

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет біоресурсів та природокористування України

**ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО
БІОПАЛИВА**

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ

МОНОГРАФІЯ

За редакцією доктора технічних наук,
професора Голуба Г.А.

Київ
НУБіП України
2017

УДК 631.371:620.92
ББК 40.72
Г62

*Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України
(протокол № 1 від 26.08.2016 р.)*

Рецензенти:

Кравчук В. І. – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН України, директор Державної наукової установи «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Л. Погорілого;

Миرونенко В. Г. – доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства НААН України;

Войтюк В. Д. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка

Голуб Г. А.

Г62 Виробництво та використання дизельного біопалива. Механіко-технологічні основи: монографія. / Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В.; за ред. Г. А. Голуба. – К.: НУБіП України, 2017. – 340 с.

У монографії наведено основні принципи виробництва дизельного біопалива на основі рослинних олій з використанням гідромеханічного перемішування, а також використання дизельного біопалива для роботи машино-тракторних агрегатів при виконанні польових робіт з використанням системи двохступеневого підігріву дизельного біопалива.

Монографія призначена для наукових співробітників, аспірантів, конструкторів сільськогосподарської техніки, студентів та фахівців сільського господарства.

ISBN 978-617-7396-47-4

© Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Чуба В. В., 2017
© НУБіП України, 2017

ВСТУП

Антропогенне збільшення викидів парникових газів призводить до глобального потепління клімату. Дослідженнями науковців встановлено, що при піднятті температури на 2 °С від дефіциту води постраждає 0,5 млрд., а на 3 °С – 3 млрд. людей. Це буде потрясінням для світової економіки та призведе до соціально-економічного напруження.

Україна відноситься до країн, які мають дефіцит власних енергоносіїв і може забезпечити свої потреби за рахунок власних енергоносіїв лише на 50 %, в тому числі в нафті – на 10-12 %, у природному газі – до 30 %, що створює загрозу енергетичній безпеці країни.

Уведення в енергетичний баланс України біологічних видів палива, які за своєю природою є поновлюваними ресурсами акумульованої сонячної енергії – одне з актуальних завдань сьогодення. Це дасть змогу зменшити використання викопних непоновлюваних джерел енергії, забруднення природного середовища токсичними речовинами та парниковими газами.

Використання біологічних видів палива зумовлює необхідність збалансування харчових, сировинних та енергетичних потреб суспільства з можливостями агроєкосистем при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття.

Потребують вирішення завдання мінімізації додаткових витрат на надання біологічним паливам споживчих якостей. Особливої актуальності це набуває при зростанні рівня механізації виробництва та цін на високоенергетичні непоновлювані джерела енергії й одночасному збільшенні вимог до охорони довкілля як середовища існування людини.

Однак поширення використання біологічних енергоресурсів є досить складною проблемою і потребує додаткових витрат на надання їм споживчих якостей.

Сучасні споживачі палива технологічно та технічно налаштовані на використання концентрованих непоновлюваних джерел енергії, а підвищення

рівня енергетичної автономності сільськогосподарського виробництва за рахунок використання поновлюваних біологічних енергоресурсів потребує значних капітальних витрат, у тому числі на науково-дослідні, дослідно-конструкторські та технологічні розробки.

У сучасних умовах розвитку суспільства недостатньо практичного досвіду, наукових напрацювань і досліджених закономірностей для визначення конструктивно-технологічних параметрів машин та обладнання, які дали б змогу збільшити рівень енергоавтономності сільськогосподарського виробництва шляхом використання поновлюваних біологічних енергоресурсів.

Щорічний дефіцит палива для виконання основних польових робіт, який зумовлений більшими темпами росту цін на викопні види палива порівняно з ростом цін на сільськогосподарську продукцію, потребує зосередження зусиль на розробці методів та технічних засобів для забезпечення енергоавтономності сільськогосподарського виробництва. Крім того, виробнича та енергетична диверсифікація забезпечує збільшення зайнятості сільського населення, зокрема в зимовий період, що в сучасних умовах є істотним фактором соціально-економічної політики.

Оптимальним варіантом збільшення використання поновлюваних біологічних енергоресурсів є підвищення ефективності використання біологічних видів палива та рівня енергетичної автономності сільськогосподарського виробництва при науковому обґрунтуванні рівня використання біологічних видів палива, розробці удосконалених технологічних процесів та технічних засобів для виробництва й використання біологічних видів палива.

Вичерпання викопних джерел енергетичної сировини, з одного боку, та збільшення потреби в енергії з іншого, викликають підвищення зацікавленості до застосування моторних палив, одержаних з біологічної сировини.

Одним з основних напрямків вирішення енергетичної проблеми є перехід на використання палива з власних поновлювальних ресурсів для транспортних засобів із дизельними та карбюраторними двигунами внутрішнього згоряння,

що безпосередньо пов'язані з вирощуванням олійних культур і рослин з великим вмістом крохмалю та цукру [1].

В Україні на сьогодні потребу в нафті і нафтопродуктах постачальники забезпечують на 80-90% за рахунок імпорту. Сезонний ріст цін на дизельне паливо обумовлений виконанням польових робіт і призводить до росту собівартості виробництва продукції сільського господарства. Крім того, використання нафтопродуктів в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння негативно впливає на екологічний стан навколишнього середовища.

Для підвищення енергетичної незалежності України і зменшення забруднення навколишнього середовища необхідно вирішувати питання про часткове переведення мобільних енергетичних засобів на біопалива, із яких особливу увагу заслуговує виробництво і використання дизельного біопалива (ДБП) на основі рослинних олій.

Виробництво дизельного біопалива найбільш доцільно організовувати в господарствах які виробляють насіння ріпаку, мають склад паливно-мастильних матеріалів із заправною станцією, яка виконана із дотриманням вимог охорони праці та техніки безпеки. Це обумовлено тим, що при виробництві дизельного біопалива безпосередньо в господарстві зменшуються витрати на транспортування зерна ріпаку, а шрот ріпаку можна використати в якості білкової добавки до кормів у тваринництві.

Виробництво олійних культур займає одну із лідируючих позицій в структурі виробництва продукції рослинництва і взагалі всього сільськогосподарського виробництва України. У структурі валової продукції сільського господарства на дані культури в середньому припадає до 35 % від загального обсягу виробництва у всіх категоріях господарств. Для сільськогосподарських підприємств, головних виробників даної продукції, частка олійних культур досягає 60 % [2]. За таких умов, враховуючи, що показники ефективності роботи аграрного сектора розраховуються саме по роботі сільськогосподарських підприємств, ситуація на ринку попиту і пропозиції відповідної продукції є визначальною для загальних оцінок

ефективності роботи всього аграрного сектора країни. З точки зору продовольчої безпеки, обсяги внутрішнього виробництва повністю забезпечують внутрішню потребу у відповідній продукції, залишаючи певні об'єми для створення експортного потенціалу та сировини для виробництва біопалив.

Значну частину собівартості сільськогосподарської продукції складають енергетичні витрати. Рахунки за оплату енергоносіїв зростають кожного року і така тенденція суттєво знижує рентабельність сільськогосподарських підприємств. Аграрний сектор економіки – значний споживач енергії, особливо нафтопродуктів. Для проведення сільськогосподарських робіт щороку потрібно майже 1,4 млн. т дизельного палива та 224 тис. т бензину [3]. У вирішенні цього питання привертає увагу дизельне біопаливо, як екологічно чистий вид палива, що відноситься до поновлюваних ресурсів, які можна виробляти на основі сировини, вирощеної на власному полі.

Сільське господарство може бути галуззю, яка забезпечує не тільки продовольчу безпеку країни, а й значною мірою може впливати на власну енергетичну автономність та може створити конкурентне середовище на ринку нафтопродуктів, що реалізуються в аграрному секторі.

В НДІ техніки і технологій НУБіП України розроблено технологію виробництва дизельного біопалива, спроектовано, виготовлено та змонтовано установки по виробництву дизельного біопалива і проведено дослідження по відпрацюванню технологічних режимів роботи обладнання. Розроблено енергоощадну технологію виробництва дизельного біопалива із застосуванням гідромеханічного та гідравлічного перемішування.

Незважаючи на те, що прибуток від реалізації насіння ріпаку може перевищувати прибуток від виробництва дизельного біопалива, таке виробництво необхідно розвивати по тій причині, що ресурси викопного палива постійно зменшуються і це обумовлює стійкий ріст цін на дизельне паливо.

Наведені в монографії результати досліджень виробництва та використання дизельного біопалива із застосуванням гідравлічного

перемішування і двохступеневої системи підігріву дизельного біопалива можуть бути використані для організації виробництва та використання дизельного біопалива для мобільних енергетичних засобів, при розробці технічних пропозицій по його виробництву безпосередньо в сільськогосподарських підприємствах, підборі необхідного обладнання, проведенні техніко-економічної оцінки виробництва, а також під час навчання виробничого персоналу.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА НА ОСНОВІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

1.1. Актуальність виробництва дизельного біопалива із рослинної олії в Україні

В сучасних умовах господарювання всі механізовані роботи неможливі без палива, особливо дизельного, адже від 60 до 80% технологічних операцій виконується на дизельному паливі. Поряд з цим економічна ефективність сільського господарства залежить від вартості дизельного палива, ціна якого помітно росте, адже запаси нафти з кожним роком зменшуються. У зв'язку з цим виникає потреба шукати заміну мінеральному дизельному паливу. Реальною альтернативою традиційному дизельному паливу за своїми властивостями є дизельне біопаливо у вигляді метилового ефіру [4, 5, 6].

Основною сировиною для виробництва дизельного біопалива є рослинна олія, а саме: ріпакова, соняшникова, соєва, льняна, ріжійова та інші. Будь-яку з даних олій можна використати для виробництва дизельного біопалива, лише потрібно правильно підібрати концентрації хімічних компонентів, які використовуються при його виробництві. Однак існує проблема при використанні рослинної олії як сировини для виробництва дизельного біопалива – аграрії не завжди зацікавлені направляти зерно та олію на виробництво дизельного біопалива. Тому необхідно шукати шляхи зацікавленості виробників олії для її переробки в дизельне біопаливо [7, 8, 9].

Для виробництва дизельного біопалива необхідно удосконалювати технологічний процес виробництва дизельного біопалива та підвищувати його економічну ефективність без пониження якості виробленої продукції [7, 10].

Зниження ціни на рослинну олію для виробництва дизельного біопалива можливо досягнути шляхом її очищення за рахунок гравітаційного осадження замість широкоживаної фільтрації, адже обладнання для фільтрування дороге і

його доцільно використовувати на промисловому виробництві для отримання високоякісного продукту на харчові потреби [11].

Таким чином, необхідно розробити обладнання для гравітаційного осадження рослинної олії під потреби виробництва дизельного біопалива, а також удосконалити обладнання для виробництва дизельного біопалива.

1.2. Актуальність використання дизельного біопалива на основі рослинних олій

Використання поновлюваних джерел енергії з біологічної сировини передбачає забезпечення не лише економічної незалежності від країн експортерів енергоносіїв, а й поліпшення екологічної ситуації. Тільки автотракторний парк України за рік викидає в атмосферу двоокису вуглецю 32 млн. т, оксиду азоту 309,2 тис. т, вуглеводнів – 211,4 тис. т, двоокису сірки 43,8 тис. т [12, 13, 14].

Розвинуті країни світу масштабно проводять дослідження в даному напрямку і вже досить широко застосовують дизельне біопаливо, виготовлене на основі рослинних олій [15]. У 2011 році країнами Європейського союзу було вироблено та спожито 22 млн. т дизельного біопалива. Для США ця цифра становила – 3,5 млн. т [16]. В якості сировини для вироблення дизельного біопалива в країнах ЄС використовують ріпакову, в США та Бразилії – соєву олії.

Для сільськогосподарського виробництва, враховуючи існуючий потенціал та об'єми вирощування олійних культур [17, 18, 19], перспективним шляхом підвищення енергетичної незалежності є виробництво та використання дизельного біопалива на основі рослинних олій [20, 21, 22, 23].

Таким чином, для підвищення енергетичної незалежності України і зменшення забруднення навколишнього середовища необхідно вирішувати питання про часткове переведення мобільних енергетичних засобів на

біопалива, із яких особливу увагу заслуговує виробництво і використання дизельного біопалива на основі рослинних олій.

1.3. Аналіз технологічних процесів та технічних засобів для очистки рослинної олії

Як відомо, процес отримання рослинної олії багатоетапний і складається з таких операцій: очистка та зберігання зерна, підготовка зерна до переробки на олію, отримання олії, її рафінація, розлив або перекачування до резервуарів.

Очистка та зберігання зерна має такі технологічні процеси: очищення зерна від різних домішок, кондиціонування зерна в залежності від вологості, зберігання зерна в резервуарі [24, 25].

Насіннєва маса є неоднорідною сумішшю із зерен і олійних (частково пошкоджене або проросле зерно основної олійної культури), органічних (стебла рослин, листя, оболонки зерна) та мінеральних (земля, камені, пісок) домішок.

Очищення зерна від різних домішок виконують на очисних машинах-сепараторах, екструдерах-очисниках та каменевідбірниках [25, 26].

Для довготривалого зберігання насіння вологість зменшують на 2-3% нижче за критичну шляхом сушіння зерна. На виробництві це здійснюють у промислових сушарках шахтного та барабанного типів, а також використовують сушарки з киплячим шаром та метод активного вентилявання в зерносховищах, шляхом продування повітря через насіннєву масу. Кондиціонування зерна покращує його технологічні властивості [25, 27].

Підготовка зерна до виробництва олії передбачає: обрушення насіннєвої лузги; розподіл обрушеної маси на фракції; подрібнення ядра насіння; обрушування зерна та відділення ядра від оболонки (соняшник, бавовник), яке використовується лише для лузгопокритих видів рослин. Обрушування – руйнування оболонок олійних зерен виконується декількома способами [24, 25, 28]: розколюванням оболонки ударом (соняшник); стисканням оболонки;

розрізанням оболонки (бавовник); обдиранням оболонки об шорсткі поверхні (конопля) [25].

Робочі органи в машинах для лущення насіння мають різне функціональне призначення, а саме: відцентрові насіннерушки, ножові і вальцеві лущилки та інші. Недоліком цих методів лущення є часткове руйнування ядра, поява січення і олійного пилу [25]. Із сучасних шляхів обрушення насіння найбільший інтерес виявляють два методи [25, 29, 30]: аеродинамічний та створення критичного тиску в середині насінини (у електромагнітному полі надзвукової частоти, багатократною зміною тиску, одноразовим скиданням тиску).

Основною цінністю цих методів є те, що ядро не зазнає значного руйнування, не утворюється насіннєва січка та олійний пил. Але є і недоліки: дороге обладнання та неощадливе енерговикористання [25, 26].

