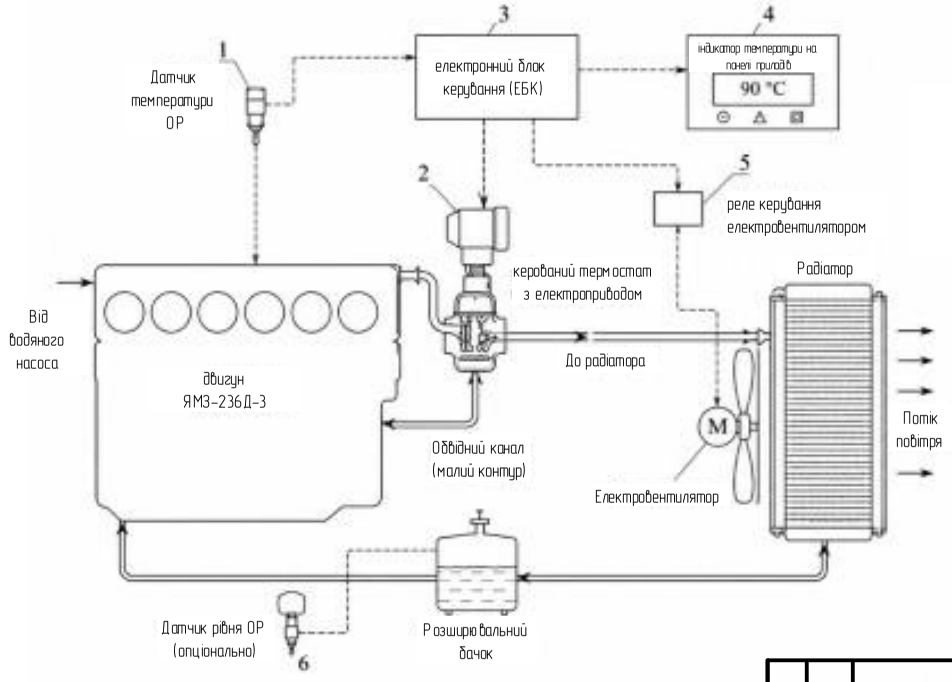


Порівняння витрати пального при штатному та оптимізованому температурному режимі двигуна



					01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
Розробив.		Стрикин			РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ	Літ. / Арк. 5 / Акушів 9
Перевірив.		Степанов				
Н.контр.		Калінін				НУБіП України
Затв.						

Функціональна схема керованої системи регулювання температурного режиму двигуна ЯМЗ-236Д-3

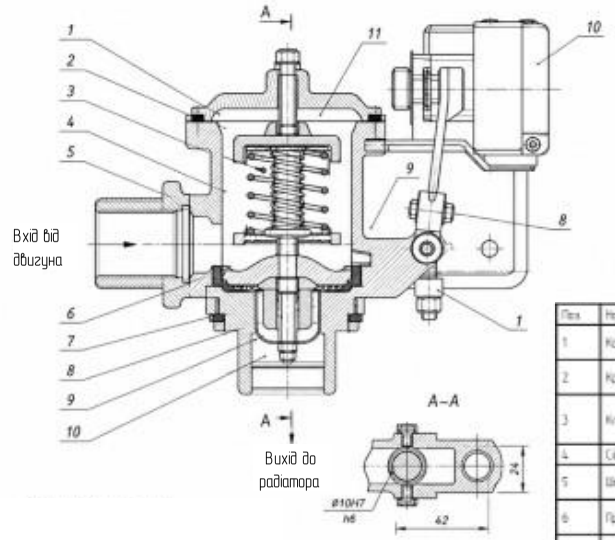


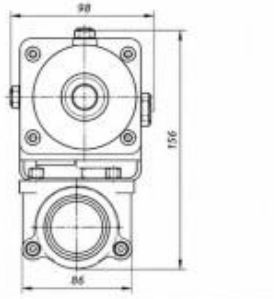
Поз.	Найменування
1	датчик температури ОР
2	керований термостат з електроприводом
3	електронний блок керування
4	індикатор температури
5	реле керування електровентилятором
6	датчик рівня ОР

Умовні позначення:
- Потік охолоджувальної рідини
- Електричні сигнали
- Потік повітря

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Стрикун			ЗАПРОПОНОВАНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ	Літ.	Арк. 6 / Акрушів 9
Перевірив.		Степанов				НУБіП України	
Н.контр.		Калнін					
Затв.							

