

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Модернізація системи живлення дизеля для роботи на біопаливі»

Виконав: студент 3 курсу, групи 32к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Корчевний Ярослав Олегович
(прізвище та ініціали)
Керівник доцент Пушка О.С.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 Факультет інженерних технологій та професійної освіти
 Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ «Бакалавр»
 Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
 «__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

_____ Корчевному Ярославу Олеговичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Модернізація системи живлення дизеля для роботи на біопаливі»

керівник проекту Пушка Олександр Сергійович, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 01 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/129

2. Строк подання студентом проекту _____ 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: загальна характеристика використання біопалива в дизельних двигунах; особливості властивостей дизельного палива та біопалива; аналіз традиційної системи живлення дизельного двигуна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз стану досліджуваного питання; експериментальні дослідження; питання охорони праці; техніко-економічне обґрунтування проекту.

5. Ілюстративний матеріал: підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: мета і завдання дослідження; система живлення двигуна Д-65Н для роботи на біопаливі; напрями удосконалення системи живлення дизельних двигунів на біопаливі; конструкція системи підігріву біопалива; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025	
2.	Розділ 1. Аналіз стану питання	19.11.2025	
3.	Розділ 2. Технологічна частина	18.12.2025	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026	
5.	Розділ 4. Техніко-економічна оцінка проекту	09.03.2026	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026	

Студент

(підпис)Корчевний Я.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)Пушка О.С.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	6
1.1 Загальна характеристика використання біопалива в дизельних двигунах	6
1.2 Особливості властивостей дизельного палива та біопалива	8
1.3 Аналіз традиційної системи живлення дизельного двигуна	9
1.4 Необхідність модернізації системи живлення дизеля для роботи на біопаливі.....	11
1.5 Обґрунтування конструктивних рішень модернізованої системи	13
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	16
2.1 Об'єкт модернізації.....	16
2.2 Аналіз палив біологічного походження.....	19
2.3 Аналіз систем живлення дизеля Д-65Н при роботі на біопаливі	21
2.4 Аналіз способів підігріву біопалива.....	24
2.5 Розробка системи живлення двигуна Д-65Н для роботи на біопаливі.....	27
2.6 Тепловий розрахунок двигуна при роботі на біопаливі.....	29
2.7 Розрахунок і побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна	33
2.8 Розробка конструкції системи підігріву біопалива	35
2.9 Розрахунок основних параметрів теплообмінника.....	37
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
3.1 Загальні вимоги безпеки під час модернізації системи живлення дизеля	40
3.2 Небезпечні та шкідливі фактори під час виконання робіт.....	40
3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи	41
3.4 Вимоги безпеки під час демонтажу та модернізації системи живлення	42
3.5 Пожежна безпека під час роботи з біопаливом.....	43
3.6 Вимоги безпеки під час випробування модернізованої системи	43
3.7 Засоби індивідуального захисту та санітарно-гігієнічні вимоги.....	44
3.8 Екологічна безпека та поводження з відходами	44
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ	46
4.1 Мета техніко-економічного обґрунтування	46
4.2 Вихідні дані для розрахунку	46

4.3 Розрахунок годинної витрати палива.....	47
4.4 Розрахунок річної потреби в паливі	48
4.5 Розрахунок річних витрат на паливо.....	49
4.6 Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію	49
4.7 Розрахунок додаткових експлуатаційних витрат.....	50
4.8 Розрахунок строку окупності модернізації	51
4.9 Розрахунок накопиченого економічного ефекту	51
4.10 Порівняльна оцінка роботи двигуна на дизельному паливі та біопаливі ...	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
ЛІТЕРАТУРА.....	57

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Загальна характеристика використання біопалива в дизельних двигунах

Дизельні двигуни широко застосовуються в автомобільній, тракторній, сільськогосподарській, будівельній та енергетичній техніці завдяки високому коефіцієнту корисної дії, надійності, економічності та здатності працювати в умовах значних навантажень. Однак залежність від нафтового палива, зростання вимог до екологічної безпеки та необхідність зменшення шкідливих викидів зумовлюють пошук альтернативних видів моторного палива. Одним із перспективних напрямів є використання біопалива, зокрема біодизеля або сумішевих палив типу B5, B20, B50, B100.

Біодизельне паливо зазвичай отримують із рослинних олій або тваринних жирів шляхом хімічної переробки з утворенням метилових або етилових естерів жирних кислот. В Україні вимоги до метилових естерів жирних кислот для дизельних двигунів визначаються ДСТУ 6081:2009, який поширюється на ефіри метилові жирних кислот олій і жирів, що можуть використовуватися як паливо для адаптованих дизельних двигунів або як добавка до нафтового дизельного палива [1]. Для звичайного дизельного палива в Україні застосовується ДСТУ 7688:2015, який установлює вимоги до дизельного палива Євро та поділяє його за кліматичними умовами використання на літнє, зимове й арктичне [2]. Європейським аналогом для біодизеля є стандарт EN 14214, а в міжнародній практиці також використовується ASTM D6751 для біодизельного компонента B100 [3; 4].

Використання біопалива в дизельних двигунах має низку переваг. До них належать відновлюваність сировинної бази, нижчий вміст сірки, краща змащувальна здатність, зменшення димності відпрацьованих газів, а також потенційне скорочення викидів оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів і твердих частинок. Разом з тим біопаливо має властивості, які суттєво відрізняються від традиційного дизельного палива. Зокрема, воно характеризується вищою в'язкістю та густиною, нижчою теплотою згорання, підвищеною гігроскопічністю, схильністю до окиснення, погіршеними низькотемпературними властивостями та можливим впливом на гумотехнічні ущільнення паливної апаратури [5; 6; 7].

Саме ці особливості визначають необхідність модернізації системи живлення дизеля. Якщо двигун працює на невеликих сумішах біодизеля з нафтовим дизельним паливом, наприклад В5 або В7, конструктивні зміни можуть бути мінімальними. Проте при використанні палива з підвищеним вмістом біокомпонента, особливо В20–В100, виникає потреба в удосконаленні фільтрації, підігріві палива, контролі вологи, доборі стійких ущільнювальних матеріалів і коригуванні параметрів паливоподачі.

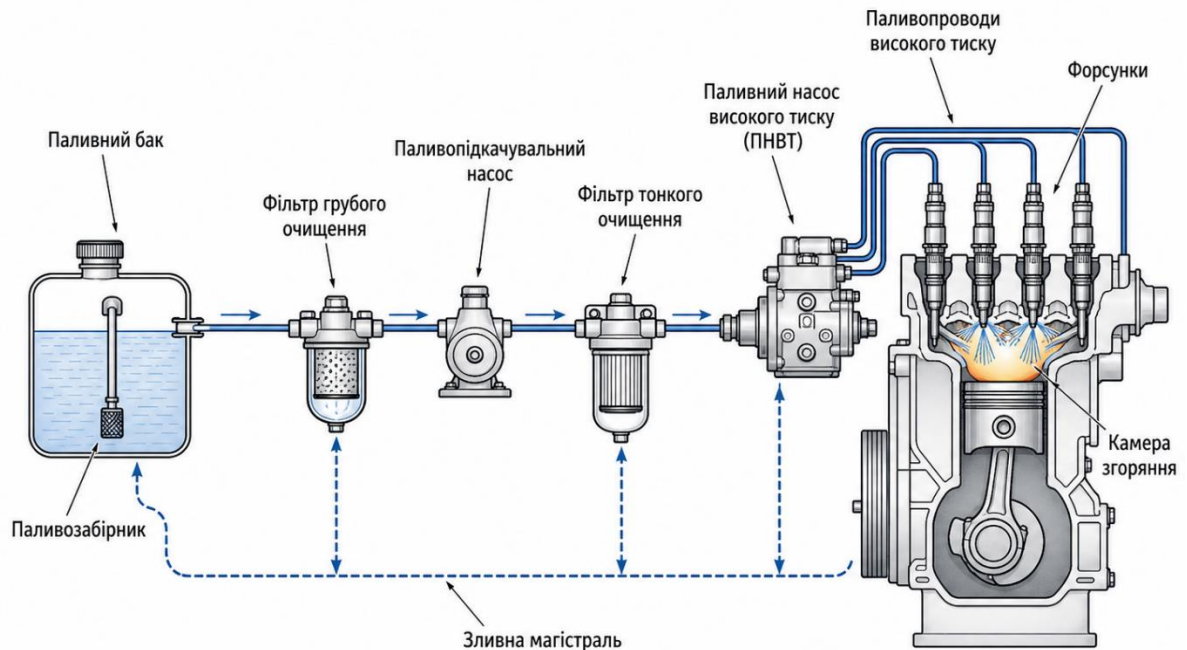


Рисунок 1.1 – Схема традиційної системи живлення дизеля

Традиційна система живлення дизельного двигуна включає паливний бак, паливозабірник, фільтри грубого й тонкого очищення, паливopідкачувальний насос, паливний насос високого тиску, паливопроводи високого тиску, форсунки та зливну магістраль. Її основне завдання полягає у зберіганні, очищенні, подачі, дозуванні та розпиленні дизельного палива в камері згоряння. Така система розрахована переважно на паливо з нормативними показниками в'язкості, густини, фракційного складу, температури застигання та стабільності [2; 8].

Під час переходу на біопаливо традиційна система живлення не завжди забезпечує стабільну роботу двигуна без додаткових технічних рішень. Підвищена в'язкість біопалива ускладнює його прокачування через паливні магістралі та фільтри, може погіршувати розпилення форсунками, збільшувати навантаження на паливний насос і змінювати процес сумішоутворення. Крім того, біопаливо здатне

розчиняти відкладення в паливному баку та трубопроводах, через що на початковому етапі експлуатації можливе швидке забруднення фільтрів [6; 9].

1.2 Особливості властивостей дизельного палива та біопалива

Для обґрунтування модернізації системи живлення дизеля необхідно порівняти основні фізико-хімічні властивості традиційного дизельного палива та біопалива. Найбільше значення для роботи паливної апаратури мають в'язкість, густина, теплота згоряння, цетанове число, температура помутніння та застигання, вміст води, стабільність під час зберігання, змащувальна здатність і сумісність з матеріалами ущільнень.

 Дизельне паливо		 Біодизель / біопаливо
— нижча	 В'язкість	↑ вища
— нижча	 Густина	↑ вища
— нижче	 Цетанове число	↑ вище
↓ нижча	 Теплота згоряння	↓ нижча (на 8–12%)
↓ нижча (краща низькотемпературна здатність)	 Температура застигання	↑ вища (гірша низькотемпературна здатність)
— нижча	 Змащувальна здатність	↑ вища
↑ вищий	 Вміст сірки	↓ нижчий (практично відсутній)
↑ вища	 Токсичність викидів	↓ нижча (менше CO, HC, PM, SOx)
↓ нижча (погана біорозкладність)	 Біорозкладність	↑ вища (добра біорозкладність)

Рисунок 1.2 – Порівняльна характеристика дизельного палива та біопалива

Біодизель зазвичай має вищу густину й в'язкість порівняно з нафтовим дизельним паливом. Це впливає на гідравлічний опір у паливопроводах, швидкість проходження через фільтрувальні елементи та якість розпилення в камері згоряння. За недостатнього прогрівання або використання палива в холодних умовах в'язкість біопалива зростає ще більше, що може спричинити утруднений запуск двигуна, зниження рівномірності роботи та підвищення навантаження на паливопідкачувальний насос [7; 10].

Водночас біопаливо має кращу змащувальну здатність, що позитивно впливає на роботу плунжерних пар паливного насоса високого тиску та інших тертьових

поверхонь паливної апаратури. Низький вміст сірки зменшує екологічне навантаження, але при цьому для сучасних дизельних палив важливим залишається забезпечення достатньої змащувальної здатності. Біодизель у цьому аспекті може виконувати роль природної змащувальної добавки [3; 4; 11].

Окрему увагу необхідно приділяти нижчій теплоті згоряння біопалива. Через меншу енергетичну цінність одиниці маси або об'єму біопалива двигун може споживати дещо більшу кількість палива для отримання тієї самої ефективної потужності. У практичних умовах це може вимагати коригування циклової подачі, кута випередження впорскування або режимів роботи паливної апаратури. Для двигунів із механічною паливною системою такі зміни можуть виконуватися шляхом регулювання паливного насоса, а для сучасних систем Common Rail — за рахунок зміни алгоритмів електронного керування [8; 12].

До проблемних властивостей біопалива належить його здатність поглинати вологу. Наявність води в паливі прискорює корозійні процеси, сприяє розвитку мікроорганізмів у паливному баку, погіршує стабільність палива й може призводити до пошкодження високоточної паливної апаратури. Тому система живлення дизеля, що працює на біопаливі, повинна обов'язково містити ефективний відокремлювач води або фільтр-сепаратор [5; 9; 13].

Ще однією особливістю є окиснювальна нестабільність біопалива. Під час тривалого зберігання воно може утворювати смолисті речовини, осади й продукти полімеризації, які засмічують фільтри та форсунки. Тому для машин, що працюють сезонно, наприклад сільськогосподарських тракторів і комбайнів, важливим є дотримання правил зберігання, регулярний контроль якості палива та періодична заміна фільтрів [6; 14].

1.3 Аналіз традиційної системи живлення дизельного двигуна

Система живлення дизельного двигуна виконує комплекс функцій: приймання палива з бака, попереднє очищення, подачу до паливного насоса високого тиску, точне дозування, створення необхідного тиску впорскування, подачу палива до форсунок, розпилення в камері згоряння та відведення надлишків палива через зливну магістраль. Якість роботи цієї системи безпосередньо впливає на потужність

двигуна, витрату палива, токсичність відпрацьованих газів, легкість запуску та довговічність паливної апаратури [8; 15].

Паливний бак призначений для зберігання запасу палива й повинен забезпечувати захист від потрапляння пилу, води та сторонніх домішок. У традиційних системах живлення бак не завжди має достатній рівень захисту від конденсації вологи, що при використанні біопалива стає особливо важливим. Через гігроскопічність біодизеля навіть невелика кількість води може спричинити погіршення його якості та прискорити корозійне пошкодження металевих елементів системи [5; 13].

Фільтр грубого очищення затримує великі механічні домішки, які можуть потрапити з бака або утворитися внаслідок розчинення відкладень біопаливом. Фільтр тонкого очищення забезпечує остаточне очищення палива перед надходженням до паливного насоса високого тиску. Для роботи на біопаливі ефективність фільтрації набуває особливого значення, оскільки продукти окиснення та полімеризації біопалива можуть мати дрібнодисперсний характер і швидко забруднювати фільтрувальні елементи [9; 14].