Отримання олії здійснюють двома методами: пресуванням та екстракцією [24, 25, 28], на основі яких були розроблені наступні технології виробництва рослинних олій: одноразове пресування; двократне пресування – отримання олії за допомогою попереднього віджиму (форпресування) з наступним кінцевим дожиманням (експелерування); холодне пресування – отримання олії з насіння, яке попередньо не піддається волого-тепловій обробці; форпресування-екстракція – попереднє знежирення олії методом форпресування з подальшим його отриманням шляхом екстракції бензином; пряма екстракція – використання розчинника, без здійснення попереднього знежирення.

Для віджимання олії застосовують преси різних конструкцій. Шнекові преси ділять на преси попереднього отримання олії – форпреси і преси кінцевого отримання олії – експелери.

Отримання олії методом екстракції органічними розчинниками ефективніше за пресовий метод, оскільки вміст олії в проекстрагованому матеріалі (шроті) менший 1% [25].

Екстракцію олії з насіння виконують двома шляхами: зануренням і ступінчастим зрошуванням [24, 25, 29].

До переваг екстракції зануренням можна віднести такі: простота конструкції апаратів, висока швидкість екстракції, безпека їх експлуатації. Недоліком способу є високий вміст домішок [25, 29, 30].

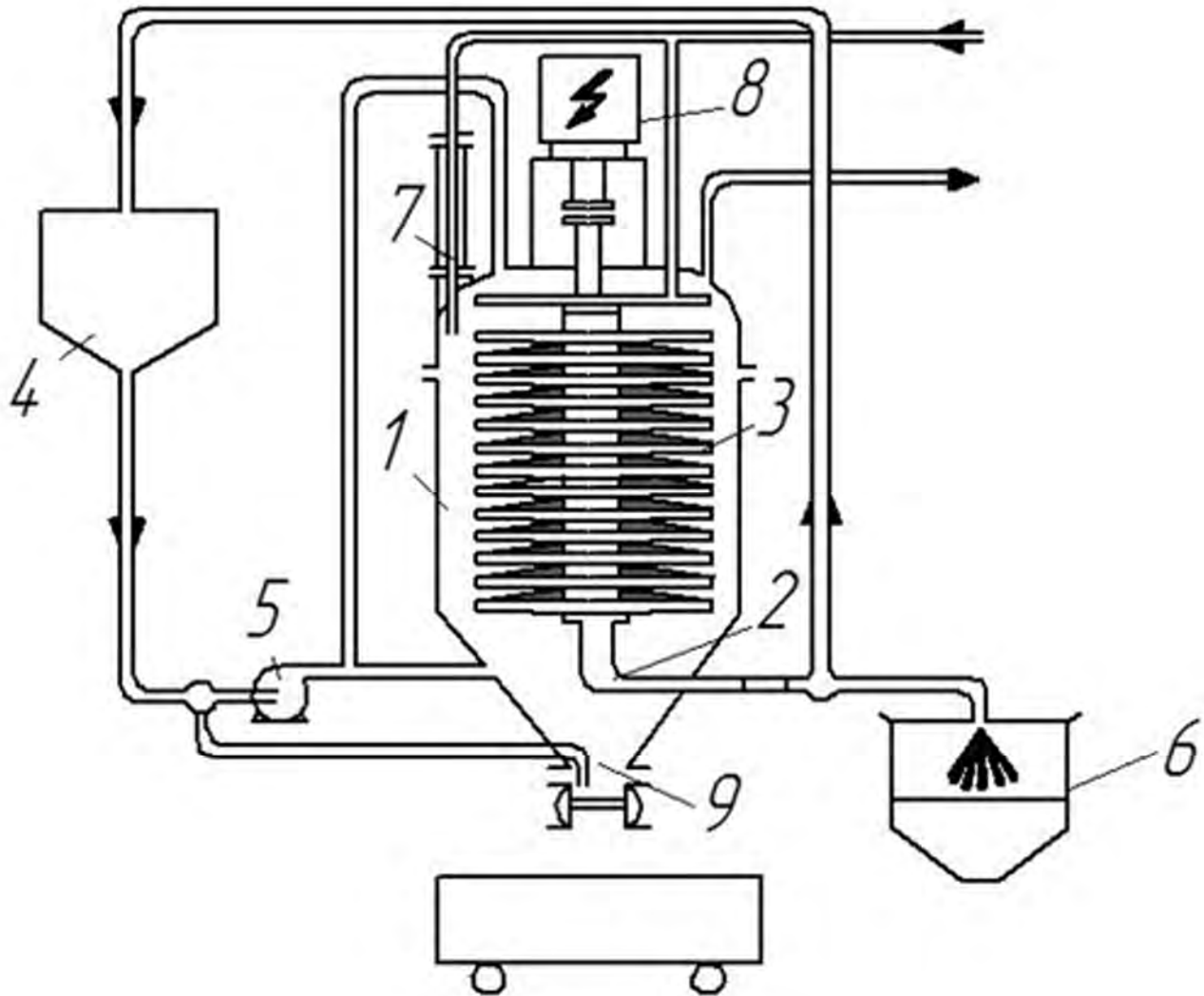
Найбільш поширеніший тип обладнання для фільтрації рослинної олії – це фільтрпрес. До його складу входять вертикально розміщені фільтрувальні осередки кількістю від 15 до 50, які закріплюються на горизонтальній станині. За будовою розрізняють камерні та рамкові фільтрпреси. Рамковий фільтрпрес складається із чавунних рам і плит, які обмотані фільтрувальною тканиною, за допомогою якої відбувається фільтрація в кожному самостійному осередку. Затримуваний фільтрувальною тканиною осад поступово заповнює раму, накопичуючись на її поверхні. Фільтрацію припиняють при підвищенні тиску понад норму або по заповненню рами осадом, після того фільтрпрес спорожняють та очищають [31, 32, 33].

Повітря при контакті з гарячою олією негативно впливає на її смак і колір, внаслідок окислення, тому фільтрат випускають з рам фільтрпреса через скляні трубки в закритий колектор. Рамкові фільтрпреси використовуються для фільтрації рідин зі значною кількістю осаду.

За допомогою фільтрації високоякісно видаляються тверді домішки. У фільтрах відсутні деталі, що обертаються і труться, це забезпечує їх тривалу і надійну службу. Але необхідність вивантаження осаду вручну є великим недоліком фільтрпресів. Для вивантаження осаду після фільтрації в останні роки стали застосовувати спеціальні фільтри з механічною операцією вивантаження. Система сітчастих дисків створює поверхню, що фільтрує, закріплену на порожнистий вертикальний або горизонтальний вал. Поверхня дисків покрита сталевим нержавіючим дротом, який заплетений в сітку, що фільтрує. Диски поміщаються в герметично закритий корпус [25, 32, 33].

Схема фільтрації рослинної олії із застосуванням вертикальних фільтрів системи Фонда показана на рис. 1.1. Вибілена олія з суспензійованою в ній

вибільною глиною з апарату 4 насосом 5 подається у фільтр 1. Осад затримується на дисках 3, а фільтрат через порожнистий вал 2 стікає в приймальний резервуар 6. Перший фільтрат завжди каламутний, тому він повертається в апарат 4 по обвідному трубопроводу. Коли осад утворює шар в 2-3 мм фільтрат світлішає і фільтр починає працювати нормально [20, 22, 34].



**Рис. 1.1. Схема фільтрації із застосуванням фільтрів системи Фонда
(позначення в тексті)**

Після накопичення осаду завтовшки 20-25 мм на фільтрувальних дисках продуктивність установки помітно знижується. В такому разі подачу олії припиняють і подають у фільтр водяну пару тиском 5-6 кг/см² через обладнання 7. Із проміжку фільтру 1 пара витісняє олію, що міститься в ньому, а також

поглинену вибільною глиною частину олії. Ця олія повертається на повторне рафінування з фільтру через патрубок 9. Не більше 10-20% жиру залишається після обробки паром у вибільній глині. За допомогою електродвигуна 8 фільтраційні диски починають обертатися розвиваючи швидкість 240-250 об/хв, рухомий сипкий осад під дією центробіжної сили скидається з поверхні дисків, зміщується в конічну частину фільтра і видаляється через відкриту заслінку у шнек або візок [32].

У деяких типах фільтрів за допомогою вібраційного механізму осад скидається з поверхні дисків [32].

Обладнання для відстоювання (гравітаційного осадження) за принципом дії ділиться на гравітаційні відстійники та відстійні центрифуги. За робочим режимом відстійники класифікують на періодичної, напівперіодичної та безперервної дії.

Обладнання для відстоювання періодичної дії представляє собою плоский басейн без перемішувачів. Упродовж необхідного для розподілу часу відстоюється суспензія. Потім, через штуцери, які розташовані вище за шар осаду, зливають освітлений шар рідини. Осад (шлам), який осів вивантажують вручну.

Через штуцер у відстійник напівперіодичної дії (рис. 1.2) подається суспензія знизу до верху та зверху до низу. За рахунок пристрою перегородок збільшується площа поверхні відстоювання і тривалість очистки суспензії [27, 35].

У промисловості саме відстійники безперервної дії отримали найбільше поширення. Відстійник (рис. 1.3) являє собою циліндричний резервуар з гребковою мішалкою, конічним днищем і внутрішнім кільцевим жолобом уздовж верхнього краю відстійника.

Мішалка з нахиленими лопатями обертається зі змінною частотою від 0,02 до 0,5 хв. На лопатях розташовані гребки за допомогою яких переміщується осад до розвантажувального люка. У середину резервуара по трубі безперервно подається суспензія. Із відстійника відводиться переміщена в

кільцевий жолоб освітлена рідина. За допомогою діафрагмового насоса видаляється механічний шлам. У відстійниках безперервної дії з гребками недоліком є їх громіздкість [27, 32, 35].

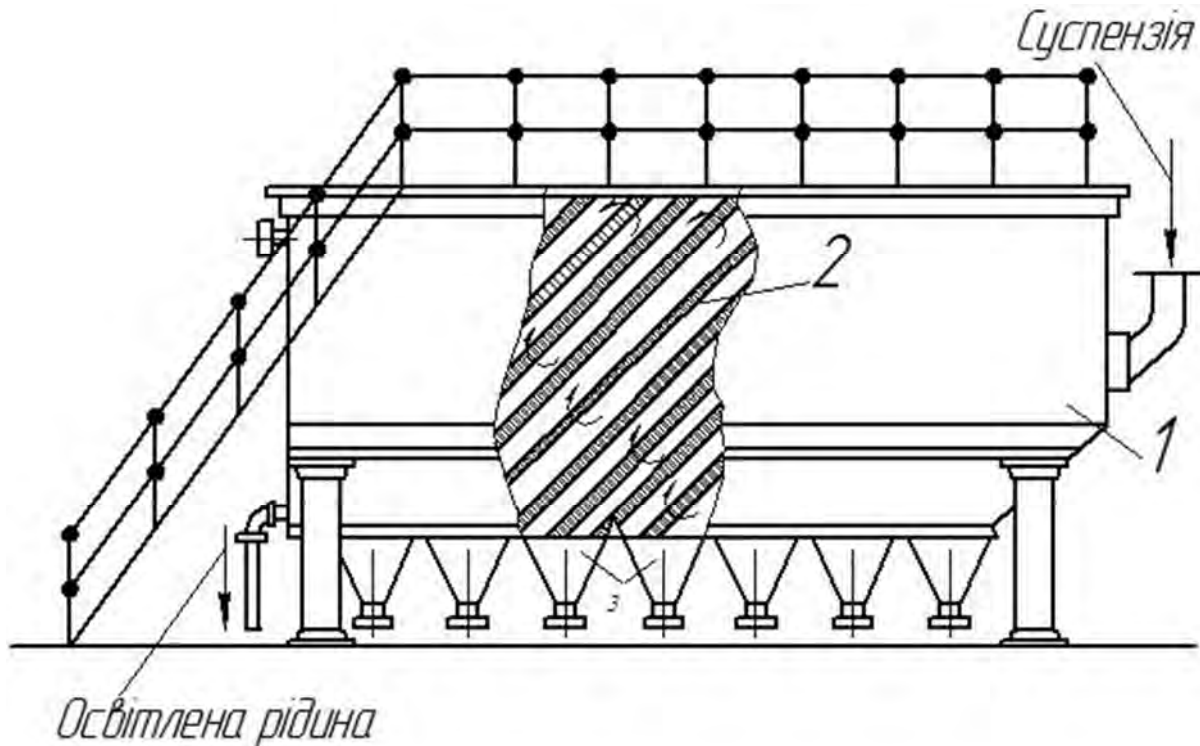
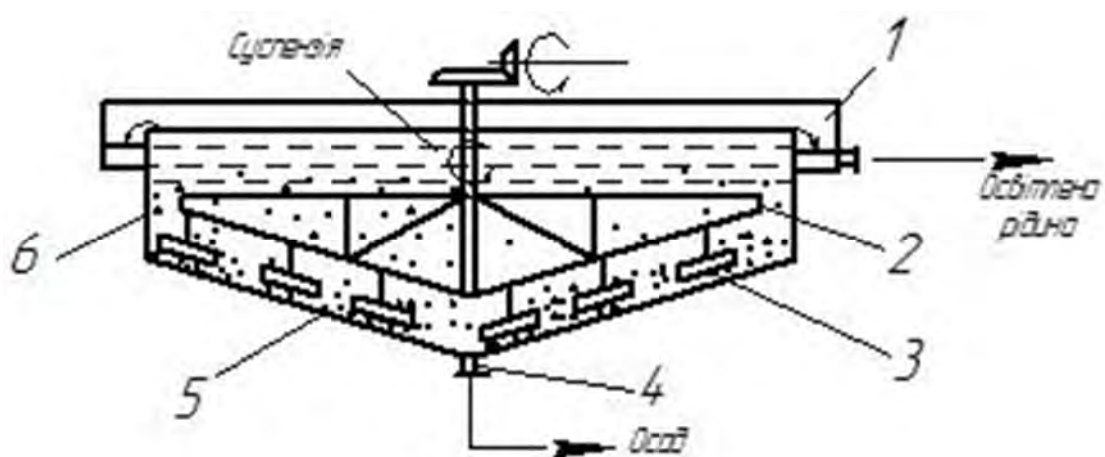


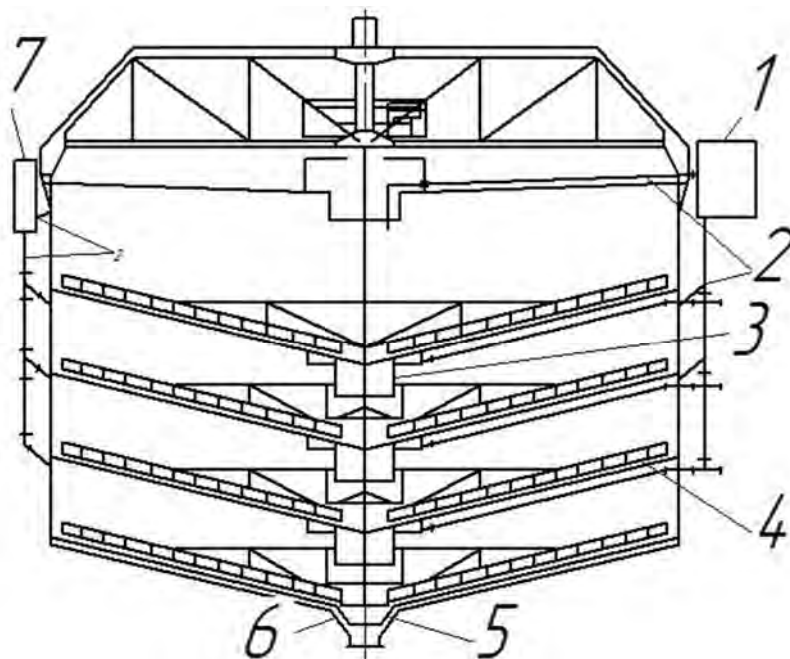
Рис. 1.2. Відстійник напівперіодичної дії з нахиленими перегородками



1 – кільцевий жолоб; 2 – мішалка; 3 – гребок; 4 – люк; 5 – конічне днище; 6 – циліндричний резервуар

Рис. 1.3. Відстійник безперервної дії з гребковою мішалкою

До безперервно діючих відстійників відносяться багатоярусні відстійники. Вони складаються з циліндричного резервуару з конічним днищем, декількох ярусів розміщених один над іншим, усередині яких є конічні перегородки, що розділяють відстійник на яруси (рис. 1.4). За рахунок багатоярусової системи відстійника збільшена площа поверхні відстоювання і понижена громіздкість установки. На загальному валу розташовані гребкові мішалки. Видалення шламу виконується за допомогою встановленого скребка лише з нижнього ярусу через розвантажувальний конус [27].