Керований термостат двигуна ЯМЗ-236Д-3



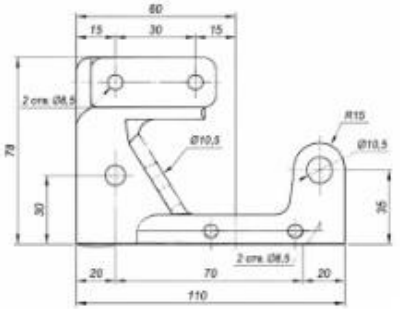


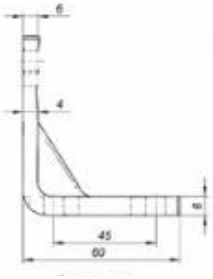
Поз.	Найменування	Матеріал	К-ть	Примітка
1	Корпус термостата	АК12	1	
2	Кришка корпуса	АК12	1	
3	Клапан регулювальний	Л63	1	
4	Сідло клапана	АК12	1	
5	Шток (вал коромисел)	Сталь 45	1	
6	Пружина клапана	Сталь 60С2А	1	
7	Направна шпонка	Л63	1	
8	Важіль	Сталь 45	1	
9	Тяга	Сталь 45	1	
10	Сервопривід	—	1	12 В
11	Кронштейн кріплення сервоприводу	Сталь 45	1	
12	Ущільнювальне кільце	МБР	2	
13	Прокладка	Пароніт	1	
14	Гвинт М8×20	Сталь 35	4	
15	Шайба пружинна 8	Сталь 65Г	4	
16	Гайка М8	Сталь 35	4	

Технічна характеристика:

1. Робоче середовище — охолоджувальна рідина (вода або тосол).
2. Робочий температурний діапазон — 85…95 °С.
3. Хід клапана, мм — 0…8.
4. Напруга живлення сервоприводу — 12 В.
5. Крутний момент сервоприводу — 8 Нм.

Кронштейн кріплення сервоприводу



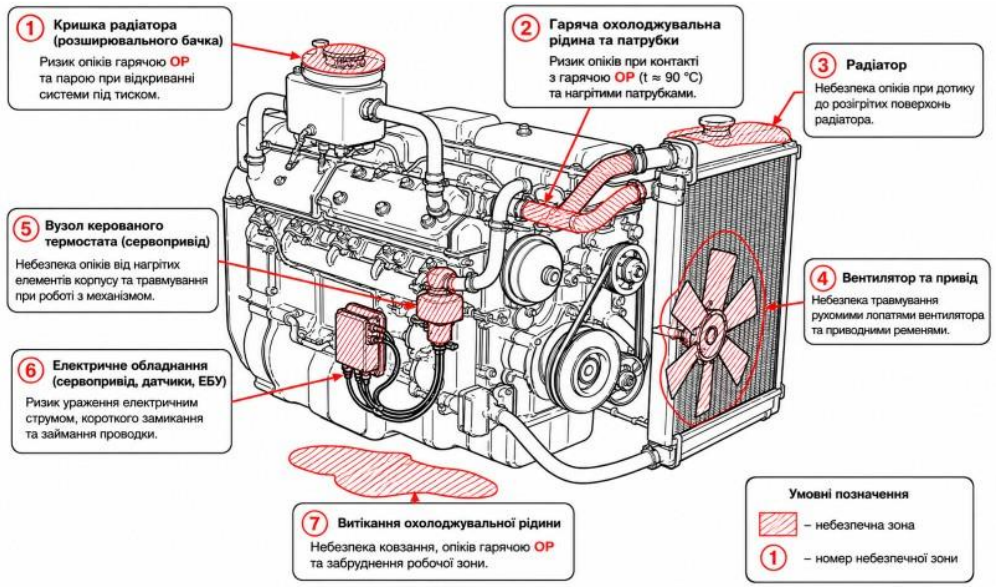


Технічні вимоги:

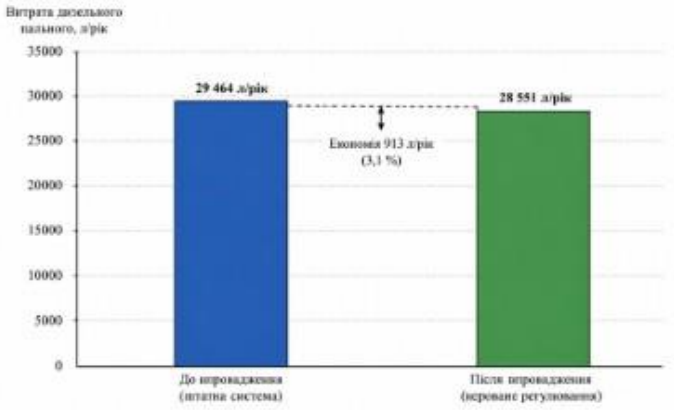
1. Не вказані литі радіуси 2…3 мм.
2. Не вказані фаски 1 Ч 45°.
3. Допуск на розміри без допусків — за Т14, відхилення форми та розташування — за К14.
4. Покриття: цинкування, товщина 8…12 мкм.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.08 ДП 510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ		
Розробив.		Стрикин			УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ	Літ.	Арк. 7 / Акрушів 9
Перевірив.		Степанов				НУБіП України	
Н.контр.		Калінін					
Затв.							

Основні небезпечні зони при обслуговуванні системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3



Порівняння витрат дизельного палива до та після впровадження керованого регулювання температури ОР



					01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив.		Строкин			ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	Літ. / Арк. 8 / Аркушів 9
Перевірив.		Степанов				
Н.контр.		Калінін				НУБіП України
Затв.						

У бакалаврському дипломному проєкті вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо покращення роботи дизельного двигуна трактора ХТЗ-17221 шляхом зміни температурного режиму роботи двигуна ЯМЗ-236Д-3 за рахунок застосування керованого регулювання температури охолоджувальної рідини.

Проаналізовано особливості функціонування системи охолодження двигуна ЯМЗ-236Д-3 та встановлено, що штатна система регулювання температурного режиму не забезпечує стабільного підтримання температури охолоджувальної рідини в умовах змінного навантаження трактора. Виявлено, що відхилення температури від оптимального значення призводить до погіршення паливної економічності двигуна та зростання експлуатаційних витрат.

На підставі аналізу впливу температурного режиму на роботу дизельного двигуна визначено оптимальний діапазон температур охолоджувальної рідини 85 95 °C, при якому забезпечується найкраща паливна економічність. Установлено, що найбільш доцільним значенням температури є 90 °C, за якого досягається мінімальна питома витрата пального.

Виконано моделювання залежності питомої та годинної витрати пального від температури охолоджувальної рідини. Результати розрахунків показали, що стабілізація температурного режиму двигуна поблизу оптимального значення дозволяє знизити витрату дизельного пального приблизно на 3,1 % порівняно зі штатною системою охолодження .

Розроблено вузол керованого регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна ЯМЗ-236Д-3, який включає керований термостат із сервоприводом, електронний блок керування, датчик температури та елементи монтажу. Виконано конструктивне опрацювання системи, розроблено функціональну схему, складальне креслення вузла, робоче креслення кронштейна кріплення сервоприводу та монтажну схему встановлення вузла на двигун.

Визначено основні параметри запропонованої системи, зокрема діапазон регулювання температури, хід клапана термостата та необхідний крутний момент сервоприводу . Встановлено, що для забезпечення надійної роботи системи доцільним є застосування сервоприводу з номінальним крутним моментом не менше 8 Нм.

Виконане техніко-економічне оцінювання показало, що впровадження запропонованого технічного рішення забезпечує річну економію дизельного пального близько 913 л, що відповідає економічному ефекту приблизно 54,8 тис. грн/рік. Розрахований строк окупності модернізації становить близько 0,16 року, що свідчить про високу економічну доцільність впровадження.

Визначено основні небезпечні фактори, пов'язані з експлуатацією та технічним обслуговуванням системи охолодження двигуна, а також запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час обслуговування трактора ХТЗ-17221.

					01.08 ДП.510 «С» 2026.02.16.72 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив.		Стрикун			ВИСНОВКИ	Літ. / Арк. 9 / Акушів 9
Перевірив.		Степанов				
Н.контр.		Калінін				НУБіП України
Затв.						