Паливопідкачувальний насос створює необхідний тиск у лінії низького тиску та забезпечує стабільну подачу палива до ПНВТ. При збільшенні в'язкості палива навантаження на цей насос зростає. Якщо насос має недостатню продуктивність або зношені клапани, можливі перебої в подачі палива, утворення повітряних пробок і нестабільна робота двигуна на перехідних режимах.

Паливний насос високого тиску є одним із найбільш відповідальних елементів системи. Він забезпечує точне дозування палива та створення тиску, необхідного для якісного розпилення. При роботі на біопаливі умови функціонування ПНВТ змінюються через іншу в'язкість, густину та змащувальні властивості палива. З одного боку, підвищена змащувальна здатність біопалива може зменшувати спрацювання плунжерних пар. З іншого боку, наявність води, продуктів окиснення або забруднень здатна прискорювати корозію і механічне пошкодження високоточних деталей [11; 15].

Форсунки відповідають за розпилення палива в камері згоряння. Від якості розпилення залежать швидкість утворення паливоповітряної суміші, повнота

згоряння, димність, температура відпрацьованих газів і питома витрата палива. Через більшу в'язкість біопалива факел розпилення може змінюватися: краплі стають більшими, проникність струменя збільшується, а випаровування сповільнюється. Це може погіршувати процес згоряння, особливо при низьких температурах і малих навантаженнях [10; 12].

1.4 Необхідність модернізації системи живлення дизеля для роботи на біопаливі

Модернізація системи живлення дизеля для роботи на біопаливі повинна бути спрямована не на повну заміну всієї паливної апаратури, а на адаптацію її основних вузлів до нових властивостей палива. Найдоцільніше виконувати модернізацію комплексно, враховуючи якість палива, кліматичні умови, тип двигуна, конструкцію паливної системи, режим експлуатації машини та частку біокомпонента в паливній суміші.

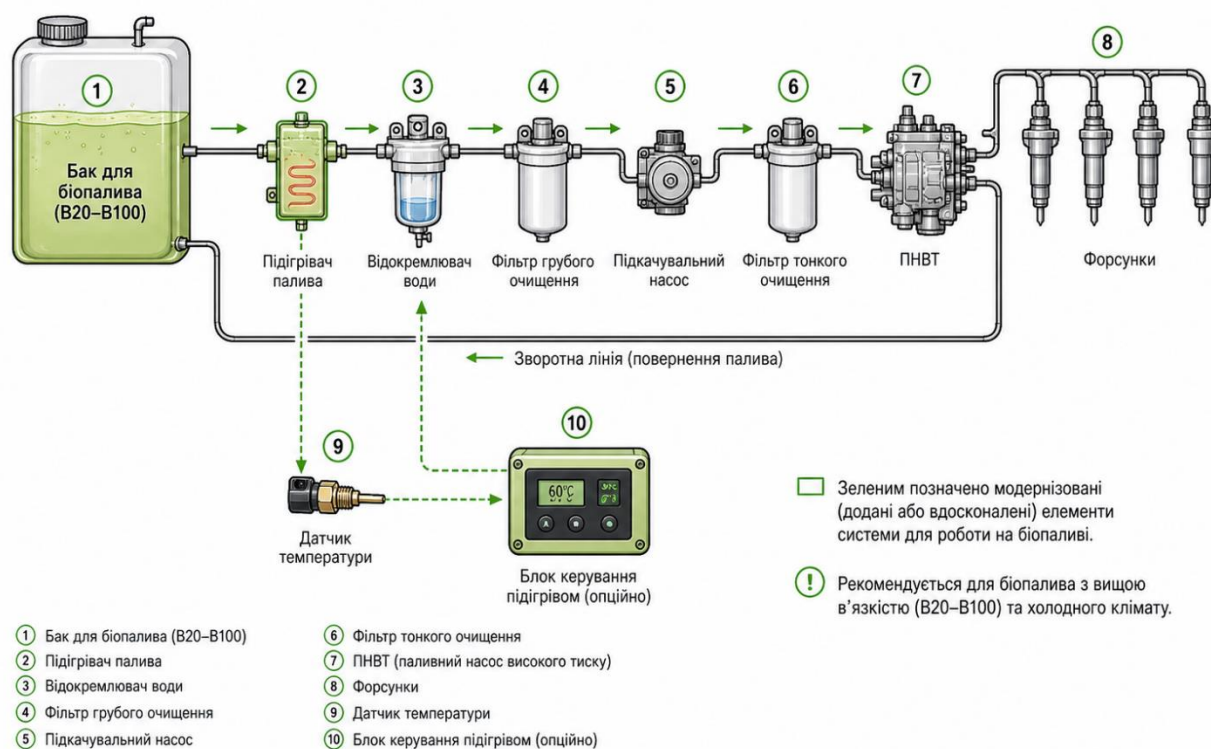


Рисунок 1.3 – Модернізована система живлення дизеля для роботи на біопаливі

До основних напрямів модернізації належать: установлення підігрівача палива, використання фільтра-сепаратора для відокремлення води, застосування фільтрів із підвищеною грязеємністю, заміна ущільнювальних елементів на

матеріали, стійкі до біопалива, контроль температури палива, а також коригування параметрів паливоподачі.

Підігрів палива є одним із найважливіших заходів при використанні біопалива в холодних кліматичних умовах. Його завдання полягає у зменшенні в'язкості палива перед подачею до фільтрів і паливного насоса. Підігрів може здійснюватися за допомогою електричного нагрівального елемента, теплообмінника від системи охолодження двигуна або комбінованої системи. Найбільш ефективним є розміщення підігрівача перед фільтром тонкого очищення або перед фільтром-сепаратором, оскільки саме ці елементи найбільш чутливі до підвищення гідравлічного опору [10; 16].

Фільтрація палива повинна забезпечувати не тільки затримання механічних домішок, а й захист паливної апаратури від води та продуктів окиснення. Для цього доцільно застосовувати багатоступеневе очищення: фільтр грубого очищення, фільтр-сепаратор води та фільтр тонкого очищення. Така схема підвищує надійність роботи паливного насоса й форсунок, особливо під час використання біопалива тривалого зберігання або палива з недостатнім лабораторним контролем [9; 13].

Заміна матеріалів ущільнень є необхідною через можливу хімічну взаємодію біопалива з гумотехнічними виробами. Деякі традиційні гумові ущільнення можуть набухати, втрачати еластичність або розтріскуватися під дією біодизеля. Тому в модернізованій системі доцільно застосовувати ущільнення з фторкаучуку, фторсилікону або інших матеріалів, стійких до естерів жирних кислот [6; 17].

Коригування подачі палива потрібне через нижчу теплоту згоряння біопалива. Якщо двигун працює на паливі B20, зміни можуть бути незначними. При використанні B50 або B100 різниця в енергетичних властивостях стає більш відчутною. Тому для збереження потужності може знадобитися збільшення циклової подачі або оптимізація кута випередження впорскування. Однак таке регулювання повинно виконуватися з урахуванням температурного режиму двигуна, димності, токсичності відпрацьованих газів і допустимих навантажень на паливну апаратуру [12; 15].

Контроль якості палива повинен включати перевірку наявності води, механічних домішок, кислотності, окиснювальної стабільності та відповідності

нормативним вимогам. Для біопалива це особливо важливо, оскільки навіть якісно модернізована система живлення не забезпечить надійну роботу двигуна при використанні нестабільного або забрудненого палива. У стандартах ASTM D6751 і EN 14214 регламентуються ключові показники якості біодизельного палива, зокрема параметри, пов'язані з чистотою, стабільністю та придатністю до використання в дизельних двигунах [3; 4].



Рисунок 1.4 – Основні напрями модернізації системи живлення дизеля при роботі на біопаливі

1.5 Обґрунтування конструктивних рішень модернізованої системи

Модернізована система живлення дизеля для роботи на біопаливі повинна відповідати таким вимогам: забезпечувати стабільну подачу палива в усіх режимах роботи двигуна; зменшувати вплив підвищеної в'язкості; запобігати потраплянню води та механічних домішок до ПНВТ і форсунок; бути сумісною з біопаливом за матеріалами ущільнень; зберігати ремонтпридатність і не ускладнювати технічне обслуговування.

Доцільною є схема, у якій після паливного бака встановлюється підігрівач палива, далі — фільтр-сепаратор води, фільтр грубого очищення, паливopідкачувальний насос, фільтр тонкого очищення, ПНВТ і форсунки.

Додатково може застосовуватися датчик температури палива з блоком керування підігрівом. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес підтримання необхідної температури та уникнути надмірного нагрівання палива.

Паливний бак для біопалива повинен бути чистим, герметичним і захищеним від накопичення конденсату. Бажано передбачити зливний отвір для періодичного видалення води й осаду. Внутрішні поверхні бака мають бути стійкими до корозії, оскільки біопаливо та вода можуть пришвидшувати корозійні процеси.

Підігрівач палива доцільно розміщувати в зоні низького тиску. Це спрощує конструкцію, підвищує безпеку та полегшує технічне обслуговування. Потужність підігрівача повинна забезпечувати зниження в'язкості палива до рівня, за якого не виникає надмірного опору в фільтрах і паливопроводах. При цьому температура нагрівання не повинна бути надмірною, щоб не викликати прискореного старіння біопалива.

Фільтр-сепаратор води є обов'язковим елементом модернізованої системи. Його доцільно обладнати прозорою відстійною колбою або датчиком наявності води. Це дозволяє своєчасно видаляти воду та запобігати її потраплянню до паливного насоса високого тиску.

Фільтрувальні елементи слід добирати з урахуванням підвищеної ймовірності утворення осадів у біопаливі. У початковий період після переходу на біопаливо рекомендується частіше перевіряти стан фільтрів, оскільки біопаливо може вимивати старі відкладення з бака та трубопроводів.

Ущільнення паливної системи повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до дії біопалива. Особливо це стосується ущільнень паливного насоса, фільтрів, штуцерів, з'єднань паливопроводів і форсунок. Несправність ущільнень може призвести до підтікання палива, підсмоктування повітря, порушення герметичності системи та пожежної небезпеки.

Таким чином, модернізація системи живлення дизеля для роботи на біопаливі є технічно обґрунтованою. Вона дозволяє підвищити надійність паливної апаратури, забезпечити стабільну роботу двигуна, зменшити вплив підвищеної в'язкості біопалива, покращити фільтрацію та знизити ризик пошкодження деталей через воду, забруднення або несумісність матеріалів.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Об'єкт модернізації

Об'єктом модернізації в роботі прийнято трактор ЮМЗ-6АК, оснащений дизельним двигуном Д-65Н та механічною п'ятиступінчастою коробкою передач. Даний трактор належить до універсально-просапних машин і використовується для виконання широкого комплексу сільськогосподарських операцій, пов'язаних з обробітком ґрунту, посівом, міжрядним доглядом, транспортуванням вантажів, агрегуванням із навісними та причіпними машинами. Завдяки наявності валу відбору потужності трактор може приводити в дію активні робочі органи мобільних і стаціонарних машин.

Трактор ЮМЗ-6АК належить до тягового класу 1,4. Його номінальне тягове зусилля на гаку на першій передачі становить близько 14 кН, а колісна формула — 4К2. Конструкція трактора дозволяє застосовувати його не лише в аграрному виробництві, а й у комунальному, дорожньо-будівельному та допоміжному виробництві. Суцільний корпус трансмісії забезпечує достатню жорсткість і міцність при роботі з навісним обладнанням, зокрема з екскаваторними, навантажувальними та іншими спеціальними агрегатами.

Дизельний двигун трактора є чотирициліндровим, чотиритактним, з рідинною системою охолодження та безпосереднім упорскуванням палива. Двигун не має турбонаддуву, що спрощує його конструкцію, підвищує ремонтпридатність і робить його зручним для переобладнання на альтернативні види палива. Механічна трансмісія трактора включає ступінчасту коробку передач, понижувальний редуктор і напіврамний остов із підвіскою передніх коліс.

Вал відбору потужності має два режими роботи: 550 та 1000 хв⁻¹. Це дає змогу використовувати трактор із різними типами сільськогосподарських машин, які потребують механічного приводу. Кабіна трактора виконана у вигляді безпечної рамної конструкції, має достатню герметичність, систему вентиляції та опалення. Це знижує рівень шуму, запиленості та підвищує комфорт роботи оператора.

Гідравлічна система трактора — роздільно-агрегатна. Вона може комплектуватися автозчіпкою СА-1, а також пристроєм для буксирування причепів. Для різних умов експлуатації трактор може оснащуватися різними типорозмірами

шин: для дорожньо-будівельних робіт використовують шини 18,4–30, а для роботи у вузьких міжряддях — колеса розміром 9,5–42.



Рисунок 2.1 – Трактор універсально-просапний ЮМЗ-6АК

Основні технічні показники трактора ЮМЗ-6АК подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика трактора ЮМЗ-6АК

Показник	Значення
Тип двигуна	Дизельний Д-65
Транспортна швидкість, км/год	24
Радіус повороту, мм	5000
Потужність двигуна, кВт	45
Частота обертання колінчастого вала, об/хв	1750
Крутний момент, Н·м	270
Питома витрата палива, г/кВт·год	245
Робочий об'єм двигуна, л	4,9
Кількість циліндрів	4
Місткість паливного бака, л	90
Колія передніх коліс, мм	1360–1860
Колія задніх коліс, мм	1400–1800
Колісна база, мм	2450
Кліренс, мм	650
Маса трактора з робочим обладнанням, кг	3350
Допустима маса причепа, кг	6000

Показник	Значення
Ширина, мм	1884
Висота, мм	2660

Безпосереднім об'єктом конверсії є дизельний двигун Д-65Н номінальною потужністю близько 45 кВт. Двигун має безпосереднє впорскування палива та електростартерний пуск. Метою модернізації є пристосування двигуна до роботи як на традиційному дизельному паливі, так і на біологічному паливі. Такий підхід дозволяє зменшити витрати на нафтове дизельне паливо, підвищити паливну незалежність господарства та знизити екологічне навантаження під час експлуатації техніки.

Незважаючи на те, що двигуни Д-65Н уже тривалий час не виробляються серійно, вони й досі активно використовуються у складі тракторів ЮМЗ завдяки простій конструкції, ремонтпридатності та доступності запасних частин. Значна частина деталей двигуна Д-65Н уніфікована з деталями дизеля Д-240, що спрощує технічне обслуговування та ремонт. Зокрема, поршні та циліндри двигунів Д-65 і Д-240 мають однакові основні розміри, що дозволяє використовувати взаємозамінні комплектуючі.