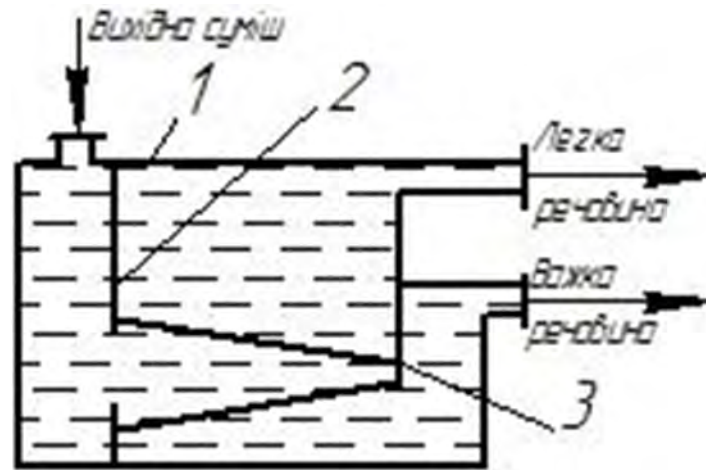


1 – розподільний пристрій; 2 – труби; 3 – стакан; 4 – гребкова мішалка;
5 – розвантажувальний конус; 6 – скребок; 7 – колектор

Рис. 1.4. Багатоярусний відстійник

У відстійнику для безперервної очистки емульсій (рис. 1.5) суміш подається через верхню горловину в ліву частину відстійника, а звідти поступово надходить в середню камеру сепарації. Для регулювання висоти рівня суміші слугують перегородки 2. Під дією сил тяжіння відбувається процес розділення неочищеної суміші на складові у камері сепарації. Рідина без механічних частинок рухається до кінця відстійника, де витікає через верхній

штуцер. Каламутна частина емульсії опускається під правою перегородкою 3 і через нижній штуцер витікає. Сполучені між собою посудини утворюють канали для виходу рідини [27, 35].



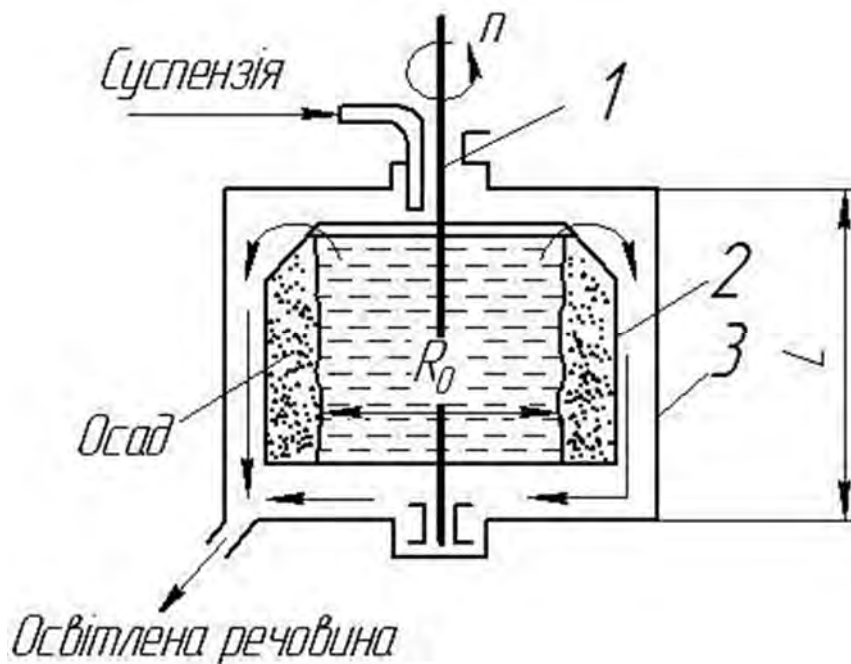
1 – корпус; 2 – ліва перегородка; 3 – права перегородка

Рис. 1.5. Відстійник для розподілу емульсій

Відстійні центрифуги за будовою можуть бути з вертикальним і горизонтальним розташуванням барабана і вала. Вони поділяються за типом: періодичної дії (періодично підводиться суспензія і вивантажується осад); напівперіодичної (безперервне подавання суспензії та періодичне вивантаження осаду) і безперервної дії (безперервне подавання суспензії і вивантаження осаду) [27].

В основі відстійної центрифуги (рис 1.6) з ручним вивантаженням осаду періодичної дії знаходиться барабан, який закріплений на валу, за допомогою якого він обертається і закріплюється в корпусі. Суцільний шар осаду утворюється під дією відцентрової сили, яка виникає при обертанні барабана в результаті чого осідають тверді частки на стінці барабана. Через розміщений внизу патрубок, зібрана в кожусі освітлена рідина виводиться на зовні. Після зупинки процесу відстоювання зібраний на стінках осад вивантажується з центрифуги [27, 32].

Процес, що проходить у відстійній центрифугі розділяє суспензію на важчу фракцію (осад) та легку (освітлену рідину).



1 – вал; 2 – барабан; 3 – корпус

Рис. 1.6. Відстійна центрифуга

Отже, отримання рослинної олії – це багатоетапний процес, до якого входить приймання зерна, його очистка та підготовка до обробки, отримання неочищеної олії, очищення олії шляхом фільтрування та гравітаційного осадження, рафінування та вінтеризація [36]. Для нехарчових потреб достатньо використовувати рослинну олію очищену шляхом гравітаційного осадження, яку в подальшому можна використовувати для виробництва дизельного біопалива, що в свою чергу знизить ціну виробленого продукту.

1.4. Аналіз технологічних процесів та технічних засобів для виробництва дизельного біопалива

В умовах сучасного розвитку виробництва відновлюваного біопалива існує широке різноманіття технологій виробництва дизельного біопалива [38].

Серед всіх технологій широкого використання набули промислова та агропромислова технології виробництва дизельного біопалива з використанням метилового спирту та лужного каталізатора, в якості компонентів для естерифікації рослинної олії в дизельне біопаливо [39, 40, 41, 42, 43, 44].

Промислова технологія (рис. 1.7) виробництва дизельного біопалива складається з таких основних процесів: естерифікації; розділення на фракції – дизельне біопаливо (легка фракція) та гліцериновий осад (важка фракція); відгонки метилового спирту; промивки підкисленою водою; повторної промивки водою, зневоднення дизельного біопалива [45, 46].

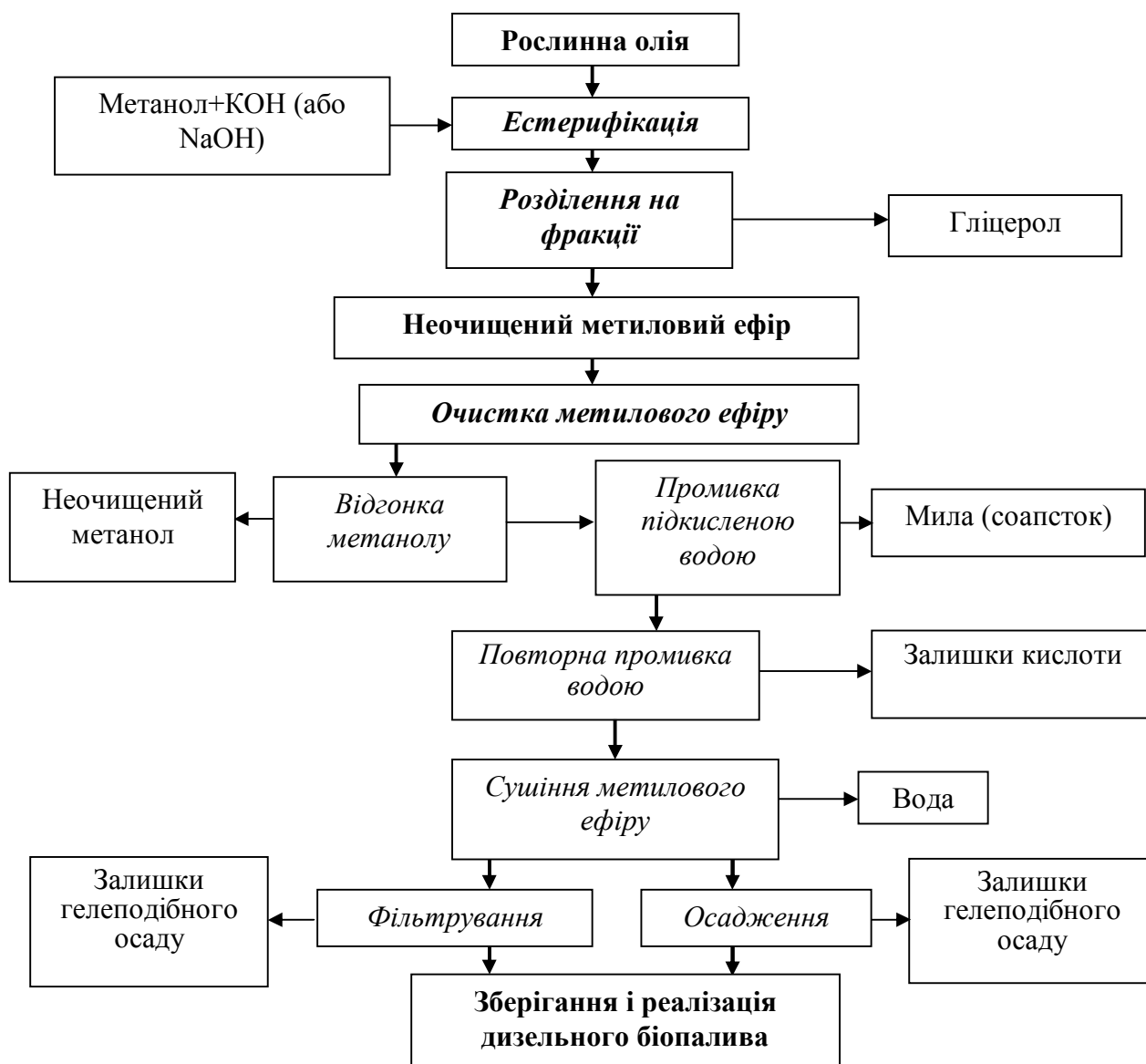


Рис. 1.7. Схема промислового виробництва дизельного біопалива [45]

Естерифікація – це процес трансформації суміші жирних кислот (тваринного або рослинного походження) зі спиртом (метиловим, етиловим та інші) з використанням лужного каталізатора (KOH, NaOH) для прискорення проходження реакції, в результаті чого отримуємо дизельне біопаливо та гліцериновий осад (гліцерин, залишки спирту, соапсток та інше) [47, 48].

Необхідність відгонки метилового спирту потрібне тому, що присутність його в паливі призводить до руйнації гумових прокладок двигуна та роз'їдання лакофарбових поверхонь.

Промивка підкисленою водою необхідна для видалення каталізатора, який при наявності поступово утворює осад. Повторна промивка водою потрібна для видалення кислоти, яка потрапляє під час першої промивки. Зневоднення необхідне для видалення вологи, яка буде присутня після обох промивок, адже присутність води в паливі призводить до неповного згорання, поганої роботи двигуна, корозії та утворення нагару на поршневій групі.

Промислова технологія виробництва традиційно використовується на великих та промислових заводах, з річним виходом дизельного біопалива від 20000 до 100000 т/рік [47, 49, 50, 51].

До переваг промислової технології виробництва дизельного біопалива можна віднести його високу якість, що дає можливість використовувати дизельне біопаливо як в сумішах, так і без додавання традиційного дизельного палива. Основні недоліки: габаритність обладнання, великі затрати електроенергії, висока собівартість виробленої продукції.

Агропромислова технологія виробництва дизельного біопалива (рис. 1.8) широко використовується на господарських та малих заводах з річним виходом дизельного біопалива від 100 до 5000 т/рік [51].

Агропромислова технологія виробництва дизельного біопалива складається з естерифікації; розділення отриманої суміші (дизельне біопаливо та гліцерол – побічний продукт при виробництві дизельного біопалива) та очистки дизельного біопалива (відгонки метанолу та очистки від гелеподібного осаду шляхом фільтрації або осадження).