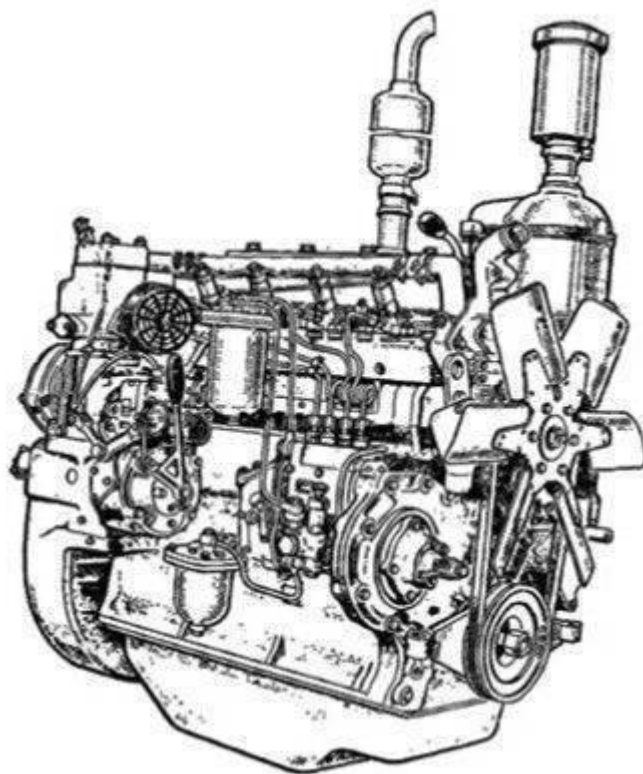


Рисунок 2.2 – Дизельний двигун Д-65Н

Очікується, що переведення двигуна на роботу з біопаливом сприятиме зниженню димності та токсичності відпрацьованих газів. Крім того, використання біологічного палива дає можливість зменшити залежність господарства від коливань цін на нафтові палива та частково використовувати місцеву сировинну базу.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика двигуна Д-65Н

Показник	Значення
Номінальна потужність, кВт	45,6 + 3,7
Номінальна потужність, к.с.	62 + 5
Кількість циліндрів, шт.	4
Порядок роботи циліндрів	1–3–4–2
Розташування циліндрів	Рядне
Робочий об'єм, л	4,94
Діаметр поршня, мм	110
Хід поршня, мм	130
Ступінь стиску	17,3
Частота обертання колінчастого вала, об/хв	1750 ± 25
Питома витрата палива, г/кВт·год	249
Витрата мастила, %	1,2
Паливний насос	4УТН
Маса двигуна, кг	540 ± 3 %

2.2 Аналіз палив біологічного походження

Біопаливом називають паливо, отримане з органічної сировини рослинного або тваринного походження. До сировинної бази для виробництва такого палива можуть належати рослинні олії, тваринні жири, відходи аграрного виробництва, побічна продукція харчової промисловості, а також інші поновлювані органічні ресурси. На відміну від викопних палив, що утворювалися протягом тривалого геологічного періоду, біологічне паливо виробляється з відновлюваної сировини та може бути включене в сучасний енергетичний цикл господарства.

За агрегатним станом біопалива поділяють на тверді, рідкі та газоподібні. До твердих належать дрова, деревна тріска, паливні брикети, пелети та інші продукти переробки біомаси. До рідких біопалив відносять біодизель, спирти, ефіри, біомазути та суміші на їх основі. Газоподібні біопалива представлені біогазом, піролізним газом та іншими газовими продуктами переробки органічної сировини.

Для дизельних двигунів найбільший практичний інтерес становить рідке біопаливо, зокрема біодизель або суміші дизельного палива з рослинними оліями та їх ефірами. Такі палива можуть застосовуватися як у чистому вигляді, так і в сумішах із нафтовим дизельним паливом. При цьому частка біологічного компонента може бути різною: від невеликих добавок до повної заміни традиційного палива.

Перевагою біологічного палива є його відновлюваність. Сировина для його виробництва може вирощуватися щороку, а частина її може бути отримана з відходів аграрного або переробного виробництва. Це дозволяє зменшити залежність від нафтових ресурсів і підвищити енергетичну самостійність сільськогосподарських підприємств. Крім того, при використанні біопалива в дизельних двигунах зазвичай спостерігається зменшення димності відпрацьованих газів, зниження вмісту сірки та часткове зменшення токсичних компонентів у продуктах згоряння.

Важливою перевагою біопалива є також його краща змащувальна здатність. Це позитивно впливає на роботу плунжерних пар паливного насоса високого тиску та деталей форсунок. За умови належної якості палива та правильного технічного обслуговування паливної системи це може сприяти зменшенню інтенсивності спрацювання окремих елементів паливної апаратури.

Водночас біопаливо має низку недоліків, які необхідно враховувати при модернізації системи живлення дизельного двигуна. Основною проблемою є вища в'язкість порівняно з нафтовим дизельним паливом. При зниженні температури навколишнього середовища в'язкість біопалива суттєво зростає, що погіршує його прокачування через паливопроводи, фільтри та елементи паливної апаратури. Це може ускладнювати запуск двигуна, погіршувати розпилення палива та призводити до нестабільної роботи на малих обертах.

Іншим недоліком є здатність біопалива поглинати вологу. Наявність води в паливі сприяє корозії металевих деталей, розвитку мікроорганізмів у паливному баку та засміченню фільтрів. Крім того, біопаливо може містити залишки гліцерину, жирних кислот, продуктів полімеризації та механічних домішок. Усі ці компоненти негативно впливають на ресурс фільтрувальних елементів і точність роботи паливної апаратури.

До екологічних та соціально-економічних недоліків біопалив належить потреба у значних площах для вирощування сировини. Якщо біопаливна сировина конкурує з харчовими культурами, це може створювати додаткове навантаження на аграрний сектор. Крім того, вирощування монокультур може сприяти поширенню шкідників, виснаженню ґрунтів і збільшенню потреби в пестицидах. Проте за раціональної організації виробництва, використання відходів і побічної продукції аграрного сектору біопаливо може бути ефективним елементом енергетичного забезпечення господарства.

2.3 Аналіз систем живлення дизеля Д-65Н при роботі на біопаливі

Для роботи двигуна Д-65Н на біопаливі необхідно адаптувати його систему живлення до змінених фізико-хімічних властивостей пального. У стандартному варіанті паливна система дизеля розрахована на використання нафтового дизельного палива з певними показниками в'язкості, густини, фракційного складу та температурних властивостей. При використанні біопалива ці параметри змінюються, тому без конструктивних змін стабільна робота двигуна не завжди забезпечується.

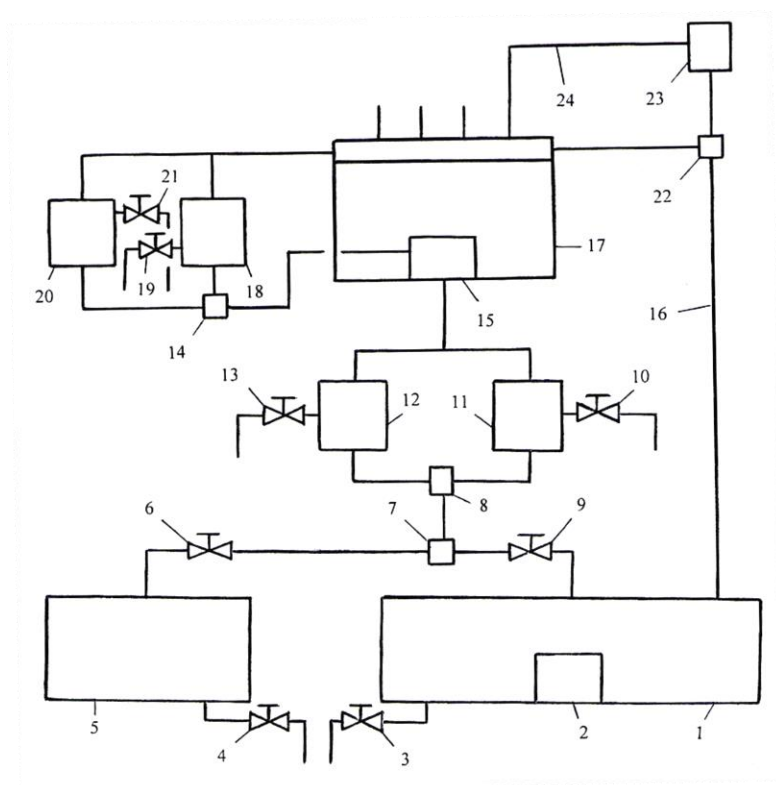
Дослідження роботи двигуна Д-65Н на паливних сумішах із рослинною олією показують, що при збільшенні частки біологічного компонента змінюються характеристики холостого ходу, зовнішні швидкісні характеристики, витрата палива та параметри паливоподачі. При використанні сумішей на основі дизельного палива і соєвої олії, а також метилових ефірів рослинних олій, спостерігається підвищення густини й в'язкості палива. Так, для сумішей із більшою часткою біокомпонента гідравлічний опір у паливній системі зростає, а ресурс роботи фільтрів може зменшуватися.

Особливу увагу необхідно приділити фільтрації. У стандартній системі живлення дизеля використовуються фільтри тонкого очищення з малим розміром пор, які ефективно затримують механічні домішки. Однак при роботі на біопаливі такі фільтри можуть швидко забиватися через наявність продуктів окиснення, полімеризації, залишків гліцерину, води та інших включень. З іншого боку, застосування фільтрів із занадто великою пористістю може призвести до проходження дрібних домішок у паливний насос і форсунки. Тому система

живлення для біопалива повинна мати багатоступеневе очищення, бажано з окремим відокремленням води.

Біопаливо також може впливати на гумотехнічні елементи системи живлення. Деякі типи натуральної гуми й еластомерів можуть набухати, втрачати еластичність або руйнуватися під дією біодизеля. Тому при модернізації доцільно передбачити заміну ущільнень на матеріали, стійкі до біологічного палива.

Відомі конструктивні схеми систем живлення біопаливом передбачають використання двох баків: одного для традиційного дизельного палива, другого — для біопалива. Такий підхід дає можливість запускати та прогрівати двигун на дизельному паливі, після чого переводити його на роботу з біологічним паливом. Перед зупинкою двигуна доцільно знову перевести систему на дизельне паливо, щоб промити паливний насос, форсунки та магістралі від залишків біопалива. Це зменшує ймовірність утворення відкладень і полегшує наступний запуск.



1 – основний паливний бак; 2 – показник рівня палива; 3, 4, 10, 13, 19, 21 – зливні крани; 5 – додатковий паливний бак; 7, 8, 14 – електроклапани; 11, 12 – фільтри грубого очищення палива; 15 – підкачувальний насос; 16 – паливопровід низького тиску; 17 – паливний насос високого тиску; 18, 20 – фільтри тонкого очищення палива; 22 – перехідник; 23 – форсунка; 24 – паливопровід високого тиску.

1 – бак дизельного палива; 2 – бак для біологічного палива; 3 - фільтр грубого очищення; 4 – електронасос; 5 – зворотній клапан, 6, 7 – електроклапани; 8 – датчик контролю температури; 9 – фільтр+підігрівач+змішувач; 10 – ПНВТ; 11 - датчик переміщення рейки ПНВТ; 12 – насос низького тиску підкачувальний; 13 – електронний блок керування

Перевагою цієї системи є розширення функціональних можливостей паливної апаратури та можливість гнучкого керування складом палива. Недоліком є ускладнення конструкції через використання додаткового електронасоса, електронного блоку керування, системи підігріву й датчиків. Крім того, підігрів біопалива поза паливним баком підвищує складність схеми та збільшує кількість елементів, які потребують технічного обслуговування.

2.4 Аналіз способів підігріву біопалива

Однією з головних умов надійної роботи системи живлення дизеля на біопаливі є забезпечення стабільної подачі палива до паливного насоса високого тиску. Через підвищену в'язкість біопалива, особливо при зниженні температури навколишнього середовища, виникає потреба в його попередньому підігріві.

Підігрів дозволяє зменшити в'язкість, покращити прокачуваність палива, знизити навантаження на паливopідкачувальний насос і забезпечити кращу фільтрацію. У системах живлення дизельних двигунів можуть використовуватися різні способи нагрівання палива: дроселювання, електричний підігрів, використання тепла відпрацьованих газів, а також застосування тепла охолоджувальної рідини двигуна.

Одним із найпростіших способів є нагрівання рідини дроселюванням. Його суть полягає у створенні опору руху палива, внаслідок чого частина енергії потоку переходить у тепло.

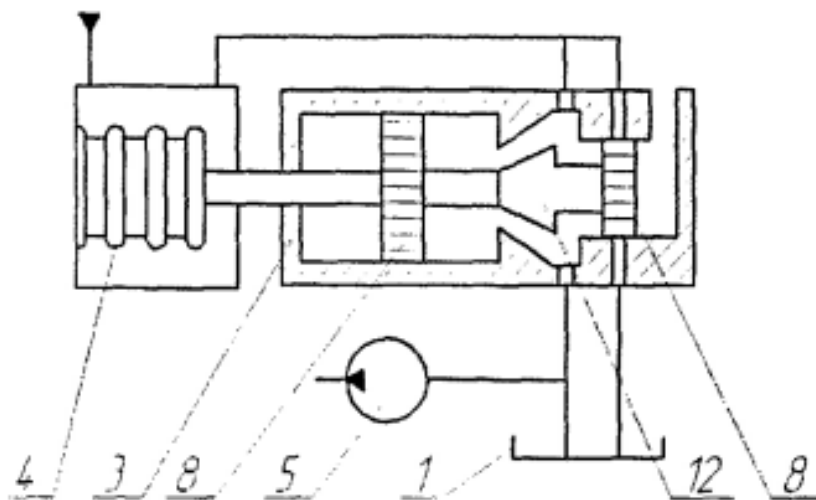


Рисунок 2.5 – Підігрів рідини дроселюванням

Недоліком такого способу є створення додаткового гідравлічного опору. Тому подібні пристрої доцільно встановлювати лише в напірних лініях після насоса. Крім того, багаторазове стискання і дроселювання біопалива може негативно впливати на його фізико-хімічні властивості, спричиняти зміну структури рідини, погіршення змащувальних властивостей і потемніння палива.

Іншим способом є використання надлишкового тепла від двигуна внутрішнього згоряння. У такому випадку теплоносієм можуть бути відпрацьовані гази або охолоджувальна рідина. При використанні тепла відпрацьованих газів рідина нагрівається в теплообміннику, через який проходить потік гарячих газів.

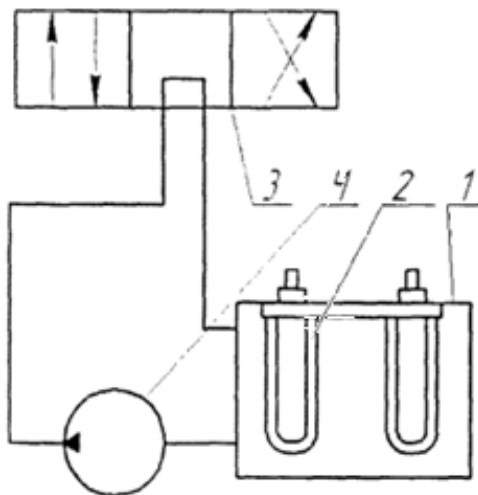


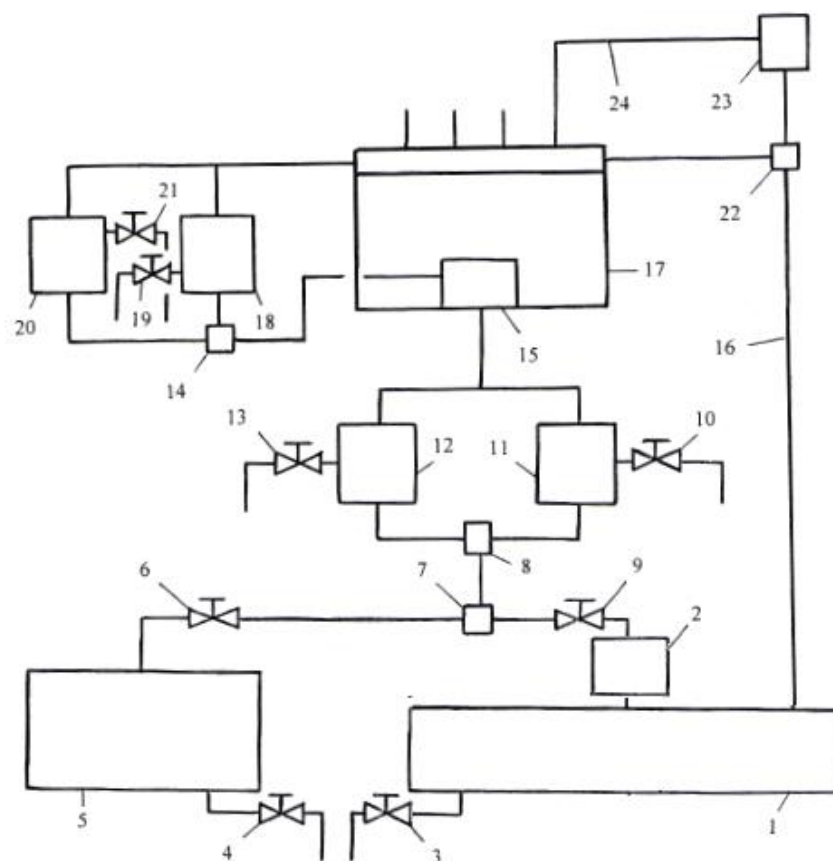
Рисунок 2.7 – Підігрів робочої рідини з використанням електронагрівачів

Основною перевагою електричного підігріву є швидке досягнення необхідної температури. Проте для його застосування потрібне надійне електроживлення, справна проводка, захисні пристрої та достатня потужність електромережі трактора. У разі використання потужного нагрівача виникає додаткове навантаження на генератор і акумуляторну батарею.

З урахуванням переваг і недоліків розглянутих способів найбільш доцільним для модернізації двигуна Д-65Н є підігрів біопалива за рахунок тепла охолоджувальної рідини двигуна. Такий спосіб дозволяє використовувати наявну теплову енергію системи охолодження, не потребує значної електричної потужності, має відносно просту конструкцію та забезпечує стабільне підтримання температури палива після прогрівання двигуна.

2.5 Розробка системи живлення двигуна Д-65Н для роботи на біопаливі

На підставі проведеного аналізу запропоновано модернізовану двопаливну систему живлення двигуна Д-65Н, яка забезпечує можливість роботи як на традиційному дизельному паливі, так і на біологічному паливі. Загальна конструктивна схема системи подана на рисунку 2.8.



1 – паливний бак для біопалива; 2 – підігрівач-теплообмінник; 3, 4, 10, 13, 19, 21 – зливні крани; 5 – паливний бак для дизельного палива; 6, 9 – запірні крани; 7, 8, 14 – електромагнітні клапани; 11, 12 – фільтри грубого очищення палива; 15 – підкачувальний насос; 16 – паливопровід низького тиску; 17 – паливний насос високого тиску; 18, 20 – фільтри тонкого очищення палива; 22 – перехідник; 23 – форсунка; 24 – паливопровід високого тиску.

Рисунок 2.8 – Система живлення дизеля Д-65Н для роботи на біологічному паливі

Запропонована система має два окремі паливні баки. Один бак призначений для дизельного палива, другий — для біопалива на основі рослинної олії або її похідних. Кожна паливна лінія має власну систему фільтрації, що дозволяє уникнути змішування забруднень і забезпечити стабільну роботу двигуна на кожному виді палива. Перемикання між паливами здійснюється за допомогою електромагнітних клапанів.

Пуск і початковий прогрів двигуна виконуються на дизельному паливі. Це пояснюється тим, що дизельне паливо має кращі низькотемпературні властивості та забезпечує надійний запуск навіть за несприятливих умов. Після прогрівання двигуна й охолоджувальної рідини до робочої температури оператор переводить

систему на живлення біопаливом. Перед зупинкою двигуна необхідно знову перейти на дизельне паливо й дати двигуну попрацювати декілька хвилин. Такий режим дозволяє промити паливний насос, форсунки й магістралі від залишків біопалива та зменшити утворення відкладень.

Для покращення прокачування біопалива в систему введено підігрівач-теплообмінник. Він розміщується в паливному баку або в безпосередній близькості до паливної магістралі та використовує тепло охолоджувальної рідини двигуна. Завдяки цьому біопаливо нагрівається до температури, за якої його в'язкість зменшується, а проходження через фільтри й паливопроводи полегшується.

Надійність роботи такої системи значною мірою залежить від якості біопалива. На його властивості впливають вміст води, наявність жирних кислот, залишків каталізаторів, якість спиртів, умови переестерифікації, температура й тиск у реакторі, а також ефективність очищення готового продукту. Через це біопаливо, яке використовується в тракторних двигунах, повинно проходити контроль якості та попередню фільтрацію.

2.6 Тепловий розрахунок двигуна при роботі на біопаливі

Оцінку впливу біопалива на роботу двигуна Д-65Н доцільно виконати шляхом порівняння теплових розрахунків для двох варіантів: роботи на дизельному паливі та роботи на біологічному паливі. Такий підхід дає змогу визначити зміну основних параметрів робочого циклу, зокрема тиску, температури, потужності та витрати палива.

Вихідні дані для розрахунку прийнято такі:

- Тип двигуна — дизельний, без турбонаддуву.
- Робочий цикл — чотиритактний.
- Кількість циліндрів — 4.
- Розташування циліндрів — рядне.
- Ступінь стиску — $\varepsilon = 17,3$.
- Номінальна частота обертання колінчастого вала — $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$.
- Номінальна ефективна потужність — $N_e = 44,7 \text{ кВт}$.
- Коефіцієнт надлишку повітря — $\alpha = 1,6$.
- Нижча теплота згоряння дизельного палива — $Q_H = 42,5 \text{ МДж/кг}$.

- Нижча теплота згоряння біопалива — $Q_n = 38,9$ МДж/кг.
- Температура навколишнього середовища — $T_0 = 288$ К.
- Тиск навколишнього середовища — $P_0 = 0,1$ МПа.

2.6.1 Процес впуску

На початку процесу впуску тиск і температура повітря приймаються такими, що відповідають умовам навколишнього середовища. Густина повітря на впуску визначається за рівнянням:

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R_b \cdot T_0} \quad (2.1)$$

де $R_b = 287$ Дж/(кг·К) — питома газова стала повітря.

З урахуванням опору впускної системи визначаються втрати тиску на впуску, коефіцієнт залишкових газів, температура в кінці процесу впуску та коефіцієнт наповнення циліндра свіжим зарядом. Для двигуна, який працює на біопаливі, ці параметри мають важливе значення, оскільки якість сумішоутворення залежить не лише від кількості повітря, а й від властивостей палива.

2.6.2 Процес стиску

Під час стиску повітря в циліндрі підвищуються тиск і температура. Розрахунок процесу стиску починають із визначення показника політропи стиску. Далі обчислюють проміжні значення тиску та температури для різних положень поршня, а також кінцеві параметри в кінці такту стиску.

Проміжний тиск у процесі стиску визначається за залежністю:

$$P_x = P_a \left(\frac{V_a}{V_x} \right)^{n_1} \quad (2.2)$$

де P_a — тиск на початку стиску;

V_a — об'єм циліндра на початку стиску;

V_x — проміжний об'єм;

n_1 — показник політропи стиску.

Температура в процесі стиску визначається за аналогічною залежністю:

$$T_x = T_a \left(\frac{V_a}{V_x} \right)^{n_1 - 1} \quad (2.3)$$

2.6.3 Процес згоряння

Для процесу згоряння визначається теоретично необхідна кількість повітря для повного спалювання одного кілограма біопалива. При цьому враховується елементний склад палива, зокрема вміст вуглецю, водню та кисню.

Теоретична кількість повітря для згоряння визначається за формулою:

$$L_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \quad (2.4)$$

де C , H , O — масові частки вуглецю, водню та кисню в паливі.

Після цього визначаються кількість свіжого заряду, кількість залишкових газів, коефіцієнт молекулярної зміни та температура в кінці згоряння. Оскільки біопаливо має нижчу теплоту згоряння порівняно з дизельним паливом, для збереження потужності двигуна може виникати потреба в підвищенні циклової подачі палива.

2.6.4 Процес розширення

Процес розширення починається після завершення згоряння палива. У дизельному циклі він складається з попереднього розширення при майже сталому тиску та подальшого політропного розширення. Для розрахунку визначають ступінь попереднього розширення, ступінь подальшого розширення, а також проміжні значення тиску й температури.

Тиск у процесі розширення визначається за формулою:

$$P_x = P_z \left(\frac{V_z}{V_x} \right)^{n_2} \quad (2.5)$$

де P_z — тиск у кінці згоряння;

V_z — об'єм у кінці згоряння;

V_x — поточний об'єм;

n_2 — показник політропи розширення.

2.6.5 Процес випуску

У процесі випуску відпрацьовані гази видаляються з циліндра. Розрахункова температура відпрацьованих газів порівнюється з прийнятим початковим значенням. Якщо відхилення не перевищує допустимих меж, розрахунок вважається виконаним правильно.

Результати розрахунку тиску для роботи двигуна на біодизелі подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку тиску при роботі двигуна на біодизелі

№	Проміжне значення об'єму V_x , мм	Стиск, МПа	Розширення, МПа
1	10	4,092	6,547
2	20	1,610	5,034
3	30	0,933	2,981
4	50	0,469	1,540
5	80	0,249	0,839
6	120	0,144	0,497
7	173	0,088	0,310

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку тиску при роботі двигуна на дизельному паливі

№	Проміжне значення об'єму V_x , мм	Стиск, МПа	Розширення, МПа
1	10	4,092	6,547
2	20	1,610	4,865
3	30	0,933	2,881
4	50	0,469	1,489
5	80	0,249	0,811
6	120	0,144	0,480
7	173	0,088	0,299

За результатами теплового розрахунку будується суміщена індикаторна діаграма в координатах $P - V$, яка дозволяє порівняти робочі процеси двигуна при використанні дизельного палива та біопалива.

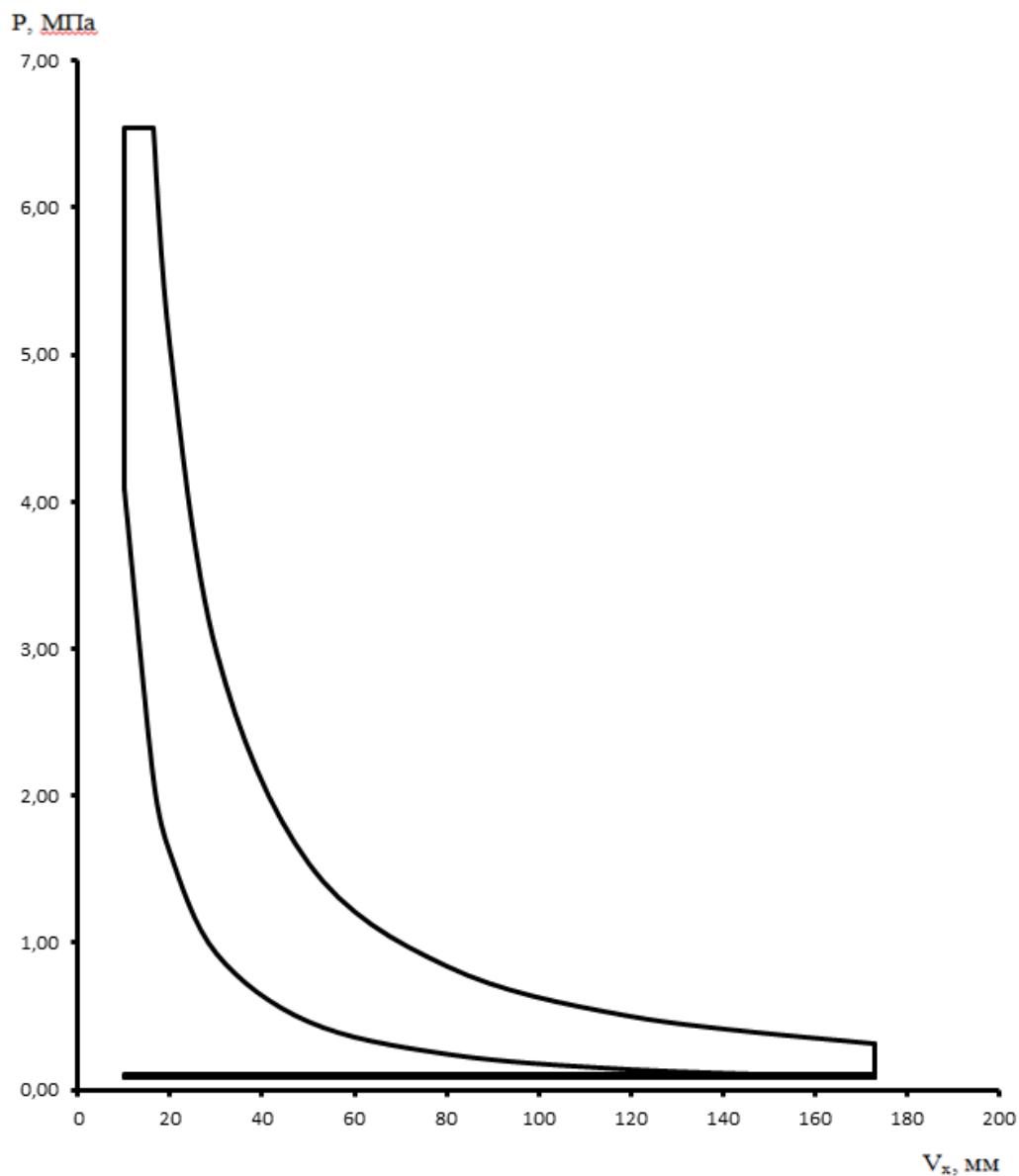


Рисунок 2.9 – Суміщена індикаторна діаграма двигуна Д-65Н

2.7 Розрахунок і побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

Для оцінювання впливу біопалива на експлуатаційні показники двигуна Д-65Н виконано розрахунок зовнішньої швидкісної характеристики. Розрахунок проведено для двох варіантів: роботи на дизельному паливі та роботи на біодизелі.