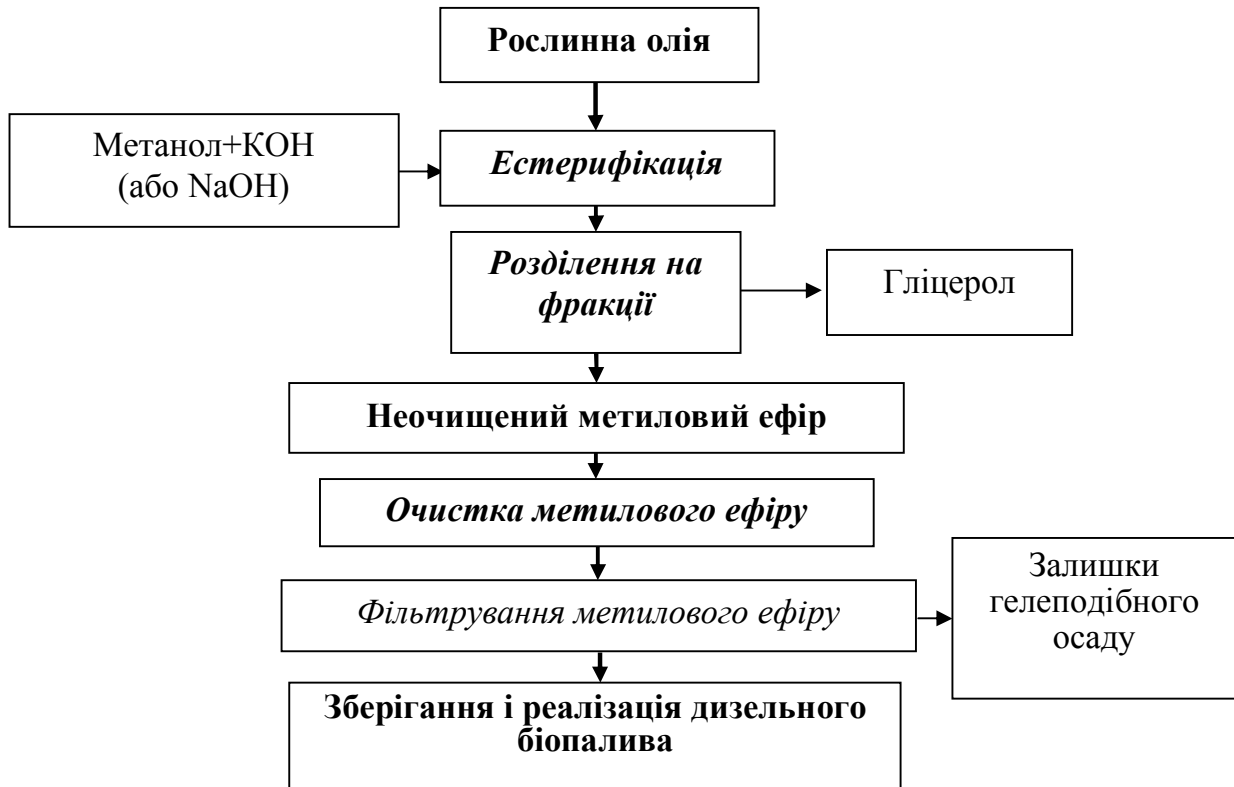


Рис. 1.8. Схема агропромислового виробництва дизельного біопалива [40]

До переваг цієї технології [45] можна віднести: менші енерговитрати у порівнянні з промисловою технологією, доступність у використанні, менші затрати на хімічні реактиви, менша габаритність обладнання, низька собівартість отриманої продукції, відсутність технологічної операції промивки з наступним зневодненням дизельного біопалива, що в свою чергу зменшує енергозатрати за рахунок збільшення часу відстоювання.

1.5. Загальна характеристика властивостей дизельного біопалива отриманого із рослинних олій

Дизельне біопаливо – це паливо, вироблене з рослинних олій або тваринних жирів, яке за своїми характеристиками є еквівалентним дизельному паливу і може використовуватись в дизельних двигунах, як в сумішах з традиційним дизельним паливом, так і в чистому вигляді.

До переваг дизельного біопалива слід віднести [52, 53, 54, 55, 56]:

- відновлювальність сировинної бази;
- значно меншу емісію вихлопних газів дизельного двигуна в атмосферу;
- кращі мастильні властивості, ніж у дизельного палива, що зменшує зношуваність паливного насоса високого тиску та збільшується термін його служби;
- температура самозаймання є вищою, ніж у дизельного палива, тому воно є більш пожежобезпечним;
- цетанове число для окремих моторних палив на основі рослинних олій зіставне із дизельним паливом, для ефірів воно дещо вище;
- відсутність сірки в паливі;
- не завдає шкоди при попаданні в навколишнє середовище і переробляється мікроорганізмами у продовж 3-4-х тижнів.
- можливість використання як чистому вигляді, так і в суміші в будь-яких пропорціях з дизельним паливом.

До недоліків, котрі важко усунути тим чи іншим способом у процесі виробництва, слід віднести [54, 57, 58, 59]:

- високу в'язкість палива;
- вищу граничну температуру фільтрування;
- агресивну дію на натуральні резини та деякі еластомери;
- досить низьку окислювальну стабільність.

Відомо, що рослинна олія складається з набору різних жирних кислот, які в результаті хімічної реакції перетворюються в метиловий ефір відповідної кислоти (табл. 1.1) [60]. Уміст відповідних кислот впливає на фізико-механічні показники дизельного біопалива та обумовлює показники кінематичної в'язкості та густини в залежності від виду олійних культур.

У кожному окремому випадку частка жирних кислот буде дещо відрізнятися, тому необхідно орієнтуватися на певні кількісні показники вмісту С, Н, О, які наведені (табл. 1.2).

Таблиця 1.1 Жирині кислоти, що входять до складу ріпакової олії, та їх ефіри

Найменування кислоти і відповідного ефіру	Хімічна формула	Вміст у складі олії, %
Гексадеканова (пальмітинова) кислота – ефір	$C_{16}H_{32}O_2$ $C_{17}H_{34}O_2$	4,83
Октадеканова (стеаринова) кислота – ефір	$C_{18}H_{36}O_2$ $C_{19}H_{36}O_2$	1,72
Октадеценнова (олеїнова) кислота – ефір	$C_{18}H_{34}O_2$ $C_{19}H_{36}O_2$	43,72
Октадекадієнова (лінолева) кислота – ефір	$C_{18}H_{32}O_2$ $C_{19}H_{34}O_2$	20,92
Октадекатрієнова (ліноленова) кислота – ефір	$C_{18}H_{30}O_2$ $C_{19}H_{32}O_2$	8,52
Гадолеїнова (ейкозенва) кислота – ефір	$C_{20}H_{38}O_2$ $C_{21}H_{40}O_2$	4,81
Докозєнова (єрукова) кислота – ефір	$C_{22}H_{42}O_2$ $C_{23}H_{44}O_2$	15,48

Таблиця 1.2 Основні фізико-хімічні властивості палив для дизельних двигунів

Властивості пального	Дизельне паливо	Дизельне біопаливо	Ріпакова олія
Вміст, %			
С	87	77,4	77
Н	12,6	12,3	12
О	–	10	11
Нижча теплота згорання, МДж/кг	42,5	37,1– 37,8	36

Менша калорійність дизельного біопалива на основі ріпакової олії пояснюється вмістом у його молекулярній структурі близько 10 % кисню і, відповідно, меншим вмістом вуглецю.

Естерифікація жирних кислот спиртами (алкоголіз) дозволяє отримати дизельне біопаливо, перспективи використання якого залежать від фізичних властивостей (в'язкість і температура кристалізації) і хімічної структури

(ступінь ненасиченості жирних кислот, довжина ланцюга, розгалуженість і окислювальна стабільність) ефірів [61].

Чинники, від яких залежить кінематична в'язкість дизельного біопалива [62]:

- зі збільшенням довжини структурного ланцюга жирної кислоти кінематична в'язкість зростає;

- ступінь ненасиченості, наявність одного подвійного зв'язку в молекулі збільшує кінематичну в'язкість. Це пояснюється тим, що один подвійний зв'язок суттєво підвищує міжмолекулярну взаємодію за рахунок електронів, яка пов'язана з геометричною конфігурацією цис-подвійного зв'язку, що обумовлює близьке розташування між молекулами. У насичених ефірах ця взаємодія слабкіше, оскільки вона виникає за рахунок дії сил Ван-дер-Ваальса;

- температура, визначає рухливість молекул та зростає зі збільшенням молекулярної маси молекул і введенням у них полярних груп. В'язкість падає зі збільшенням температури і різко зростає при її зниженні.

Іншою важливою фізичною властивістю дизельного біопалива є температура кристалізації, яка залежить від наступних чинників [62]:

- довжини та розгалуження структурного ланцюга;
- розташування подвійних зв'язків по довжині ланцюга;
- ступеню ненасиченості.

Не дивлячись на близькі значення кінематичної в'язкості лінійних і розгалужених ефірів, розгалуження вуглецевого ланцюга суттєво позначається на температурі кристалізації, оскільки вона прямо пов'язана з будовою самої молекули речовини.

Одним із головних факторів, які обмежують широке використання дизельного біопалива є досить незначний термін зберігання даного типу палива, оскільки воно має досить низьку окислювальну стабільність. Дизельне біопаливо, як похідна рослинної олії, містить багато ненасичених жирних кислот, наявність яких залежить від кількості подвійних зв'язків у молекулі дизельного біопалива [63, 64]. На збільшення швидкості окислення впливають

такі чинники: попадання сонячного проміння; температура зберігання; присутність деяких металів (найбільш високу каталітичну активність проявляють мідь та залізо) [58, 59, 65].

При дослідженні впливу індукційного періоду при зберіганні метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії встановлено швидке зниження стабільності ефірів після 30 днів зберігання [66].

Головна технічна проблема широкого впровадження дизельного біопалива на основі рослинних олій полягає у необхідності адаптації існуючих дизельних двигунів до відповідного типу палива через відмінність деяких фізико-механічних властивостей у порівнянні з дизельним паливом (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 Фізико-механічні властивості дизельного палива [67], дизельного біопалива [68] та ріпакової олії [22]

Характеристика	Дизельне паливо	Дизельне біопаливо	Ріпакова олія
Цетанове число, не менше	45	51	–
Густина, кг/м ³	860	860-900	952
Кінематична в'язкість, мм ² /с	3,0-6,0	3,5-5	78,7
Фракційний склад $t_{ДВ}$, °C			
5%	214	326	300
50%	280	335	–
96%	370	341	–
Вміст води (за методом Карла Фішера), мг/кг	52	500	310
Масова частка сірки, % не більше	0,288	0,001	0,009
Температура спалаху в закритому тиглі не	40	120	324
Гранична температура фільтрованості, °C не	-5	+5	–
Коксованість 10%-го залишку, % не більше	0,3	0,3	<0,01
Зольність, % не більше	0,01	0,02	<0,01

Аналіз показує, що дизельне біопаливо найбільш близьке за енергоемністю та хімічним складом до дизельного палива, тому його застосування потребує мінімальних змін у системі живлення дизельного двигуна.

Високе цетанове число дизельного біопалива сприяє скороченню періоду затримки займання і менш «жорсткій» роботі дизеля. Підвищена майже в 3 рази температура спалаху дизельного біопалива в закритому тиглі (120 °C і більше) забезпечує високу пожежобезпечність. Наявність у молекулі дизельного біопалива 10 % кисню дозволяє інтенсифікувати процес згорання і забезпечує підвищення температури згорання в циліндрі двигуна. Із одного боку це сприяє підвищенню індикаторного і ефективного коефіцієнту корисної дії двигуна, а з іншого – призводить до збільшення вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах. Менший вміст вуглецю (77 %) в молекулі дизельного біопалива приводить до зменшення його нижчої теплоти згорання на величину від 13 до 15 % і викликає збільшення годинної та питомої витрати палива.

1.6. Аналіз обладнання для виробництва дизельного біопалива

Упродовж останніх 15 років розробкою обладнання для виробництва дизельного біопалива займалось багато наукових закладів [69, 70, 71, 72]. Серед них Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва» (ННЦ «ІМЕСГ»), Національний університет біоресурсів і природокористування України (НУБіП України), Білоцерківський державний аграрний університет, Одеський державний аграрний університет та інші, які намагалися вдосконалити обладнання використовуючи різні методи перемішування в процесі естерифікації, адже чим краще відбудеться перемішування, тим якіснішим буде вихід дизельного біопалива. У процесі естерифікації використовуються такі види перемішування: механічне перемішування, гідродинамічне та гідромеханічне перемішування [73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83].

Для агропромислового виробництва дизельного біопалива в ННЦ «ІМЕСГ» було розроблено установку УВМЕ-1000 (рис. 1.9) продуктивністю 1000 л/год. періодичної дії, в якій перемішування відбувається за допомогою

рамкової мішалки [84]. Недоліком даної установки є застосування під кожну технологічну операцію окремої ємності з окремим насосом.



Рис. 1.9. Установка для одержання дизельного біопалива з рослинних олій продуктивністю 1000 т/рік УВМЕ-100

Крім того була розроблена установка безперервної дії УБ-ТР-20 (рис. 1.10) продуктивністю від 5 до 20 л/год., в якій перемішування відбувається за допомогою проходження рослинної олії та лужного каталізатора через трубчастий естерифікатор. Основним недоліком даної установки є неможливість використання її у сезонній роботі, одже вона призначена для використання у промисловому виробництві [85].

Паралельно з цим в НУБіП України під керівництвом професора Дубровіна В.О. була розроблена експериментальна установка для виробництва дизельного біопалива продуктивністю 100 л/год. (рис. 1.11) та на її базі була виготовлена промислова установка продуктивністю 300 т/рік (рис. 1.12) у яких перемішування відбувається за допомогою механічної лопатевої мішалки [86].



**Рис. 1.10. Обладнання для виробництва дизельного біопалива
УБ-ТР-20 продуктивність 5 л/год.**



**Рис. 1.11. Обладнання для виробництва дизельного біопалива
продуктивністю 100 л/год.**

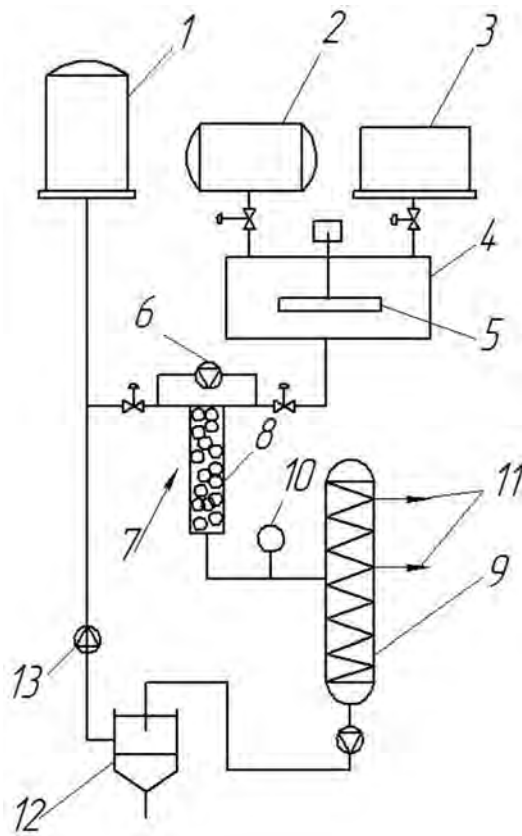


Рис 1.12. Обладнання для виробництва дизельного біопалива продуктивністю 300 т/рік

Недоліком даного обладнання так як і в попередніх варіантах є використання під кожний етап виробництва палива окремої ємності з допоміжним устаткуванням, крім того перемішування відбувається за допомогою лопатевої мішалки, а не рамкової, що погіршує процес естерифікації [86].