Зовнішня швидкісна характеристика дозволяє визначити зміну ефективної потужності, крутного моменту, питомої та годинної витрати палива залежно від частоти обертання колінчастого вала.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку швидкісної характеристики двигуна Д-65Н при роботі на дизельному паливі

Частота обертання, хв^{-1}	Потужність N_e , кВт	Крутний момент, Н·м	Питома витрата, г/кВт·год	Годинна витрата, кг/год
360	8,13	215,7	342,6	2,78
720	19,60	260,1	279,2	5,47
1080	32,03	283,3	253,8	8,13
1440	41,59	275,9	241,1	10,03
1800	47,80	253,7	253,8	12,13
1926	0	0	400	3,64

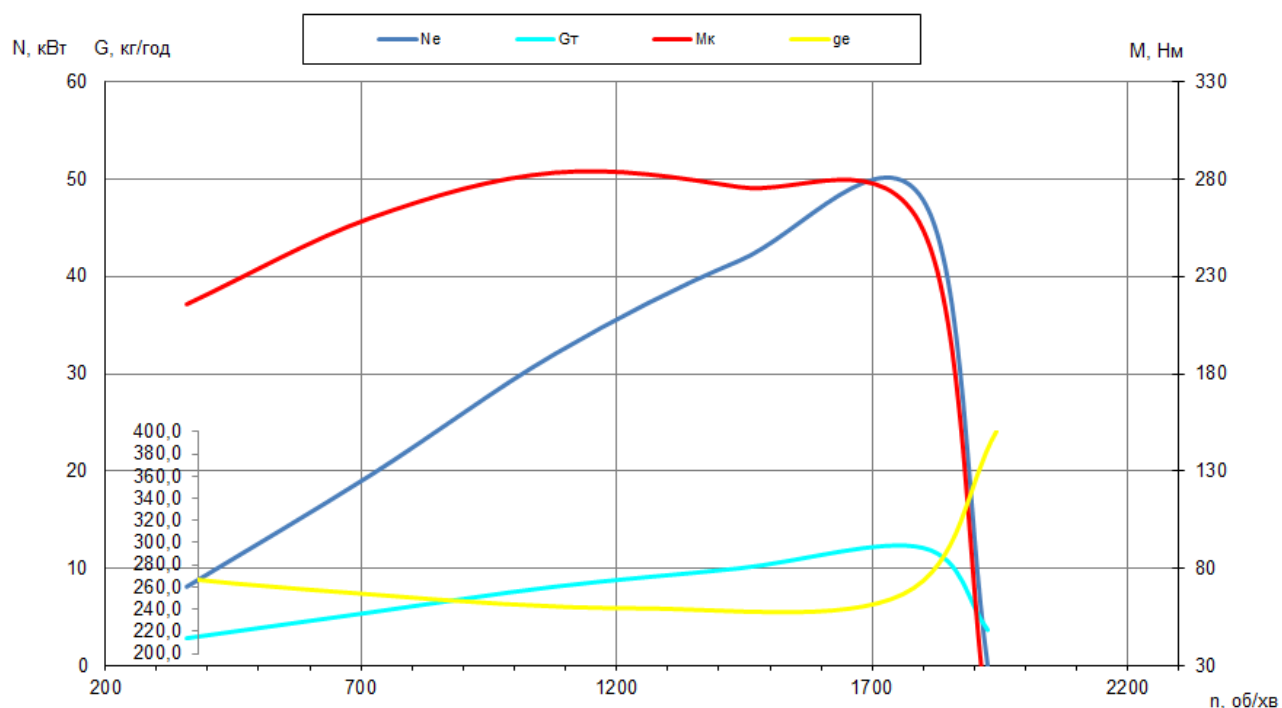


Рисунок 2.10 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна Д-65Н при роботі на дизельному паливі

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку швидкісної характеристики двигуна Д-65Н при роботі на біодизелі

Частота обертання, хв^{-1}	Потужність N_e , кВт	Крутний момент, Н·м	Питома витрата, г/кВт·год	Годинна витрата, кг/год
360	7,60	201,7	376,1	2,86
720	18,33	243,2	306,4	5,62
1080	29,95	265,0	278,6	8,34
1440	38,89	258,0	264,6	10,29

1800	44,70	237,3	278,6	12,45
1926	0	0	400	3,74

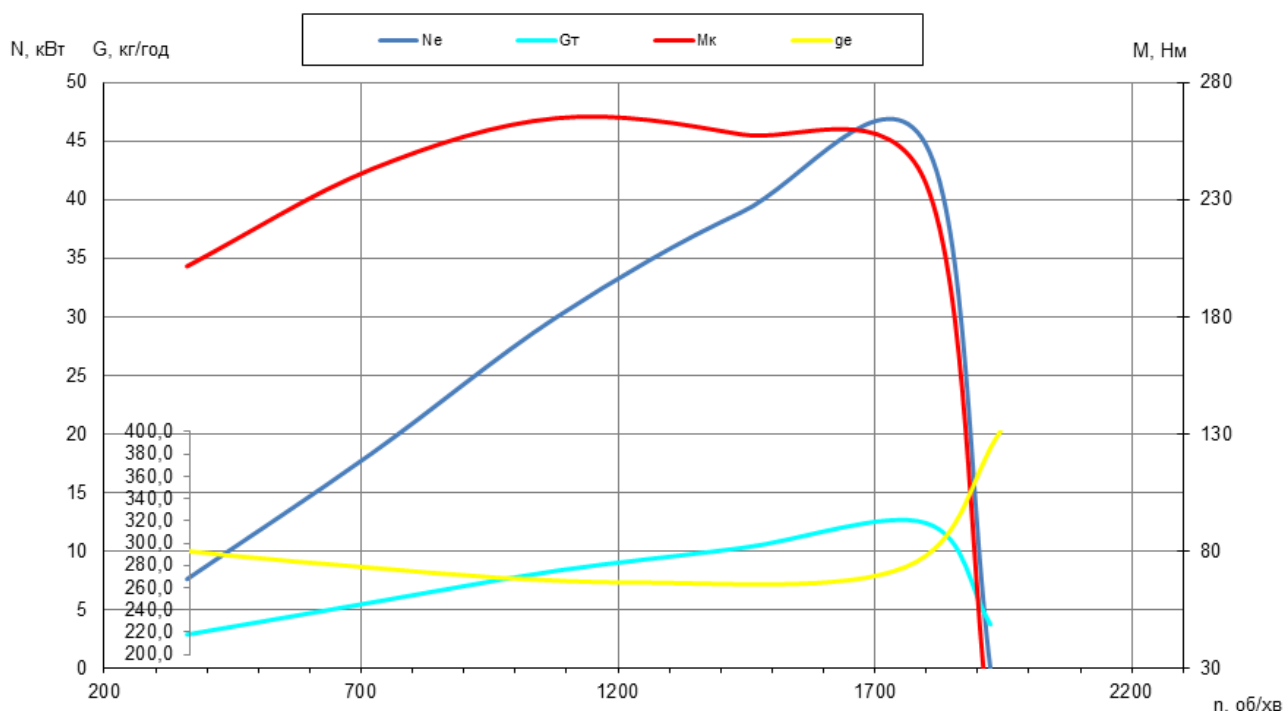


Рисунок 2.11 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна Д-65Н при роботі на біодизелі

Порівняння результатів показує, що при роботі на біопаливі ефективна потужність двигуна дещо зменшується. Це пояснюється нижчою теплотою згоряння біопалива порівняно з дизельним паливом. Водночас годинна витрата палива незначно зростає, оскільки для отримання близької енергетичної віддачі необхідно подати більшу кількість палива.

Зниження потужності перебуває в допустимих межах і може бути частково компенсоване коригуванням циклової подачі палива. При цьому важливо не допустити надмірного збільшення димності, температурного навантаження та механічного навантаження на деталі двигуна.

2.8 Розробка конструкції системи підігріву біопалива

З урахуванням проведеного аналізу найбільш раціональним способом підігріву біопалива для двигуна Д-65Н є використання тепла охолоджувальної рідини. Для цього пропонується застосувати проточний теплообмінник зі змійовиком, у якому тепло від охолоджувальної рідини передається біопаливу.

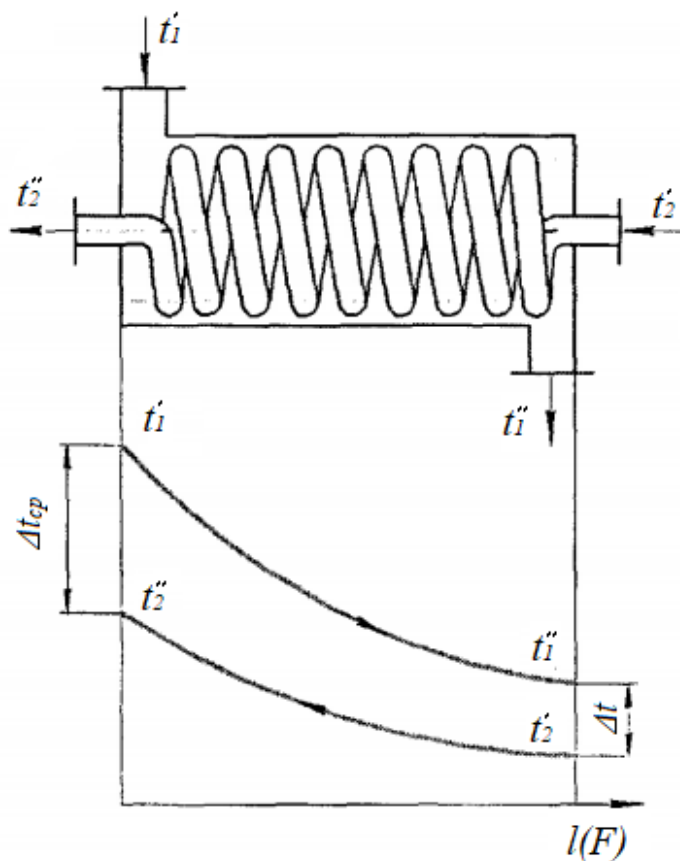
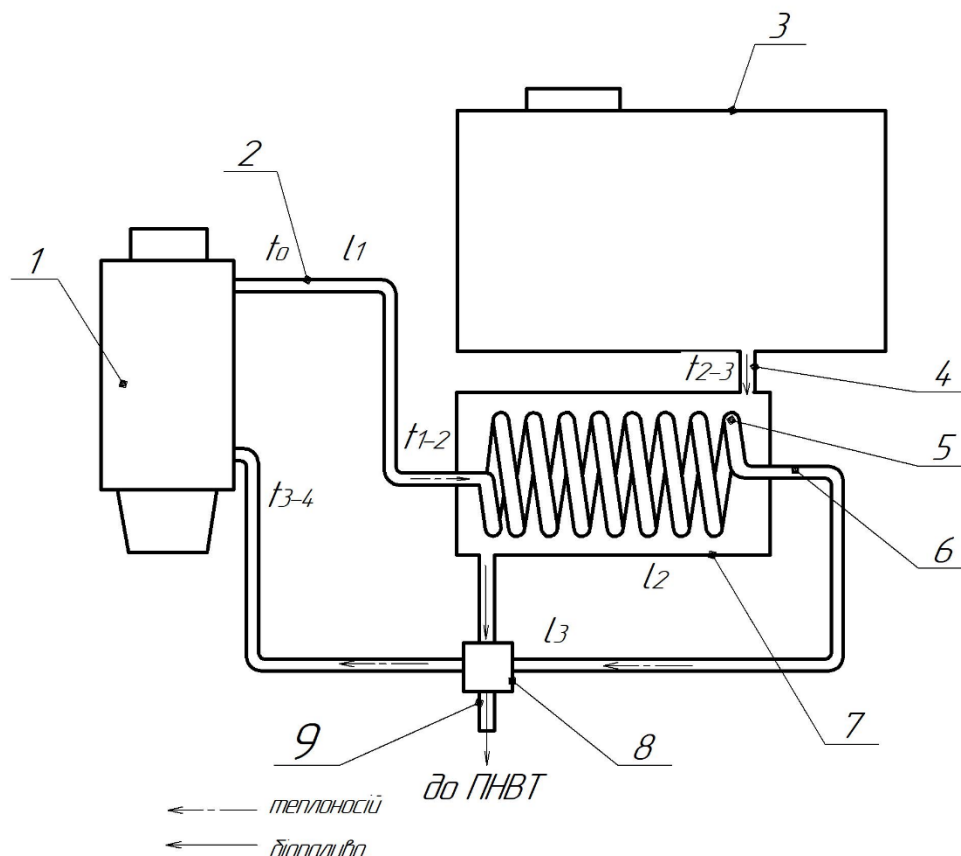


Рисунок 2.12 – Схема проточного теплообмінника

Проточний теплообмінник дозволяє забезпечити ефективну передачу тепла від одного теплоносія до іншого. У запропонованій системі теплоносієм є охолоджувальна рідина двигуна, а нагріваним середовищем — біопаливо. Використання перехресної або протиточної схеми руху рідин підвищує ефективність теплообміну та дає можливість зменшити габарити теплообмінника.



1 – двигун внутрішнього згоряння; 2 – лінія подачі теплоносія; 3 – паливний бак; 4 – лінія подачі біопалива; 5 – змійовик теплообмінника; 6 – лінія зливу; 7 – корпус теплообмінника; 8 – терморегулятор; 9 – лінія подачі нагрітого біопалива до ПНВТ.

Рисунок 2.13 – Схема системи підігріву біопалива

Принцип роботи системи полягає в тому, що нагріта охолоджувальна рідина від двигуна надходить до змійовика теплообмінника. Біопаливо, яке знаходиться в баку або проходить через корпус теплообмінника, нагрівається через стінку змійовика. Контроль температури здійснюється за допомогою терморегулятора. При досягненні заданої температури прохід теплоносія через змійовик зменшується, що запобігає перегріванню палива.

Основною вимогою до системи підігріву є підтримання температури біопалива в межах 25–30 °С. Такий температурний режим забезпечує покращення прокачуваності палива, зменшення його в'язкості та стабільну роботу фільтрів і паливної апаратури.

2.9 Розрахунок основних параметрів теплообмінника

Для обґрунтування конструкції теплообмінника необхідно визначити довжину змійовика, площу поверхні нагрівання, кількість витків і загальну довжину трубки.

Довжина одного витка змійовика визначається за формулою:

$$l_1 = \pi D_{зм} \quad (2.6)$$

де $D_{зм}$ — діаметр одного витка змійовика, м.

За умови $D_{зм} = 0,08$ м:

$$l_1 = 3,14 \cdot 0,08 = 0,251 \text{ м}$$

Площа поверхні нагрівання теплообмінника визначається за залежністю:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\text{ср.лог}}} \quad (2.7)$$

де Q — теплова потужність, Вт;

k — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°C);

$\Delta t_{\text{ср.лог}}$ — середньологарифмічна різниця температур, °C.

Середньологарифмічна різниця температур визначається за формулою:

$$\Delta t_{\text{ср.лог}} = \frac{(t_{\text{мсп}} - t'_0) - (t_{\text{мсп}} - t''_0)}{\ln \left(\frac{t_{\text{мсп}} - t'_0}{t_{\text{мсп}} - t''_0} \right)} \quad (2.8)$$

де $t_{\text{мсп}}$ — середня температура охолоджувальної рідини, °C;

t'_0 — початкова температура біопалива, °C;

t''_0 — кінцева температура біопалива, °C.

Для розрахунку прийнято: $Q = 4$ кВт; $k = 1000$ Вт/(м²·°C); $t_{\text{мсп}} = 85^\circ\text{C}$; $t'_0 = 0^\circ\text{C}$; $t''_0 = 30^\circ\text{C}$.

Довжина трубки змійовика визначається за формулою:

$$L = F / \pi d \quad (2.9)$$

де d — діаметр трубки змійовика, м.

Кількість витків змійовика визначається за залежністю:

$$n = \frac{L}{l_1} \quad (2.10)$$

Загальна довжина змійовика з урахуванням кроку між витками визначається за формулою:

$$L_3 = n \cdot h \quad (2.11)$$

де h — відстань між витками змійовика, м.

За результатами розрахунку визначаються основні конструктивні параметри теплообмінника, необхідні для його виготовлення та встановлення в систему живлення дизеля. Запропонована конструкція дозволяє використовувати теплоту системи охолодження двигуна без істотного ускладнення паливної системи та без значного навантаження на електричну мережу трактора.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Загальні вимоги безпеки під час модернізації системи живлення дизеля

Роботи з модернізації системи живлення дизеля для використання біопалива пов'язані з розбиранням, очищенням, заміною та регулюванням елементів паливної апаратури. Під час виконання таких робіт працівники можуть зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів: горючих рідин, парів палива, підвищеного тиску в паливних магістралях, гострих кромek деталей, нагрітих поверхонь, електричного струму, рухомих частин обладнання, шуму, вібрації та забрудненого повітря робочої зони [18; 19].

Біопаливо вважається менш токсичним і краще біорозкладається порівняно з нафтовим дизельним паливом, однак це не означає, що роботи з ним можна виконувати без дотримання вимог охорони праці. Біодизель і сумішеві палива залишаються горючими рідинами, можуть подразнювати шкіру та слизові оболонки, а також створювати пожежонебезпечне середовище при нагріванні або розпиленні. Тому всі операції з паливом необхідно виконувати в добре вентильованих приміщеннях із застосуванням засобів індивідуального захисту.

До виконання робіт допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, пожежної безпеки, ознайомлені з будовою дизельної паливної системи та правилами поведінки з горючими рідинами. Працівник повинен знати порядок зупинки двигуна, знеструмлення обладнання, скидання тиску в паливній системі, користування первинними засобами пожежогасіння та надання першої допомоги у разі контакту палива зі шкірою або очима [18; 20].

3.2 Небезпечні та шкідливі фактори під час виконання робіт

Під час модернізації системи живлення дизеля основними небезпечними факторами є:

- можливість займання палива при контакті з відкритим полум'ям, іскрами або нагрітими поверхнями;
- підтікання палива через нещільні з'єднання;
- травмування рук під час демонтажу паливопроводів, фільтрів, штуцерів і ущільнень;

- ураження струмом при роботі з електричним підігрівачем палива або блоком керування;
- потрапляння палива на шкіру, в очі або на спецодяг;
- вдихання парів палива в недостатньо вентильованому приміщенні;
- опіки при контакті з нагрітими деталями двигуна або підігрівача;
- пошкодження паливної апаратури через неправильне скидання тиску.

Особливу небезпеку становлять роботи з паливною апаратурою високого тиску. Паливні насоси та форсунки дизельних двигунів можуть працювати під значним тиском, тому перед демонтажем будь-яких елементів необхідно зупинити двигун, перекрити подачу палива, дочекатися охолодження деталей і переконатися у відсутності залишкового тиску в магістралях. Забороняється перевіряти герметичність паливопроводів руками, оскільки струмінь палива під високим тиском може спричинити серйозне травмування.

До шкідливих факторів належать контакт із паливом, забруднення повітря парами, шум під час роботи двигуна на випробувальному стенді, підвищена температура в зоні двигуна, а також можливе забруднення робочого місця мастильними матеріалами. Для зменшення впливу цих факторів необхідно використовувати місцеву вентиляцію, захисні рукавички, окуляри, спецодяг, а також підтримувати чистоту робочої зони.

3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком робіт необхідно оглянути робоче місце, прибрати сторонні предмети, перевірити справність інструменту, освітлення, вентиляції та засобів пожежогасіння. Робоча зона повинна бути чистою, сухою, добре освітленою та забезпеченою зручним доступом до двигуна й елементів паливної системи.

Перед демонтажем паливної апаратури необхідно:

- зупинити двигун і дочекатися його охолодження;
- від'єднати акумуляторну батарею або знеструмити електричні кола, пов'язані з підігрівачем палива;
- перекрити подачу палива з бака;
- підготувати ємність для зливу залишків палива;

- очистити зовнішні поверхні паливних фільтрів, трубопроводів і штуцерів;
- перевірити наявність сорбенту або піску для ліквідації можливого проливу;
- підготувати комплект ущільнень, фільтрів і необхідних запасних частин.

Забороняється починати роботу за наявності відкритого полум'я, несправної електропроводки, підтікання палива, відсутності вентиляції або засобів пожежогасіння. Не допускається використання саморобного інструменту, пошкоджених ключів і пристроїв, які можуть зірвати грані штуцерів або спричинити травмування.

3.4 Вимоги безпеки під час демонтажу та модернізації системи живлення

Демонтаж елементів системи живлення необхідно виконувати у встановленій послідовності. Спочатку зливають залишки палива або перекривають його подачу, після чого від'єднують паливопроводи низького тиску, фільтри, сепаратор води, підігрівач палива, датчики та інші елементи. Усі зняті деталі слід розміщувати на чистій поверхні, захищеній від потрапляння пилю.

Під час роботи з біопаливом потрібно уникати його потрапляння на шкіру. У разі контакту паливо необхідно негайно змити теплою водою з милом. Забороняється витирати руки ганчір'ям, змоченим у паливі, або використовувати паливо для миття деталей без спеціально обладнаної мийної ванни.

Під час установа підігрівача палива необхідно перевірити його технічну справність, надійність кріплення, герметичність з'єднань і відповідність електричної схеми вимогам безпеки. Електричні проводи повинні мати справну ізоляцію, бути захищеними від перегрівання, перетирання та контакту з рухомими частинами двигуна. Обов'язковим є встановлення запобіжника або іншого захисного елемента в електричному колі підігрівача.

Фільтр-сепаратор води необхідно встановлювати в доступному для обслуговування місці. Він повинен бути надійно закріплений, а його зливний пристрій — герметичним. Під час зливу води та осаду потрібно використовувати окрему ємність, не допускаючи потрапляння забрудненого палива на підлогу або в ґрунт.

Паливопроводи необхідно прокладати так, щоб вони не торкалися гарячих поверхонь, рухомих деталей, гострих кромek і не зазнавали надмірної вібрації. Після встановлення всі з'єднання перевіряють на герметичність. Для цього забороняється використовувати відкритий вогонь. Перевірку виконують візуально, за допомогою сухої серветки або спеціальних засобів контролю витоків.

3.5 Пожежна безпека під час роботи з біопаливом

Паливна система дизельного двигуна містить горючі рідини, тому пожежна безпека є одним із найважливіших напрямів охорони праці. У приміщенні, де виконуються роботи, забороняється палити, користуватися відкритим полум'ям, виконувати зварювальні або шліфувальні роботи поблизу відкритих ємностей із паливом.

Робоче місце повинно бути забезпечене вогнегасниками, піском або сорбентом, металевою ємністю для використаного ганчір'я та засобами для ліквідації проливів. Використане ганчір'я, забруднене паливом, необхідно складати в металеві ящики з кришкою. Не допускається залишати його на підлозі, біля нагрівальних приладів або на деталях двигуна.

У разі проливу біопалива необхідно негайно припинити роботу, усунути джерело витoku, засипати місце проливу сорбентом або піском, зібрати забруднений матеріал у спеціальну тару та провітрити приміщення. Якщо виникло займання, необхідно знеструмити обладнання, повідомити відповідальних осіб і застосувати вогнегасник відповідного типу. Гасити паливо водяним струменем небажано, оскільки це може сприяти поширенню горючої рідини.

3.6 Вимоги безпеки під час випробування модернізованої системи

Після завершення монтажу модернізованої системи живлення необхідно виконати перевірку її герметичності, правильності під'єднання паливопроводів, справності фільтрів, підігрівача, датчика температури та блоку керування. Перед запуском двигуна потрібно переконатися, що всі інструменти прибрані з моторного відсіку, кріплення затягнуті, а паливні магістралі не мають механічних пошкоджень.

Перший запуск двигуна після модернізації слід виконувати на відкритому майданчику або в приміщенні з ефективною вентиляцією. Працівник повинен перебувати поза зоною можливого викиду палива з пошкодженого з'єднання. Під

час роботи двигуна необхідно контролювати наявність підтікань, температуру палива, рівномірність роботи, димність і сторонні шуми.

Забороняється підтягувати штуцери паливопроводів високого тиску на працюючому двигуні без крайньої необхідності. Якщо виявлено витік палива, двигун потрібно зупинити, дочекатися зниження тиску й лише після цього усунути несправність. Під час випробування не допускається торкатися руками нагрітих елементів двигуна, підігрівача, випускного колектора та паливних трубок.

3.7 Засоби індивідуального захисту та санітарно-гігієнічні вимоги

Працівники, які виконують модернізацію та обслуговування системи живлення дизеля, повинні використовувати спецодяг, захисні рукавички, окуляри або щиток, а за необхідності — респіратор. Спецодяг повинен бути справним, щільно застібнутим і не мати звисаючих частин, які можуть потрапити в рухомі механізми.

Для захисту рук слід застосовувати рукавички, стійкі до дії палива й мастильних матеріалів. При роботі з форсунками, стисненням повітрям або під час промивання деталей обов'язковим є використання захисних окулярів. Якщо роботи виконуються в приміщенні з недостатньою вентиляцією, необхідно використовувати засоби захисту органів дихання.

Після завершення роботи слід вимити руки теплою водою з милом, очистити інструмент, прибрати робоче місце, закрити ємності з паливом і здати забруднене ганчір'я у спеціально відведене місце. Забороняється приймати їжу, пити або палити на робочому місці, де виконуються операції з паливом.

3.8 Екологічна безпека та поводження з відходами

Під час модернізації системи живлення утворюються відходи у вигляді відпрацьованих фільтрів, забрудненого палива, водно-паливної суміші з фільтра-сепаратора, використаного ганчір'я, старих ущільнень і пакувальних матеріалів. Такі відходи не можна викидати разом із побутовим сміттям або зливати в каналізацію, ґрунт чи водойми.

Відпрацьовані фільтри та забруднене паливо необхідно збирати в герметичні ємності з відповідним маркуванням і передавати на утилізацію спеціалізованим

організаціям. Водно-паливну суміш, зливу з фільтра-сепаратора, також потрібно зберігати окремо, не допускаючи її змішування з чистим паливом.

Дотримання екологічних вимог дозволяє зменшити негативний вплив ремонтних робіт на навколишнє середовище та забезпечити безпечні умови праці для персоналу.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

4.1 Мета техніко-економічного обґрунтування

Метою техніко-економічної частини є визначення економічної доцільності модернізації системи живлення дизельного двигуна Д-65Н трактора ЮМЗ-6АК для роботи на біологічному паливі. Запропонована модернізація передбачає встановлення додаткового паливного бака для біопалива, теплообмінника-підігрівача, електромагнітних клапанів, фільтрів, паливопроводів, терморегулятора та допоміжних елементів керування.

Основна економічна ідея модернізації полягає у зменшенні витрат на нафтове дизельне паливо за рахунок часткового або повного переходу двигуна на біопаливо. У технологічній частині було встановлено, що при роботі на біодизелі ефективна потужність двигуна дещо знижується, проте це зниження не є критичним і може бути компенсоване коригуванням циклової подачі палива. При цьому система підігріву біопалива забезпечує покращення прокачуваності пального та стабільність роботи паливної апаратури за знижених температур.

Економічна ефективність модернізації визначається порівнянням витрат на експлуатацію трактора при використанні традиційного дизельного палива та біологічного палива. До основних показників оцінки належать капітальні вкладення, річні витрати на паливо, річна економія, чистий економічний ефект і строк окупності модернізації.

4.2 Вихідні дані для розрахунку

Для виконання розрахунку прийнято технічні показники двигуна Д-65Н, наведені у технологічній частині роботи. Двигун має номінальну потужність близько 45 кВт, робочий об'єм 4,94 л, чотири циліндри, ступінь стиску 17,3 та паливний насос типу 4УТН. За результатами розрахунку швидкісної характеристики годинна масова витрата палива на номінальному режимі становить:

- для дизельного палива — 12,13 кг/год;
- для біодизеля — 12,45 кг/год.