В Україні існують підприємства, які виробляють обладнання для виробництва дизельного біопалива або пропонують імпортне обладнання різної продуктивності із застосуванням автоматизації та без неї, а також використовують дешеві чи дорогі матеріали, що впливає на вартість обладнання.

Відомий спосіб виробництва метилового ефіру жирної кислоти та обладнання для його здійснення (рис. 1.13), де до місткості 4 для змішування із контейнера 3 подається метиловий спирт, а із контейнера 2 подається каталізатор.



1 – контейнер для жиру; 2 – контейнер для каталізатора; 3 – ємність для метилового спирту; 4 – ємність для змішування; 5 – механічний змішувач; 6 – насос високого тиску; 7 – реакційна зона; 8 – змішувальний пристрій; 9 – дистилятор; 10 – відвідник метилового спирту; 11 – зони відведення дизельного біопалива; 12 – пристрій відокремлення; 13 – насос для відкачування неестерифікованих речовин

Рис. 1.13. Обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням статичного змішувального пристрою

У місткості 4 за допомогою механічної мішалки 5 відбувається змішування метилового спирту з каталізатором. Жир, який знаходиться в контейнері 1 та суміш метилату калію з ємності 4 за допомогою насоса 6 потрапляють до реакційної зони 7, де відбувається процес естерифікації в змішувальному пристрої 8. Отримана емульсія надходить до дистилятора 9, де піддається випаровуванню, в результаті якого метиловий спирт вивільняється через відвідник метилового спирту 10, а отриманий метиловий ефір через відповідні зони дистилятора 11. Неестерифіковані речовини відокремлюються і

збираються у пристрій відокремлення фаз 12. При необхідності, частина неестерифікованих речовин по трубопроводу насосом 13 повертається у ділянку перебування жирів 1 [87].

Перевагами даного обладнання є використання високоефективної потужної турбулентності для проведення процесу естерифікації. Недоліком є те, що дане обладнання має складність у використанні та низький вихід дизельного біопалива, адже при випаровуванні будуть відбуватися втрати дизельного біопалива.

Розроблено також обладнання для одержання біопалива для дизелів (рис. 1.14), яке працює наступним чином: із ємності 2 каталізатор КОН дозують за допомогою дозатора 3 на сітку ємності 4 куди також подають спирт з ємності 1 для приготування спиртового розчину каталізатора.

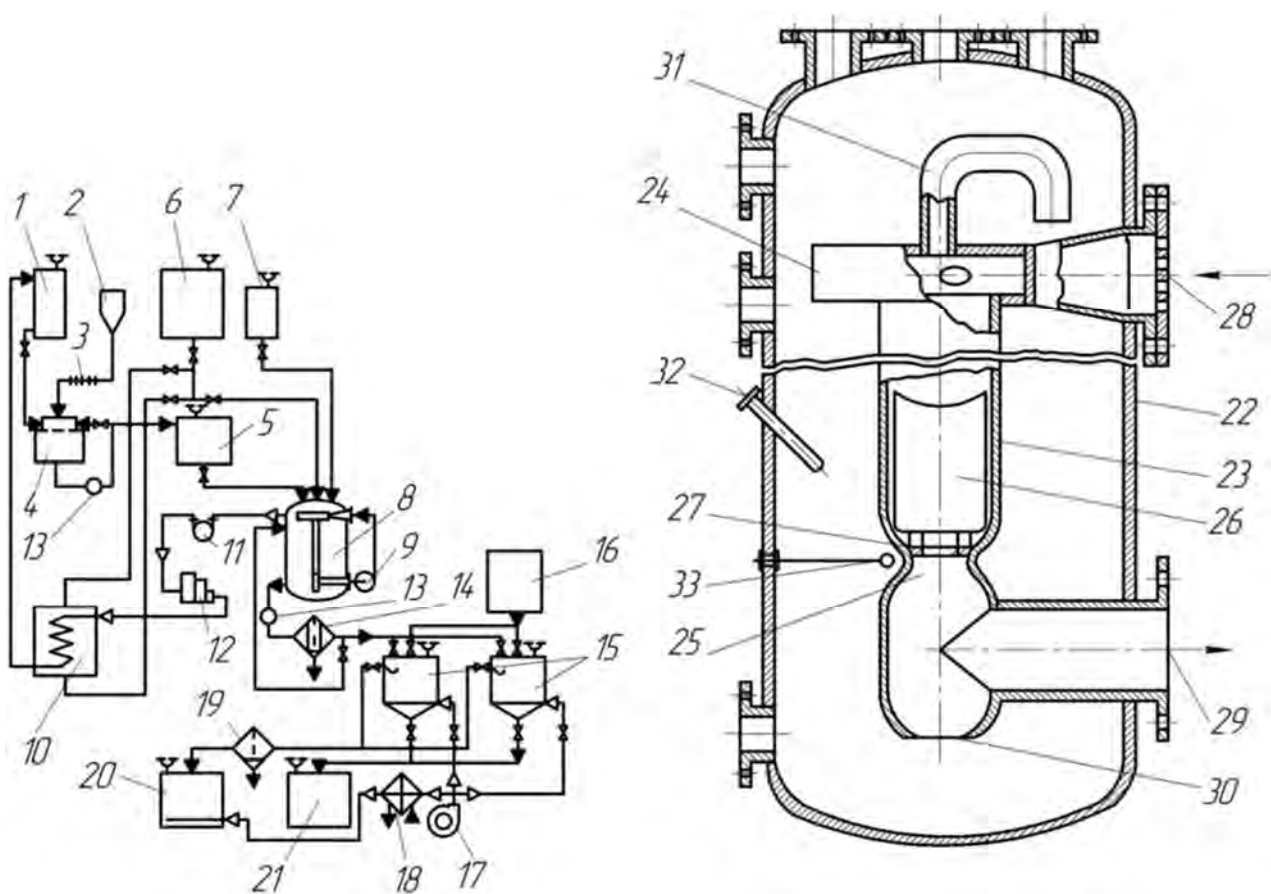


Рис. 1.14. Установа для одержання біопалива для дизелів (позначення в тексті)

У відношенні 2:1 подають олію і спиртовий розчин на стадію синтезу, а саме у кавітаційний пристрій 8, де змішують, нагрівають і синтезують радикали ефірів та подають кислоту з ємності 7 для нейтралізації каталізатора, а потім – на стадію розподілення одержаних продуктів, а саме через фільтр для відділення твердої фракції 14 (мило) в два розподільника 15, де подають воду з ємності 16 для відмивки одержаних продуктів і просушування гарячим повітрям за допомогою вентилятора 17 з підігрівачем повітря 18. Одержаний ефір через фільтр для відділення відходів 19 збирають у ємності 20, а гліцерол – у ємності 21. Непрореаговані пари спирту відкачують за допомогою вакуум-насосу 11, а компресором 12 подають в конденсатор спирту 10, а потім спирт повертають в ємність для спирту 1.

У кавітаційному пристрої 8 рідини, потрапляючи у вхідний патрубок 28 за допомогою циркуляційного насосу 9 під тиском 0,5 МПа, а потім в прискорюючу завитку 24, швидко прискорюються та закручуються в вихровому русі і потрапляють в трубу 23. Закручений потік у трубі 23 переміщується по гвинтовій спіралі у стінках труби до протилежного кінця, що закінчується звуженою ділянкою 25 з отвором 27. Перед отвором симетрично осі труби вмонтована вібраційна пластина 26, що виконує роль камертона, з метою вібрування і швидкого гальмування вихрового потоку. Резервуар 22 слугує для нагрівання рідини з швидкістю 0,5-3 °С за хв. Розміри зони кавітації розширюються в разі збільшення тиску на вхідному патрубку 28 від 0,5 до 0,7 МПа [88].

Недоліками даної установки є складність конструкції, велика габаритність, висока вартість.

Відома гідродинамічна установка для отримання дизельного біопалива (рис. 1.15), в якій електродвигун 1 приводить в дію гідронасос 2, який в свою чергу всмоктує олію з ємності 13 в магістраль (а) через відкритий кран 3. При цьому кран 4 повинен бути відкритим, а крани 5, 8, 10 – закриті. Після цього, кран 10 відкривають і подають через нього дизельне паливо з ємності 9 у

змішувач-ежектор 11. За допомогою крана 4 регулюють робочий тиск у нагнітальній магістралі 12, який контролюється манометром 7.

Дизельне паливо під тиском проходить по нагнітальній магістралі 12 та потрапляє у кавітатор 6, де відбувається інтенсивне насичення дизельного палива ріпаковою олією. Із виходу 15 кавітатора гідродинамічна суміш по магістралі (б) подається у технологічний бак 14. Після насичення дизельного палива ріпаковою олією, крани 8, 10 закривають, а установку відключають [89].

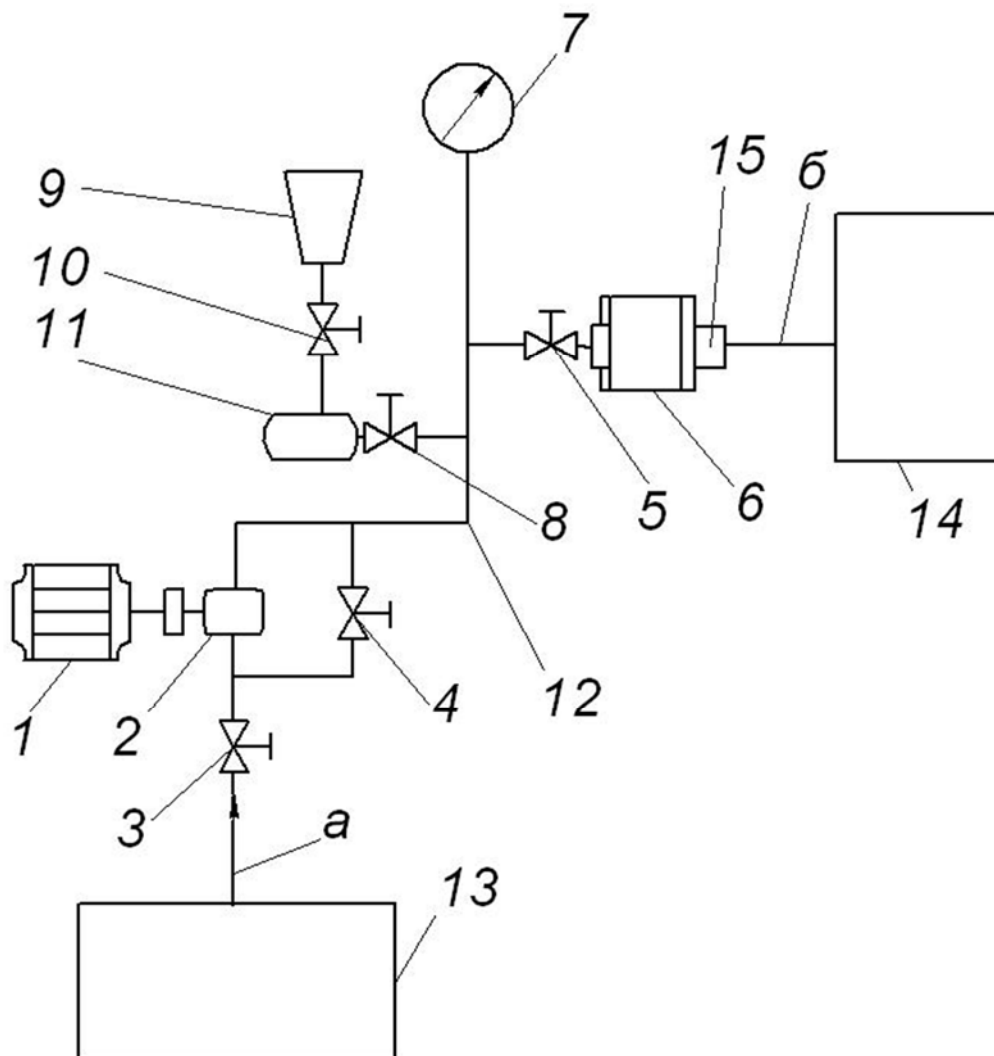
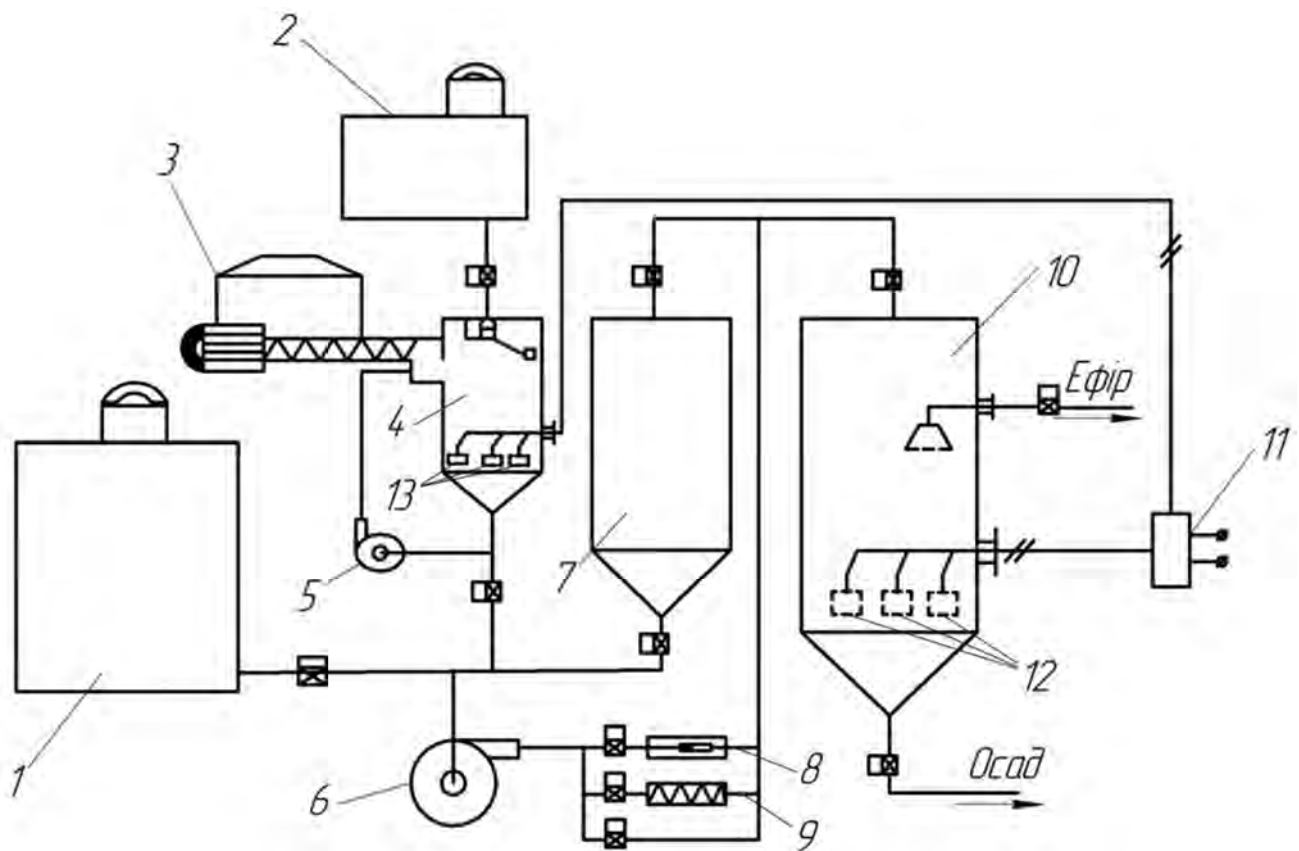


Рис. 1.15. Гідродинамічна установка для отримання біодизельного палива (позначення в тексті)

Перевагами обладнання є простота конструкції та відповідно доступність в ціні. Недоліками даної установки є те, що вона призначена для

гідродинамічного змішування ріпакової олії з дизельним паливом, а під суміш метилату калія вона не розрахована. Також проходження дизпалива під тиском через кавітатор разом з ріпаковою олією не забезпечує повного перемішування, адже необхідно застосовувати циклічне перемішування.