Для переведення масової витрати палива в об'ємну приймаємо густину дизельного палива 0,84 кг/л, а біопалива — 0,88 кг/л. Річне напрацювання трактора приймаємо 1000 год/рік. Ціна дизельного палива для проектного розрахунку

прийнята 58 грн/л, а розрахункова собівартість або умовна ціна біопалива в господарстві — 42 грн/л. Дані значення прийнято як проєктні, тому за потреби їх можна уточнити відповідно до фактичних цін у господарстві.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Масова витрата дизельного палива, кг/год	G_d	12,13
Масова витрата біопалива, кг/год	G_b	12,45
Густина дизельного палива, кг/л	ρ_d	0,84
Густина біопалива, кг/л	ρ_b	0,88
Річне напруцювання трактора, год/рік	T_p	1000
Ціна дизельного палива, грн/л	C_d	58
Ціна біопалива, грн/л	C_b	42
Додаткові витрати на обслуговування, грн/рік	$B_{то}$	3000

4.3 Розрахунок годинної витрати палива

Оскільки у вихідних даних годинна витрата палива подана у кг/год, для економічного розрахунку її необхідно перевести в л/год.

Об'ємна годинна витрата дизельного палива визначається за формулою:

$$G_{d,л} = \frac{G_d}{\rho_d} \quad (4.1)$$

де G_d — масова витрата дизельного палива, кг/год;

ρ_d — густина дизельного палива, кг/л.

$$G_{d,л} = 12,130,84 = 14,44 \text{ л/год}$$

Об'ємна годинна витрата біопалива визначається аналогічно:

$$G_{b,л} = \frac{G_b}{\rho_b} \quad (4.2)$$

$$G_{b,л} = 12,450,88 = 14,15 \text{ л/год}$$

Отже, за прийнятих густин об'ємна витрата біопалива становить 14,15 л/год, а дизельного палива — 14,44 л/год. Незважаючи на те, що масова витрата біопалива

дещо більша, через вищу густину його об'ємна витрата в розрахунку є близькою до витрати дизельного палива.

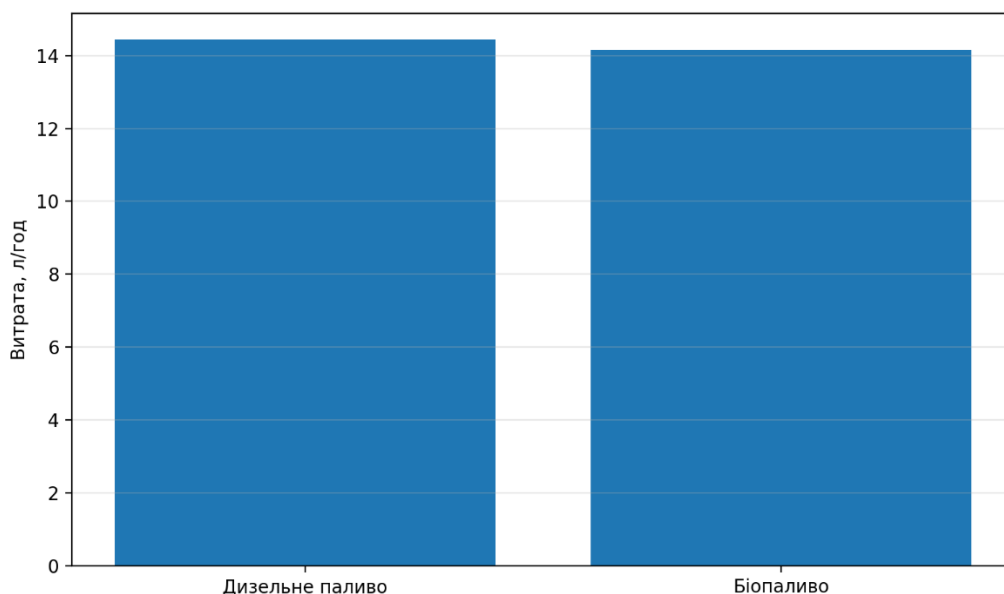


Рисунок 4.1 – Порівняння годинної витрати палива

4.4 Розрахунок річної потреби в паливі

Річна потреба в дизельному паливі визначається за формулою:

$$Q_d = G_{d,л} \cdot T_p \quad (4.3)$$

де $G_{d,л}$ — годинна витрата дизельного палива, л/год;

T_p — річне напрацювання трактора, год/рік.

$$Q_d = 14,44 \cdot 1000 = 14440 \text{ л/рік}$$

Річна потреба в біопаливі:

$$Q_b = G_{b,л} \cdot T_p \quad (4.4)$$

$$Q_b = 14,15 \cdot 1000 = 14150 \text{ л/рік}$$

Таблиця 4.2 – Річна потреба в паливі

Вид палива	Годинна витрата, л/год	Річне напрацювання, год	Річна потреба, л/рік
Дизельне паливо	14,44	1000	14440
Біопаливо	14,15	1000	14150

4.5 Розрахунок річних витрат на паливо

Річні витрати на дизельне паливо визначаємо за формулою:

$$B_d = Q_d \cdot C_d \quad (4.5)$$

де Q_d — річна потреба в дизельному паливі, л/рік;

C_d — ціна дизельного палива, грн/л.

$$B_d = 14440 \cdot 58 = 837520 \text{ грн/рік}$$

Річні витрати на біопаливо:

$$B_b = Q_b \cdot C_b \quad (4.6)$$

де Q_b — річна потреба в біопаливі, л/рік;

C_b — ціна біопалива, грн/л.

$$B_b = 14150 \cdot 42 = 594300 \text{ грн/рік}$$

Річна економія на паливі становить:

$$E_n = B_d - B_b \quad (4.7)$$

$$E_n = 837520 - 594300 = 243220 \text{ грн/рік}$$

З урахуванням точніших значень, отриманих під час розрахунку, річна економія становить близько 243343 грн/рік.

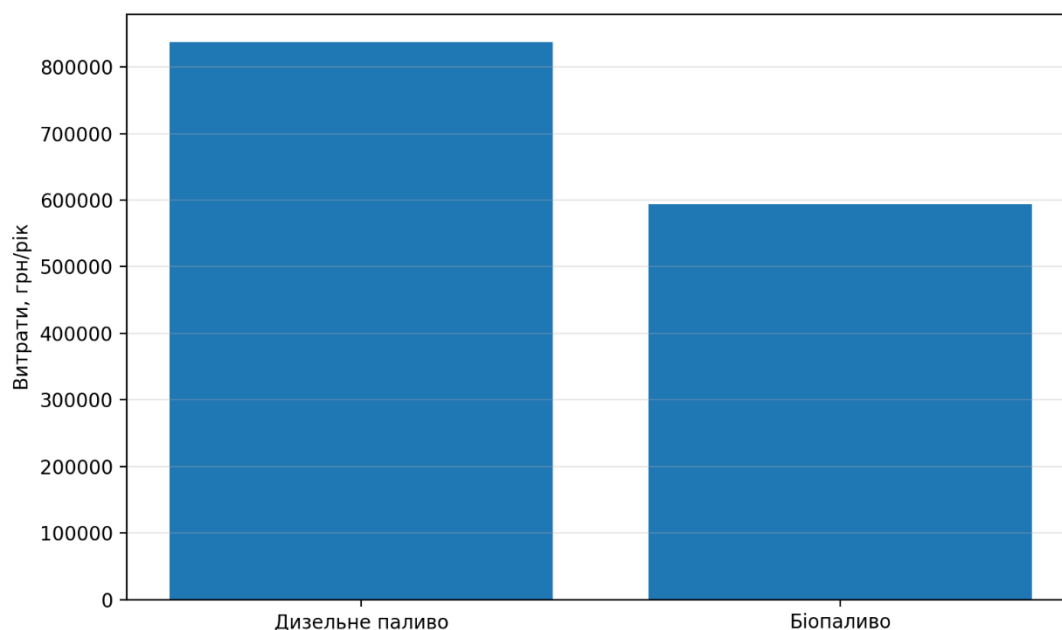


Рисунок 4.2 – Порівняння річних витрат на паливо

4.6 Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію

Капітальні вкладення включають витрати на придбання або виготовлення додаткових елементів системи живлення, встановлення теплообмінника, монтаж електромагнітних клапанів, паливопроводів, фільтрів, терморегулятора та виконання монтажних робіт.

Таблиця 4.3 – Капітальні вкладення в модернізацію системи живлення

Найменування елемента	Вартість, грн
Бак для біопалива	8500
Теплообмінник-підігрівач	12000
Електромагнітні клапани та запірні крани	6500
Фільтри й паливопроводи	5200
Датчик температури і терморегулятор	3800
Монтажні роботи	9000
Разом	45000

Загальні капітальні вкладення визначаються як сума витрат на всі елементи:

$$K = 8500 + 12000 + 6500 + 5200 + 3800 + 9000 = 45000 \text{ грн}$$

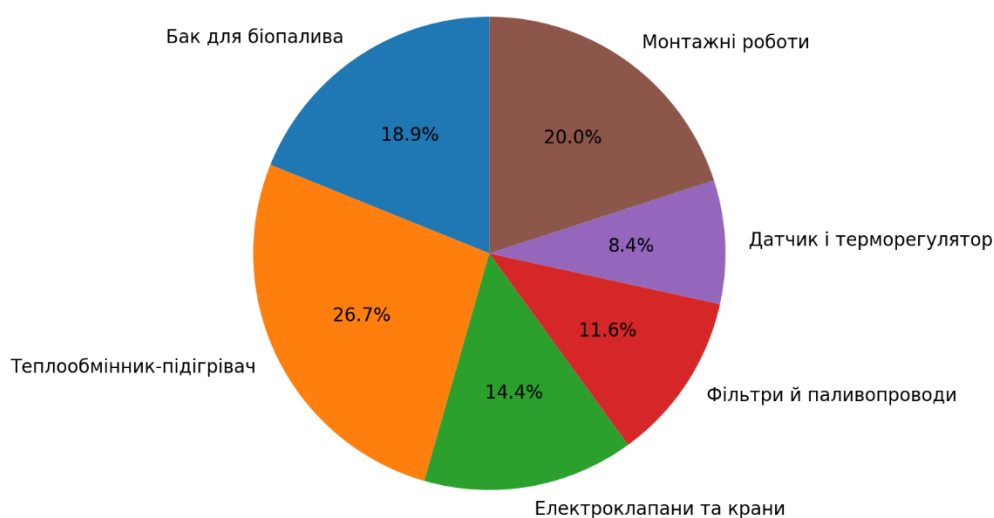


Рисунок 4.3 – Структура капітальних вкладень у модернізацію

З таблиці видно, що найбільшу частку витрат становить теплообмінник-підігрівач, оскільки він є основним елементом, який забезпечує стабільну роботу системи на біопаливі. Також значну частку займають монтажні роботи та додатковий паливний бак.

4.7 Розрахунок додаткових експлуатаційних витрат

Під час роботи двигуна на біопаливі можливе збільшення витрат на технічне обслуговування. Це пов'язано з необхідністю частішого контролю фільтрів, перевірки герметичності паливопроводів, зливу води з фільтра-сепаратора та контролю стану ущільнень. Для розрахунку приймаємо додаткові витрати на технічне обслуговування: $V_{\text{то}} = 3000$ грн/рік.

Чиста річна економія визначається за формулою:

$$E_{\text{ч}} = E_{\text{п}} - V_{\text{то}} \quad (4.8)$$

де $E_{\text{п}}$ — річна економія на паливі;

$V_{\text{то}}$ — додаткові витрати на технічне обслуговування.

$$E_{\text{ч}} = 243343 - 3000 = 240343 \text{ грн/рік}$$

Отже, після врахування додаткового технічного обслуговування чиста річна економія від використання біопалива становить 240343 грн/рік.

4.8 Розрахунок строку окупності модернізації

Строк окупності визначається як відношення капітальних вкладень до чистої річної економії:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\text{ч}}} \quad (4.9)$$

де K — капітальні вкладення, грн;

$E_{\text{ч}}$ — чиста річна економія, грн/рік.

$$T_{\text{ок}} = \frac{45000}{240343} = 0,19 \text{ року} \quad (4.10)$$

У місяцях строк окупності становитиме:

$$T_{\text{ок.м}} = 0,19 \cdot 12 = 2,28 \text{ міс} \quad (4.11)$$

Отже, за прийнятих умов модернізація системи живлення окупається приблизно за 0,19 року, або близько 2–3 місяців експлуатації.

4.9 Розрахунок накопиченого економічного ефекту

Накопичений економічний ефект за декілька років експлуатації визначається за формулою:

$$E_{\text{нак}} = E_{\text{ч}} \cdot n - K \quad (4.12)$$

де n — кількість років експлуатації.

Таблиця 4.4 – Накопичений економічний ефект від модернізації

Рік експлуатації	Накопичений економічний ефект, грн
0	-45000
1	195343
2	435686
3	676029
4	916372

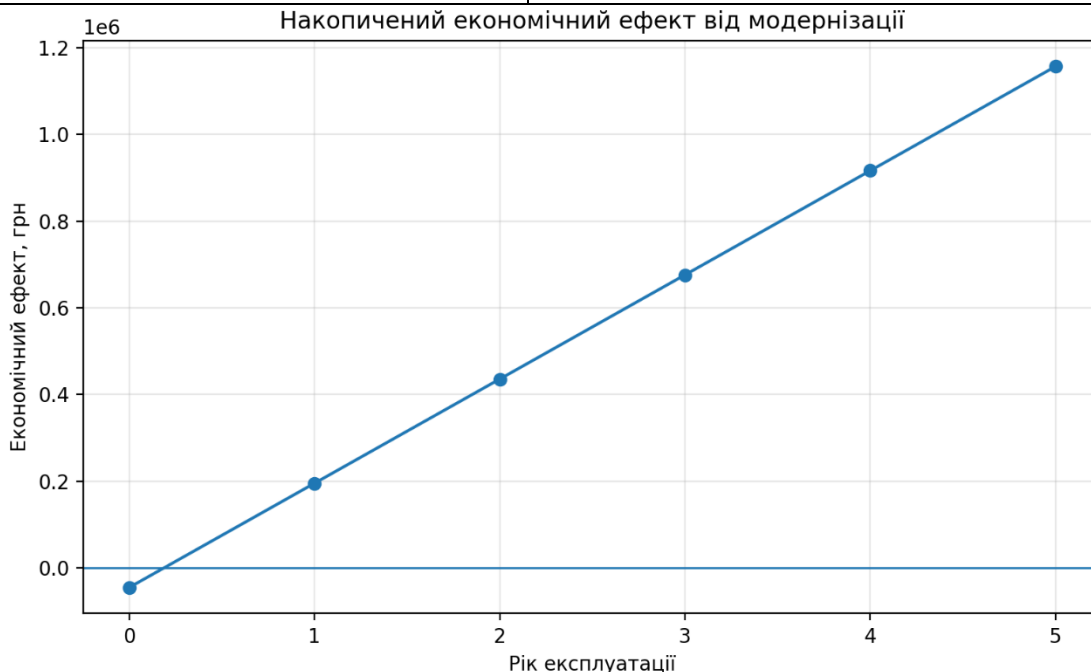


Рисунок 4.4 – Накопичений економічний ефект від модернізації

З таблиці видно, що вже протягом першого року експлуатації модернізована система повністю окупається та забезпечує позитивний економічний результат. За п'ять років експлуатації накопичений економічний ефект може перевищити 1,15 млн грн.

4.10 Порівняльна оцінка роботи двигуна на дизельному паливі та біопаливі

Порівняння двох варіантів експлуатації показує, що при переході на біопаливо економічна ефективність досягається насамперед завдяки нижчій вартості палива. При цьому технічні показники двигуна залишаються прийнятними для виконання більшості сільськогосподарських операцій.

У технологічній частині було встановлено, що при роботі на біодизелі ефективна потужність двигуна Д-65Н на номінальному режимі становить 44,70 кВт, тоді як при роботі на дизельному паливі — 47,80 кВт. Зниження потужності пояснюється нижчою теплотою згоряння біопалива. Разом із тим різниця не є

критичною, оскільки трактор ЮМЗ-6АК здебільшого працює на змінних режимах навантаження, а частина робіт не потребує повної номінальної потужності двигуна.

Таблиця 4.5 – Порівняння основних техніко-економічних показників

Показник	Дизельне паливо	Біопаливо
Потужність на номінальному режимі, кВт	47,80	44,70
Масова витрата палива, кг/год	12,13	12,45
Об'ємна витрата палива, л/год	14,44	14,15
Річна потреба в паливі, л/рік	14440	14150
Ціна палива, грн/л	58	42
Річні витрати на паливо, грн	837548	594205
Річна економія, грн	—	243343

Отже, незважаючи на незначне зниження потужності, використання біопалива дозволяє суттєво зменшити витрати на експлуатацію трактора. Найбільший економічний ефект буде досягнуто в тих господарствах, які мають власну сировинну базу для виробництва біопалива або можуть отримувати його за ціною, нижчою за вартість нафтового дизельного палива.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті на тему «Модернізація системи живлення дизеля для роботи на біопаливі» розглянуто питання переобладнання дизельного двигуна Д-65Н трактора ЮМЗ-6АК для забезпечення його роботи на традиційному дизельному паливі та біологічному паливі. Актуальність теми зумовлена необхідністю зменшення витрат на нафтові палива, підвищення енергетичної незалежності сільськогосподарського виробництва та зниження шкідливого впливу машинно-тракторних агрегатів на навколишнє середовище.

У першому розділі виконано аналіз стану питання використання біопалива в дизельних двигунах. Встановлено, що біопаливо має низку переваг порівняно з традиційним дизельним паливом, зокрема відновлюваність сировинної бази, кращу змащувальну здатність, нижчий вміст сірки та здатність зменшувати димність відпрацьованих газів. Разом з тим визначено, що біопаливо має підвищену в'язкість, більшу густину, нижчу теплоту згоряння, здатність поглинати вологу та схильність до утворення відкладень. Саме ці властивості створюють потребу в модернізації системи живлення дизельного двигуна.

У технологічній частині об'єктом модернізації обрано трактор ЮМЗ-6АК із дизельним двигуном Д-65Н. Обґрунтовано доцільність переобладнання цього двигуна завдяки його простій конструкції, високій ремонтпридатності, наявності механічної паливної апаратури та поширеності в сільськогосподарському виробництві. Проаналізовано властивості біологічних палив і встановлено, що для стабільної роботи двигуна необхідно забезпечити якісну фільтрацію, підігрів палива, захист паливної апаратури від води та можливість перемикання між дизельним паливом і біопаливом.

У роботі запропоновано модернізовану двопаливну систему живлення двигуна Д-65Н. Вона передбачає використання окремого бака для біопалива, бака для дизельного палива, системи фільтрації, електромагнітних клапанів, паливопроводів, паливного насоса високого тиску, форсунок і підігрівача-теплообмінника. Така схема дозволяє запускати та прогрівати двигун на дизельному паливі, після досягнення робочої температури переводити його на біопаливо, а перед зупинкою

знову промивати паливну апаратуру дизельним паливом. Це зменшує ризик утворення відкладень у ПНВТ, форсунках і паливопроводах.

У результаті аналізу способів підігріву палива встановлено, що найбільш раціональним для двигуна Д-65Н є використання тепла охолоджувальної рідини двигуна. Запропоновано конструкцію теплообмінника зі змійовиком, який забезпечує підігрів біопалива до температури 25–30 °С. Такий температурний режим дає змогу знизити в'язкість біопалива, покращити його прокачуваність, зменшити навантаження на паливopідкачувальний насос і забезпечити стабільне проходження палива через фільтри.

У розрахунковій частині виконано тепловий розрахунок двигуна при роботі на дизельному паливі та біопаливі. Порівняння результатів показало, що переведення двигуна Д-65Н на біопаливо не спричиняє критичних змін параметрів робочого циклу. Водночас через нижчу теплоту згоряння біопалива ефективна потужність двигуна дещо зменшується. За результатами швидкісної характеристики потужність на номінальному режимі при роботі на дизельному паливі становить 47,80 кВт, а при роботі на біодизелі — 44,70 кВт. Таке зниження є допустимим для більшості сільськогосподарських операцій і може бути частково компенсоване коригуванням циклової подачі палива.

У розділі охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час виробництва, зберігання й використання біопалива, а також під час обслуговування модернізованої системи живлення. Визначено вимоги до безпечного поводження з паливом, зберігання горючих рідин, організації робочого місця, застосування засобів індивідуального захисту, пожежної безпеки та захисту навколишнього середовища. Дотримання цих вимог дозволяє знизити ризик виникнення пожеж, травмування персоналу, забруднення ґрунту, води та повітря.

У техніко-економічній частині визначено економічну доцільність запропонованої модернізації. Капітальні вкладення в переобладнання системи живлення становлять 45000 грн. Річні витрати на дизельне паливо за прийнятих умов становлять близько 837548 грн, а витрати на біопаливо — близько 594205 грн. Річна економія на паливі становить 243343 грн, а чиста річна економія з урахуванням

додаткового технічного обслуговування — 240343 грн. Строк окупності модернізації становить приблизно 0,19 року, або 2–3 місяці експлуатації.

Отже, запропонована модернізація системи живлення дизеля Д-65Н для роботи на біопаливі є технічно обґрунтованою та економічно доцільною. Вона дозволяє забезпечити паливну гнучкість трактора ЮМЗ-6АК, зменшити витрати на експлуатацію, підвищити рівень використання відновлюваних енергетичних ресурсів і знизити екологічне навантаження від роботи дизельного двигуна. Розроблена система може бути рекомендована для впровадження в сільськогосподарських підприємствах, які мають доступ до біопалива або власної сировинної бази для його виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельниченко В.І. Способи поліпшення екологічних, паливних та потужнісних показників трактора Т-150К в умовах рядової експлуатації.- Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.- Дніпропетровськ, 2005.- Вип. 60.- С. 183-186.
2. Мельниченко В.І., Лифенко Р.А., Головченко С.С., Чуйко А.Ю. Показники роботи трактора Т-150К з дизелем СМД-62 з серійним паливним насосом і універсальним регулятором.- Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук праць/ Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.- Дніпропетровськ, 2006.- Вип. 63.- С. 217-221.
3. Охмат П.К., Мельниченко В.І., Бойко В.Б., Клименко О.В., Чупілко А.Ю. Показники роботи трактора Т-150К з дизелем СМД-62 зі серійним паливним насосом і від'ємним коректором.- Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. № 1, 2010.- С. 84-87.
4. Мельниченко В.І. Деякі загальні відомості про особливості виробництва, будови і роботи сучасних транспортних засобів ведучих фірм світу: Монографія.- Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016.- 186 с.
5. Г.А. Вершина, О. С. Бистренков. Способи організації робочого процесу біодизельного двигуна Г. Наука та техніка. – БНТУ. – 2017. – №17. С.383-389
6. Б. С. Маріянко. Дослідження впливу на показники біодизеля вдосконалення системи живлення застосуванням пристрою підігріву палива. Наукові праці ВНТУ. – 2014, № 2. – С. 24-29
7. Калетнік Г.М., Гончарук І.В. Економічні розрахунки потенціалу виробництва відновлювальної біоенергії у формуванні енергетичної незалежності агропромислового комплексу. Економіка АПК. 2020. № 9. С. 6–16.
8. Мазур К.В., Гонтарук Я.В. Тенденції та умови ефективного функціонування сировинної бази підприємств АПК. The scientific heritage. 2020. N 49. P. 5. p. 29–39.
9. Furman I.V., Ratushnyak N.O. (2021). Perspektyvy vyrobnytstva biopalyv v umovakh reformuvannya zemel'nykh vidnosyn [Prospects for the production of biofuels in

terms of reforming land relations]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktual'ni pytannya nauky i praktyky*, 3 (57), 53–68.

10. Кобець А.С., Бутенко В.Г., Дирда В.І., Кухаренко П.М., Улексін В.О., Мельниченко В.І., Яцук В.М. Деякі аспекти використання біологічного палива на основі метилового ефіру рослинного походження/ *Геотехнічна механіка. Збірник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України*. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 70. – С. 155-161.

11. Патент на корисну модель № 125234. Система живлення дизельного двигуна з електронним регулюванням складу суміші. Гунько І. В, Пришляк В. М., П'ясецький А. А. Патент опубліковано 10.05.2018, бюл. № 9

12. А.с. № 821776 МКІ F15B 21/04. Система регулювання температури робочої рідини /С І. Васільєв, В.А., В.П. Павлов. - 3 с: іл. Бюлетень №12 від 15.04.91.

13. Трактори Білорусь MTЗ-1221. Керівництво по експлуатації трактора. – Мінськ, 2010. – 117 с.

14. Яцковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ / В. І. Яцковський, І. В. Гунько, О. В. Гуцаленко. – Вінниця : РВВ ВНАУ, 2016. – 132 с.

15. Улексін В.О. Тягово-динамічні якості і паливна економічність тягово-транспортних машин: Методичні вказівки до першої частини розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Трактори та автомобілі» «Розрахунок автотракторного двигуна».- Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2015. 76 с.

16. Ніколаєнко А.В. Теорія, конструкція та розрахунок автотракторних двигунів / О.В. Ніколаєнко. -М. : Колос, 1984. - 335 с., Іл.

17. Сандомирський М. Г. Трактори та автомобілі. Ч. І. Автотракторні двигуни : навч. посіб. / [М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко, А. Т. Лебєдєв та ін.] ; за ред. проф. А. Т. Лебєдєва. – К. : Вища школа., 2000. – 357 с. : іл.

18. Миронов, М.Р. Брижа, В.Б. Бойко, О.В. Золотовська. Теплотехніка.- К.: ІНКОС, 2005. – 400 с.

19. Закон України «Про охорону праці» в редакції від 21 листопада 2002 р.

20. Саун М. М.Основи охорони праці: навч.- метод.посіб. / М.М. Саун, І.В. Москалюк. – Одеса: ВМВ, 2010. – 160 с.

21. Гряник Г. М. Охорона праці: підруч. / Г.М. Гряник, С.Д. Лехман, Д.А. Бутко та ін. – К.: Урожай, 1994. – 272 с.
22. С.С. Черниш. Економічний аналіз. - К: видавничий центр учбової літератури, 2010. – 313 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Результати теплового розрахунку дизеля Д-65Н при роботі на біопаливі

Результати розрахунків			
N	Назва показника	Позн.	Значення
1	Парам. залишкових газів	P_r	0,105
2	Прийнята температура . ВГ	T_r	800
3	ВПУСК : втрати тиску. в вп. сист.	ΔP_a	0,012
4	Коеф. залишкових газів	γ_r	0,028
5	Підігрів на впуску	ΔT	10
6	Коеф. наповнення	η_v	0,84
7	Температ. в кінці впуску	T_a	311,4
8	Стиск: показ. політропи стиску	n_1	1,346
9	Тиск. в кінці стиску	P_c	4,09
10	Темпер. в кінці стиску	T_c	835,12
11	Мольн. тепл. в кінці стиску	MC_{vc}	21,61
12	Горіння: коеф. викор. тепла	ξ	0,85
13	Ступінь підвищення тиску	λ	1,6
14	А	$MC_{p\pi}$	29,89
15	В	$MC_{p\pi}$	0,00241
16	Темп. в кінці горіння	T_π	2083,35
17	Тиск. в кінці горіння	P_π	6,55
18	Розшир: ступінь попереднього розшир.	ρ	1,63
19	Показ. політр. розширення	n_2	1,292
20	Тиск в кінці розширення	P_b	0,31
21	Температура в кінці розширен.	T_b	1045
22	Випуск: розрах. темп. в кінці вип.	T_r'	780,36

Додаток Б

Результати теплового розрахунку двигуна Д-65Н при роботі на дизелі

Результати розрахунків			
N	Назва показника	Позн.	Значення
1	Частота обертання колінчастого валу	n	1800
2	Номінальна потужність	Ne	47,8
3	Число циліндрів	i	4
4	Ступінь стиску	ε	17,3
5	Коеф. надлишку повітря	a	1,6
6	Нижня теплота згорання дизеля	Q_H	42,5
7	Парам.роб.тіла: вуглецю	C	0,857
8	водню	H	0,133
9	кисню	O	0,01
10	Молекулярна маса парів палива	M_m	190
11	Параметри навк. Серед.: тиск	P_o	0,1
12	температура	T_o	288
13			
14	Парам. залишкових газів	Pr	0,105
15	Прийнята температура . ВГ	Tr	800
16	ВПУСК : втрати тиску. в вп. сист.	ΔPa	0,012
17	Коеф. залишкових газів	γ_r	0,028
18	Підігрів на впуску	ΔT	15
19	Коеф. наповнення	γ_v	0,83
20	Температ. в кінці впуску	T_a	316,5
21	Стиск: показ. політропи стиску	n_1	1,346
22	Тиск. в кінці стиску	P_c	4,09
23	Темпер. в кінці стиску	T_c	848,75
24	Мольн. тепл. в кінці стиску	MC_{vc}	21,63
25	Горіння коеф. викор. тепла	ξ	0,85
26	Ступінь підвищення тиску	λ	1,6
27	A	$MC_{p\tau}$	29,089
28	B	$MC_{p\tau}$	0,00241
29	Темп. в кінці горіння	T_z	2073,71
30	Тиск. в кінці горіння	P_z	6,55
31	Розшир: ступінь попереднього розшир.	ρ	1,59
32	Показ. політр. розширення	n_2	1,292
33	Тиск в кінці розширення	P_b	0,30
34	Температура в кінці розширен.	T_b	1032
35	Випуск: розрах. темп. в кінці вип.	Tr'	772,12