Запропонована також удосконалена модульна біодизельна установка (рис. 1.16), що працює наступним чином: в ємності 1 повинна бути олія, в закритому резервуарі 4 метанол, в бункері-дозаторі 3 лужний каталізатор.



1 – ємність олії; 2 – ємність метилового спирту; 3 – дозатор каталізатора; 4 – реактор змішування метилового спирту та каталізатора; 5 – додатковий циркуляційний насос; 6 – основний циркуляційний насос; 7 – реактор; 8 – кавітаційна камера; 9 – теплообмінник; 10 – відстійник; 11 – генератор ультразвуку; 12 – ультразвукові випромінювачі відстійника; 13 – ультразвукові випромінювачі реактора

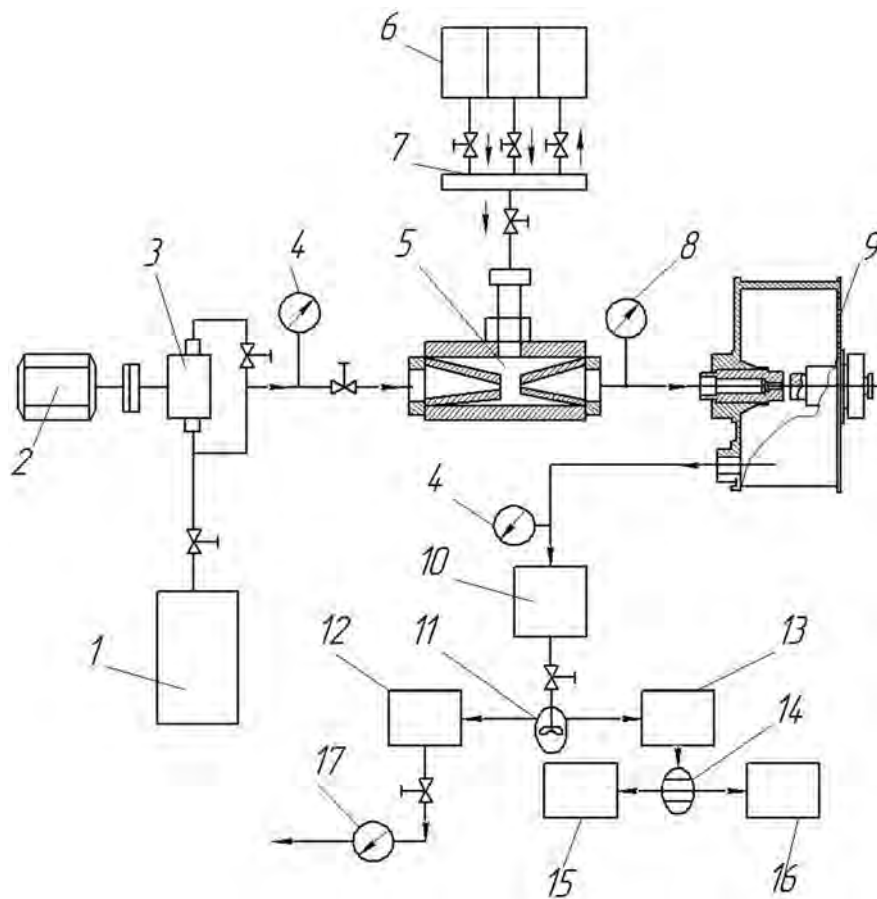
Рис. 1.16. Модульна біодизельна установка

Ємність 4 наповнюється необхідним об'ємом метанолу. Одночасно включаються змішувальний насос 5, дозатор лужного каталізатора 3 та ультразвукові випромінювачі 13. Циркуляція метанолу та активаційна ультразвукова обробка реагентного розчину продовжуються після припинення подачі лужного каталізатора дозатором 3 ще впродовж певного встановленого терміну. Далі включається циркуляційний насос 6, який заповнює сумішшю метилового спирту та рослинної олії до заданого об'єму реактор 7. Після цього циркуляція продовжується через кавітаційну камеру 8, а при необхідності й через теплообмінник 9, після чого весь об'єм перекачується у відстійник 10, де включаються ультразвукові випромінювачі 12 для утворення осаду [90].

Перевагами даної установки є можливість використання її у агропромисловому виробництві, наявність ультразвукових випромінювачів у відстійнику, реакторі змішування метилового спирту та лужного каталізатора забезпечує швидке утворення осаду, встановлення додаткового циркуляційного насоса дозволяє якісно змішати хімічні реагенти.

Недоліком даної установки є висока вартість за рахунок додаткових ємностей, ультразвукових випромінювачів та додаткового циркуляційного насоса, що заважає конкурувати на ринку з більш простим обладнанням розробленим під використання в агропромисловому виробництві.

Розроблена також модульна біодизельна установка (рис. 1.17), котра працює наступним чином: при включенні приводного електродвигуна 2 приводиться в рух гідронасос 3, який всмоктує ріпакову олію з ємності 1. Робочий тиск регулюється в магістралі манометром 4. Ріпакова олія під тиском проходить по напірній магістралі і попадає в дозатор-змішувач 5. Одночасно при відкритих кранах із секцій бака 6 в колектор 7 потрапляють дизельне паливо, метиловий спирт і каталізатор, які попередньо в ньому змішуються, всмоктуються в порожнину розрідження дозатора 5. Попередньо насичена суміш попадає в гідродинамічний кавітатор 9, в якому виконується глибоке диспергування суміші компонентів з ріпаковою олією на молекулярному рівні.



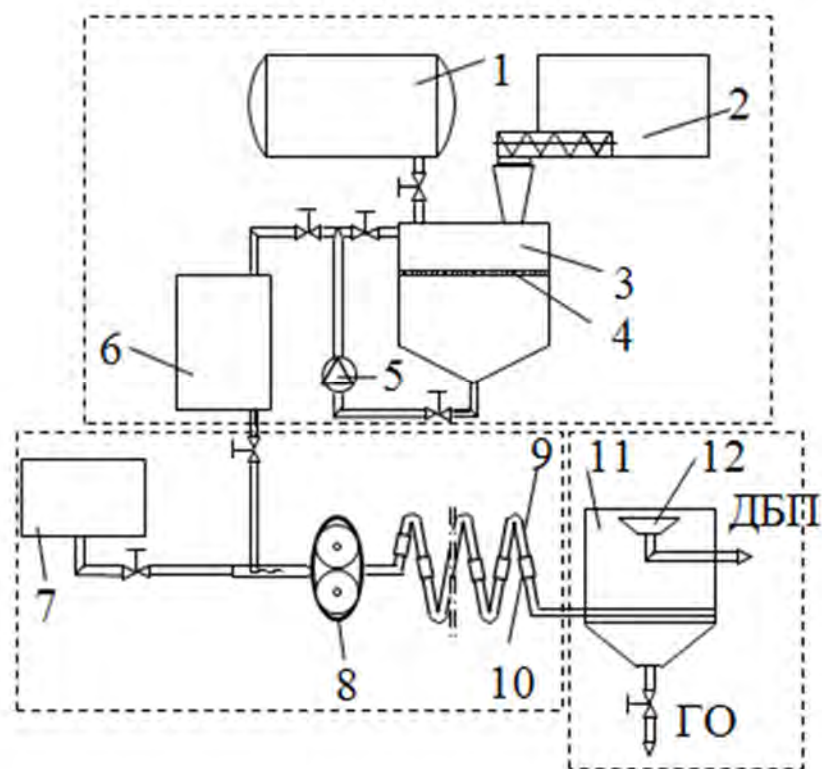
1 – технологічна ємність (для ріпакової олії); 2 – електродвигун;
 3 – гідронасос; 4 – манометр; 5 – дозатор змішувач; 6 – бак; 7 – колектор;
 8 – датчик температури; 9 – гідродинамічний диспергатор; 10 – ємність;
 11 – сепаратор; 12 – ємність для дизельного біопалива; 13 – ємність для водно-гліцеринової суміші; 14 – фільтр-очисник; 15 – ємність для гліцерину;
 16 – ємність для вологи; 17 – витратомір дизельного біопалива

Рис. 1.17. Модульна біодизельна установка

Отримана суміш поступає по трубопроводу в технологічну ємність 10, а потім в сепаратор 11, де розділяється на фракції «дизельне біопаливо» і «водно-гліцеринова суміш», потім кожна фракція поступає до ємностей 12 і 13. Далі «водно-гліцеринова суміш» подається з ємності 13 в фільтр вологоочисник 14, де розділяється на гліцерин і воду. Гліцерин зливається в ємність 15, а вологу (воду) в ємність 16. У результаті дизельне біопаливо з ємності 12 по трубопроводу через витратомір 17 надходить для подальшого використання [91].

Перевагами даної установки є високоякісне перемішування за рахунок гідродинамічного диспергатора, можливість використання у сезонній роботі. Недоліками є складність конструкції, високі виробничі витрати та її габаритність.

Запропоноване також обладнання для виробництва дизельного біопалива, яке працює наступним чином: до місткості 3 для змішування із контейнера 1 подається метиловий спирт, а із контейнера 2 на сітку 4 подається каталізатор (рис. 1.18). У місткості 3 за допомогою насоса 5 відбувається змішування метилового спирту з каталізатором.



1 – ємність з метиловим спиртом; 2 – ємність з каталізатором; 3 – бак для змішування метилового спирту та каталізатора; 4 – сітка для каталізатора; 5 – насос для перекачування метилату калію; 6 – накопичувальна ємність метилату калію; 7 – бак для жиру; 8 – насос для перекачування жиру та метилату калію; 9 – трубчатий змійовик; 10 – вставка-турбулізатор; 11 – гравітаційний розділювач; 12 – лійка

Рис. 1.18. Обладнання для виробництва дизельного біопалива

Після завершення перемішування утворений метилат калію за допомогою насосу 5 потрапляє до місткості 6 накопичення метилату калію з якої потім самопливом подається до насосу 8.

Рослинний жир також подається самопливом із контейнера 7 до насоса 8. Суміш метилату калію з жиром насосом 8 подаються до трубчатого змійовика 9 для естерифікації жиру, де за допомогою вставок-турбулізаторів 10 перемішуються.

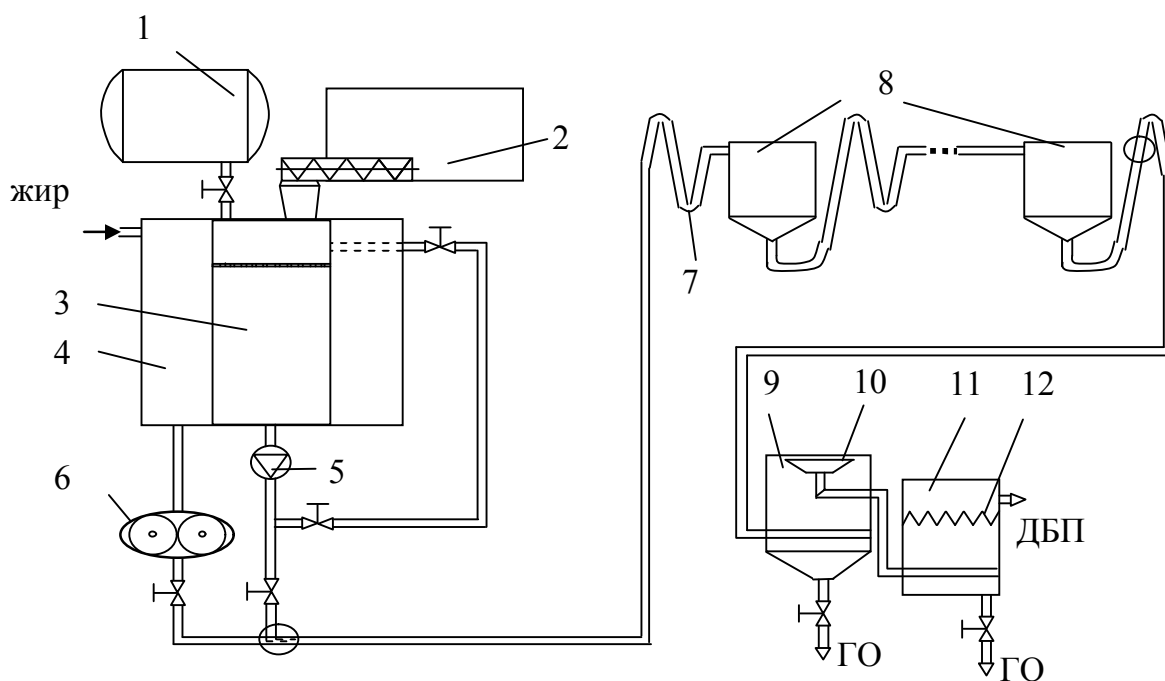
Після проходження етерифікації жиру отримана емульсія надходить у гравітаційний розділювач 11, в якому відбувається розділення на дизельне біопаливо та гліцериновий осад. Дизельне біопаливо відводиться із гравітаційного розділювача 11 через лійку 12.

Перевагами цього обладнання є те, що обладнання для виробництва біодизельного палива дозволяє зменшити питому енергомісткість виробництва біодизельного палива за рахунок інтенсифікації процесу перемішування при естерифікації жиру і забезпечення безперервної роботи обладнання та матеріаломісткість обладнання за рахунок використання гідрозмішування метилового спирту з каталізатором та зменшення довжини трубчатого змійовика естерифікації жиру з використанням вставок-турбулізаторів [92]. Недоліками є те, що не використовується тепло, яке виділяється при розчиненні каталізатора метиловим спиртом на підігрів жиру перед виготовленням біодизельного палива, трубчатий змійовик має зависокий гідравлічний опір, що підвищує енергомісткість процесу естерифікації жиру та складний у виготовленні і монтажу, крім того обладнання не забезпечує належні показники якості біодизельного палива за короткий час відстоювання у потоці без фільтрування [93].

Вище описане обладнання було удосконалено шляхом заміни трубчастих турбулізаторів на циліндрично-конічні компенсатори (рис. 1.19) [93].

Перевагами цього обладнання є те, що відбувається якісне перемішування за рахунок проходження жиру та метилату калію через трубчатий змійовик з циліндрично-конічними компенсаторами, де відбувається основне змішування.

Недоліками є те, що дане обладнання потрібно використовувати при постійній подачі сировини до реактора, що забезпечується при великих обсягах виробництва дизельного біопалива. Періодичне використання такого обладнання призводить до складного і дорогого технічного оснащення і обслуговування.



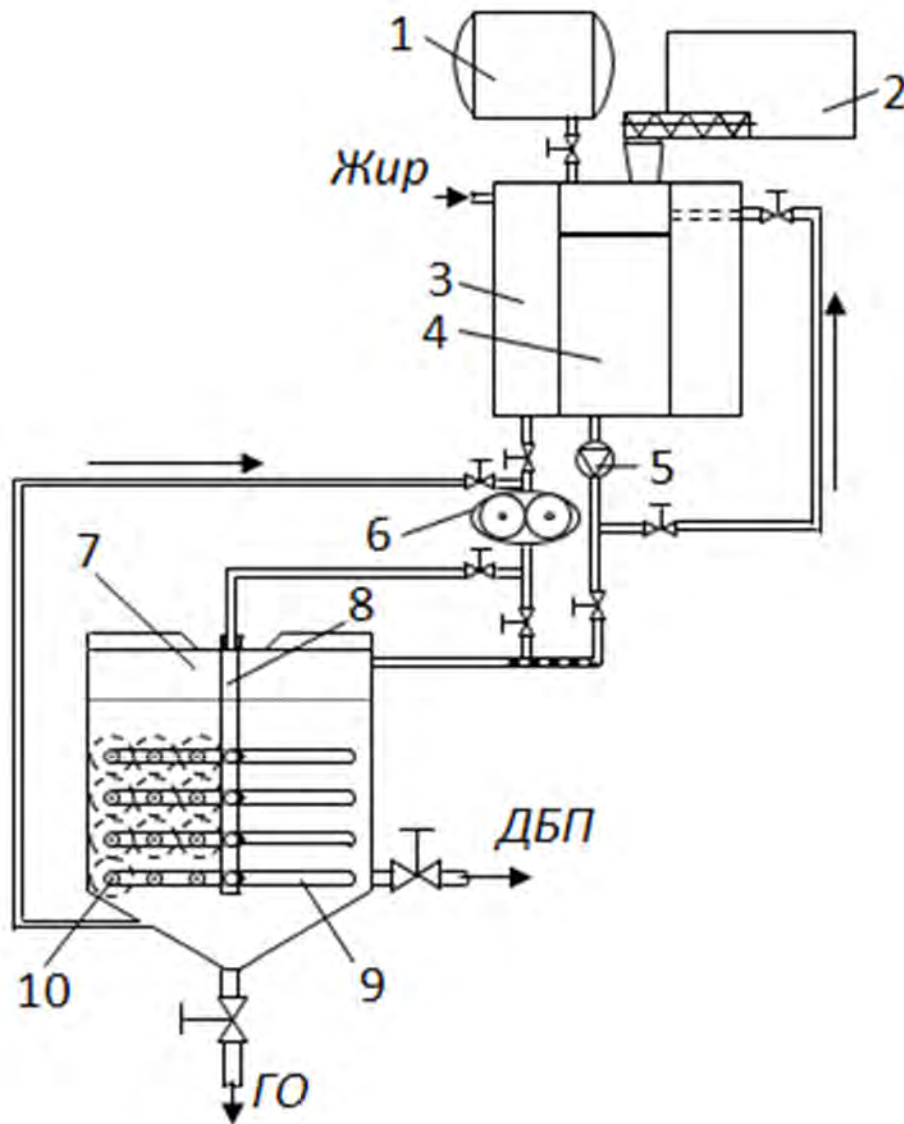
1 – ємність з метиловим спиртом; 2 – ємність з каталізатором; 3 – бак для жиру; 4 – бак для змішування метилового спирту та каталізатора; 5 – насос для перекачування метилату калію; 6 – насос для відкачування жиру та виконання перемішування в гідрозмішувачі; 7 – трубчатий змійовик; 8 – циліндро-конічні компенсатори; 9 – гравітаційний розділювач; 10 – лійка; 11 – додатковий гравітаційний розділювач; 12 – фільтруючий елемент

Рис. 1.19. Обладнання для виробництва дизельного біопалива

Відоме обладнання для виробництва дизельного біопалива, яке працює наступним чином: до ємності 4, із контейнера 1 метилового спирту подається метиловий спирт (рис. 1.20).

Каталізатор із контейнера 2 подається в ємність 4 для розчинення. Насос 5 забезпечує повне розчинення каталізатора в метиловому спирті. Насос

6 подає із контейнера 3 жир і одночасно насос 5 із ємності 4 подає розчин метилату калію в гідрозмішувач 7. Під час перекачування емульсії, насос 6 подає суміш в гідромішалку 8, яка обертається за рахунок гідрореактивної сили струменів, що виходять із форсунок 10 розмішених на штангах 9 гідромішалки 8.



1 – ємність з метиловим спиртом; 2 – ємність з каталізатором; 3 – бак для жиру; 4 – бак для змішування метилового спирту та каталізатора; 5 – насос для перекачування метилату калію; 6 – насос для відкачування жиру та виконання перемішування в гідрозмішувачі; 7 – гідрозмішувач; 8 – гідромішалка; 9 – штанги гідромішалки; 10 – форсунки

Рис. 1.20. Обладнання для виробництва дизельного біопалива

Після проходження естерифікації жиру отримана емульсія залишається у гідрозмішувачі 7 до повного розділення на дизельне біопаливо та гліцериновий осад [94].

Перевагами даного обладнання є мала габаритність, доступна вартість устаткування за рахунок використання гідроперемішування, можливість використання у сезонній роботі.

Недоліками є те, що перемішування емульсій відбувається пошарово і не забезпечується достатній рівень перемішування її шарів.

У промисловому інституті механізації рільництва (ПІМР, Польща) було розроблене обладнання для виробництва дизельного біопалива W500M (рис. 1.21) продуктивністю 500 л за 1 цикл, в якому застосовується перемішування без потреби підтримки температурного режиму.



Рис. 1.21. Естерифікатор для виробництва дизельного біопалива в умовах фермерських господарств (Польща)

Дане обладнання розраховане для використання у сезонній роботі і при необхідності може мобільно перевозитись на причіпі (рис. 1.22) для застосування в фермерських господарствах [95].



Рис. 1.22. Мобільне обладнання для виробництва дизельного біопалива W500M

В Українському науково-дослідному інституті прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого пройшли випробування ряд установок для виробництва дизельного біопалива [96]. Однак всі вони не знайшли широкого використання в агропромисловому виробництві України.

Таким чином, на основі аналізу обладнання для виробництва дизельного біопалива встановлено, що необхідно рухатись у напрямку зменшення

габаритів обладнання, його універсальності, а також використовувати гідромеханічне перемішування, яке дає змогу суттєво підвищити ефективність виробництва.

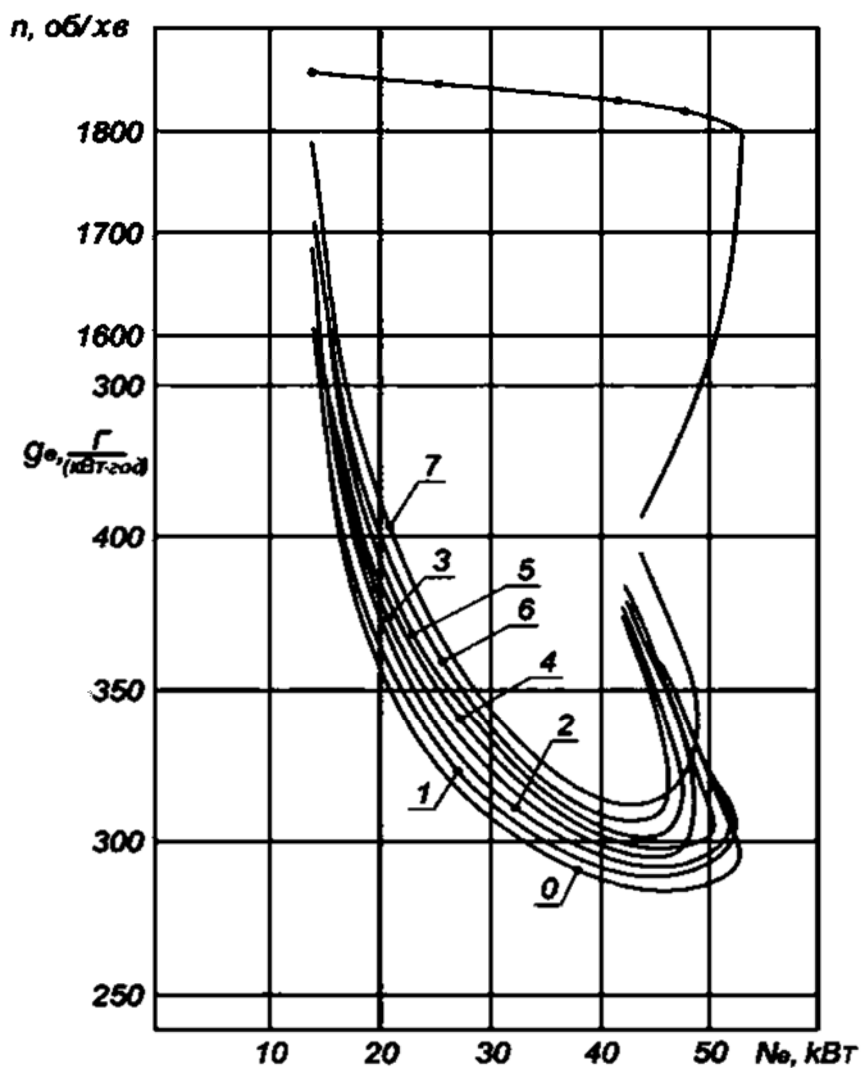
1.7. Аналіз експлуатаційних показників використання дизельного біопалива

На сьогодні проведено досить широкі дослідження по використанню в якості дизельного біопалива чистої рослинної олії та її сумішей з дизельним паливом [60, 97, 98, 99, 100, 101], відмічено суттєве збільшення питомих витрат палива та зменшення ефективності згорання, що викликано меншою теплотворною здатністю та вищими показниками кінематичної в'язкості даного типу палива.

Для зниження кінематичної в'язкості дизельного біопалива виконують процес етерифікації рослинної олії за допомогою суміші лужного каталізатора, розчиненого в метиловому, або етиловому чи ізопропіловому спирті [102, 103, 104, 105]. Як наслідок, отримане після етерифікації дизельне біопаливо значно зменшує свою кінематичну в'язкість у порівнянні з рослинною олією. Аналіз властивостей дизельних біопалив, отриманих на основі рослинних олій та спирту [103, 104, 105], показує, що кінематична в'язкість дизельного біопалива на основі метилового спирту у 2 рази менша ніж у палив, отриманих на основі етилового або ізопропілового спирту, проте вона більше ніж у 2 рази більша за кінематичну в'язкість дизельного палива [67].

У результаті проведення досліджень [106], отримано порівняльну регуляторну характеристику роботи дизельного двигуна на дизельному паливі (ДП) та дизельному біопаливі, а також їх сумішах з різною концентрацією (рис. 1.23).

Відмічено зменшення ефективної потужності двигуна на 12 % при одночасному збільшенні питомої витрати палива від 10 до 17 % у залежності від концентрації дизельного біопалива в паливній суміші.



0 – ДП; 1 – 95 % ДП+5 % ДБП; 2 – 90 % ДП+10 % ДБП;
 3 – 80% ДП+20% ДБП; 4 – 70 % ДП+30 % ДБП; 5 – 50 % ДП+50 % ДБП;
 6 – 30 % ДП+70% ДБП; 7– ДБП

Рис. 1.23. Регуляторна характеристика двигуна СМД-14Н

При дослідженні роботи двигуна Д-243 на дизельному біопаливі у порівнянні з дизельним паливом [107], відмічено збільшення концентрації оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах та істотне збільшення годинної та питомої витрати палива.

У роботі [108] виконані дослідження роботи дизельного двигуна на дизельному біопаливі та отримано його навантажувальну характеристику (рис. 1.24).

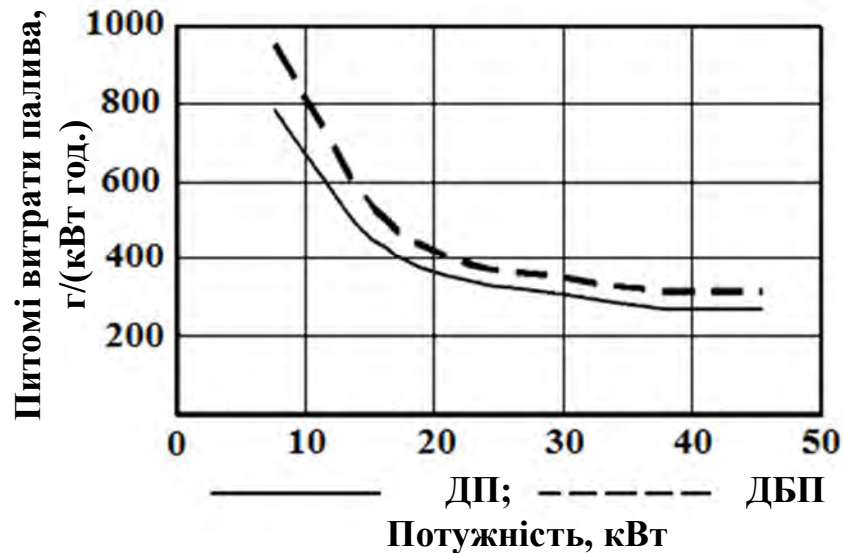


Рис. 1.24. Навантажувальні характеристики двигуна Д-238

Під час досліджень встановлено, що при досягненні однакової потужності витрата палива при роботі на дизельному біопаливі збільшується на величину від 12 до 20 %. Розрахунки робочого процесу двигуна на номінальному режимі показали зниження ефективного моменту і потужності та підвищення витрати палива при роботі на дизельному біопаливі. Виконано порівняльний розрахунок процесу впорскування палива для дизельного палива та дизельного біопалива згідно загальновідомої методики [109], який дозволяє стверджувати, що при роботі двигуна на дизельному біопаливі має місце додаткова витрата палива за рахунок погіршення якості його розпилування.

У роботі [110] виконані дослідження впливу дизельного палива на основі рослинної олії на експлуатаційні показники роботи МТА на базі трактора ХТЗ-121 при виконанні технологічних операцій культивування та боронування. У дослідженнях відмічено, що продуктивність МТА при роботі на дизельному біопаливі практично не змінилася, проте відмічено зростання витрати палива.

У роботі [111] приведені результати гальмівних випробувань роботи двигуна Д-248, які показали, що при використанні дизельного біопалива та його сумішей з дизельним паливом призводить до збільшення годинної витрати палива від 4 % до 18 % у залежності від складу паливної суміші. При роботі двигуна на паливних сумішах з часткою дизельного біопалива 40 %, 60 %; 80 %

та 100 %, питома витрата палива відповідно склала 241; 243; 255 і 271 г/(кВт год.) проти 230 г/(кВт год.), що на 3,5 %; 6,5 %; 11,3 % і 17,8 % більше, ніж питома витрата дизельного палива. Годинна витрата палива відповідно склала 10,4; 10,6; 11,0 та 11,8 кг/год проти 10 кг/год при роботі на дизельному паливі, що відповідно більше на: 4 %; 6 %; 10 % і 18 %.

Проведені дослідження роботи двигуна ЯМЗ-248 М2 на дизельному паливі та дизельному біопаливі [112] показали, що питома витрата дизельного біопалива підвищується у середньому на 28 % (рис. 1.25).

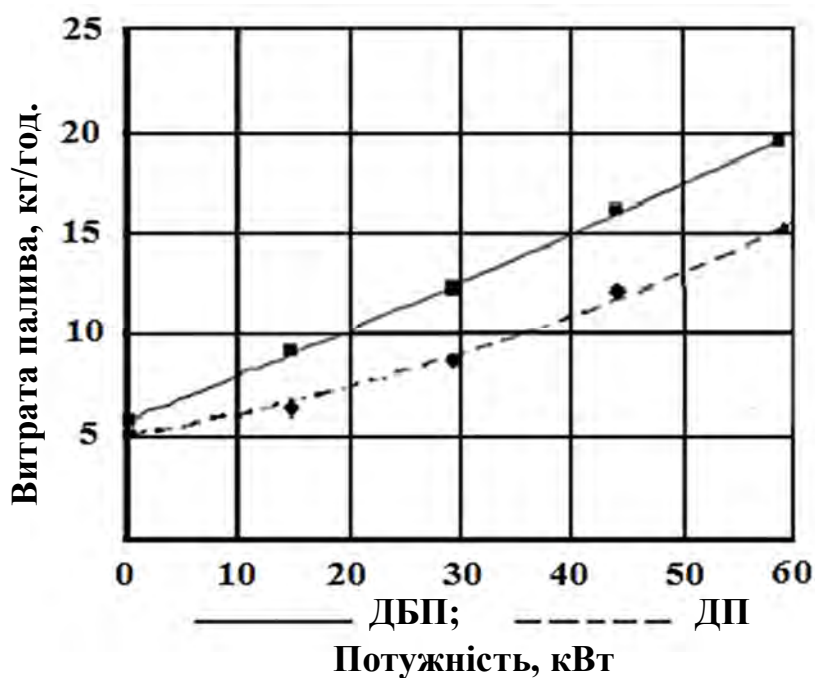
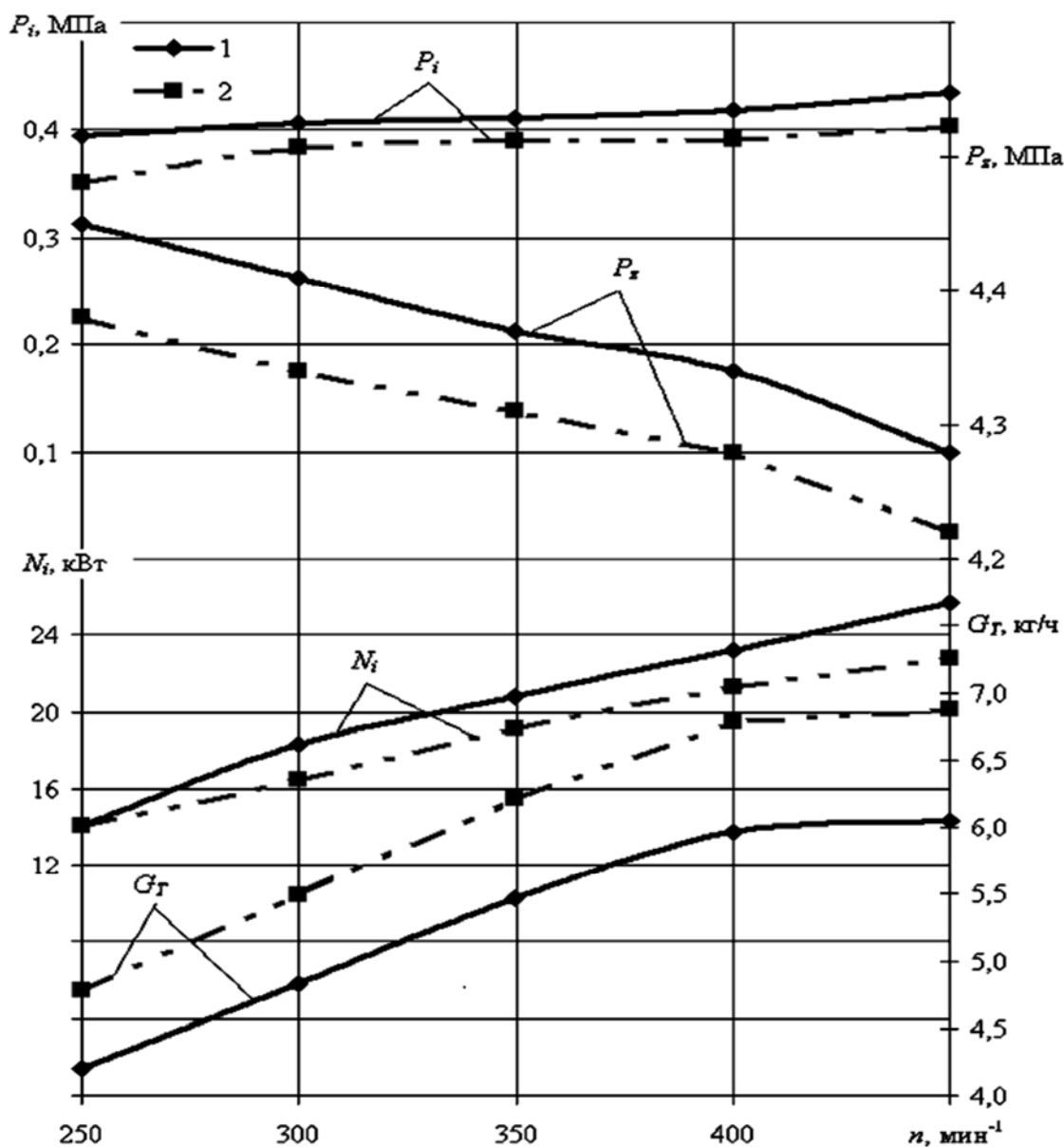


Рис. 1.25. Навантажувальна характеристика двигуна Д-248 М2

Зміну годинної витрати палива автори пов'язують зі зниженою, порівняно зі стандартним дизельним паливом, нижчою теплотворною здатністю дизельного біопалива, а також із відмінностями його густини та кінематичної в'язкості.

Експериментальні дослідження [113] (рис. 1.26) характеристик робочого процесу середньоборотного дизельного двигуна показали, що при використанні дизельного біопалива відбувається зниження середнього індикаторного тиску на 7 % (в залежності від частоти обертання колінчастого вала двигуна різниця в

значеннях може становити від 5 до 11 %), також відбувається зниження тиску згорання палива, в середньому на 1,5 %.



1 – при роботі на ДП; 2 – при роботі на ДБП

Рис. 1.26. Швидкісні характеристики двигуна 6ЧН 25/34

Внаслідок цього, при роботі на дизельному біопаливі спостерігається збільшення годинної витрати палива понад 17,5 %. Також відзначено, що при впорскуванні дизельного біопалива відбувається зменшення кута випередження впорскування палива на 1,2 град.

У роботах [114, 115] авторами зафіксовано зниження максимального тиску згорання при використанні дизельного біопалива на основі пальмової олії та вторинних відходів рослинної олії. Приведені результати випробування двигуна при різних навантаженнях показали, що тепловий коефіцієнт корисної дії двигуна при роботі на дизельному біопаливі на величину від 1 до 1,85 % менший, ніж при використанні дизельного палива, як наслідок зафіксовано відповідне збільшення годинної витрати палива. Також авторами відмічено високу в'язкість, яка призводить до збільшення періоду затримки самозаймання, внаслідок чого відбувається зниження ефективного тиску згорання, що призводить до збільшення витрати палива при однаковій потужності у порівнянні з дизельним паливом.

У роботі [55] розглянуто вплив деяких фізико-хімічних показників дизельного біопалива на параметри дизельного двигуна і його експлуатаційні характеристики. Відмічено підвищення у порівнянні з дизельним паливом, на 10 % густини, вищу у 1,5 рази кінематичну в'язкість палива, зміна яких спричиняє збільшення на 14 % далекобійності паливного факела та зростання діаметру краплин розпиленого палива, що призводить до збільшення попадання дизельного біопалива на стінки камери згорання і гільзи циліндра. Менші значення коефіцієнта стискуваності дизельного біопалива приводять до збільшення дійсного кута випередження впорскування палива та підвищення максимального тиску. За результатами досліджень відмічено зменшення потужності двигуна при переході на дизельне біопаливо та зазначена необхідність врахування впливу конструктивних особливостей та режимів роботи двигуна на потужність та паливо-економічні показники.

За результатами досліджень [106, 116] рекомендовано застосувати для живлення двигуна паливну суміш дизельного біопалива з 30 % вмістом дизельного біопалива. Згідно досліджень [111], оптимальна до використання з точки зору паливної економічності є паливна суміш з вмістом 20 % дизельного біопалива. Годинна витрата палива двигуном при використанні зазначених паливних сумішей не перевищує 2-4 %. У роботі [117] при використанні суміші

дизельного палива і 20 % дизельного біопалива відмічено зменшення вмісту CH_x на величину від 1,8 до 8,3 % та CO на величину від 18 до 20 %. При цьому знижується димність до 35 % та збільшується годинна витрата палива на величину від 1,9 до 4,2 %.

У роботі [118] зазначено, що за рахунок меншого стисканням та більшої кінематичної в'язкості при впорскуванні рослинного палива в камеру згорання у порівнянні з дизельним паливом, спостерігається збільшення максимального тиску впорскування палива. Також відмічено, що більша сила поверхневого натягу та кінематична в'язкість призводить до утворенням меншого кута конуса розпилення палива, збільшення далекобійності факела палива та більш пізнішого розпадання факела палива на краплі, що призводить до погіршення сумішоутворення та згорання палива. Виконані дослідження [116, 119] характеристик впорскування дизельного біопалива в камеру з постійним тиском виявили зменшення кута конуса розпилення та збільшення далекобійності факела впорскування палива.

Дослідження по впливу температури підігріву палива на експлуатаційні показники роботи двигуна при використанні дизельного палива та його сумішей з дизельним біопаливом показали [120], що при застосуванні підігріву дизельного палива до 60 °C спостерігається деяке зниження потужності двигуна на режимах повного навантаження для всіх частот обертання колінчастого валу, що пояснюється зменшенням маси циклової подачі при зниженні густини палива. Підігрів дизельного біопалива призводить до поліпшення паливної економічності двигуна практично на всіх режимах навантажувальних характеристик, що пов'язано із зменшенням густини, в'язкості та поверхневого натягу палива, що сприяє більш дрібному його розпилюванню і збільшенню об'ємного сумішоутворення. У роботі [116] обґрунтовано застосування попереднього підігріву сумішей дизельного палива та 10-15 % дизельного біопалива палива до температури 70 °C.

До важливих експлуатаційних параметрів роботи дизельного двигуна відносять значення його екологічних показників роботи, які також залежать від

типу палива, що застосовується. При використанні дизельного біопалива [121] відмічено значне зменшення шкідливих викидів CO (на 30-40 %), також відмічено як збільшення, так і зменшення вмісту NO_x, у залежності від зміни обертів та завантаження двигуна. Для дизельних двигунів з вихровою камерою (передкамерою) і безпосереднім уприскуванням [122] відмічено зниження показників CO на 12 %, C_nH_m на 35 %, твердих частинок на 24 % та деяке збільшення викидів NO_x. У дослідженнях [123] при використанні дизельного біопалива на основі соєвої олії відмічено зменшення викидів CO на 41 %, C_nH_m на 86 %, а також зростання концентрації NO_x на 21 %. При використанні дизельного біопалива на основі соняшникової олії відмічено зменшення CO на 3 %, C_nH_m на 75 %, а також зростання концентрації NO_x на 10 %. У дослідженнях роботи дизельного двигуна на метиловому ефірі ріпакової олії [124] відмічено зниження димності на величину від 8 до 11 % та масового викиду твердих частин на 42 %, збільшення витрати палива до 10 %, при цьому концентрація викидів CO і NO_x змінювалася несуттєво. У роботах [114, 115] відмічено збільшення температури вихлопних газів за рахунок збільшення фази догорання палива, а також відмічено, що значення шкідливих викидів NO_x, CO і CO₂ майже ідентичні значенням при роботі на дизельному паливі. У роботі [125] встановлено, що при використанні дизельного біопалива в порівнянні з дизельним паливом спостерігається зменшення часу затримки займання та відбувається зменшення показників шкідливих викидів, за винятком NO_x і CO, на тлі збільшення витрати палива.

Проведений аналіз показав, що сучасні наукові дослідження спрямовані на пошук шляхів ефективного виробництва дизельного біопалива із відновлюваних сировинних джерел, таких як біомаса водоростей, тваринні та вторинні рослинні жири [126, 127, 128, 129].

Вищі показники кінематичної в'язкості та густини дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом, спричиняють збільшення середнього діаметру краплин впорскнутого палива, зростання довжини та зменшення кута розпилення впорскнутого факела палива, що призводить до порушення

сумішоутворення і зменшення повноти згорання дизельного біопалива [130, 131, 132, 133, 134, 135, 136].

Найбільш ефективним способом підвищення експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна, є забезпечення зменшення кінематичної в'язкості дизельного біопалива за рахунок застосування попереднього підігріву [137, 138, 139, 140, 141, 142].

Виконані стендові дослідження впливу попереднього нагріву дизельного біопалива до температур 30 °С, 60 °С, 90 °С та 120 °С на експлуатаційні характеристики роботи двигуна [143], показали, що при нагріві до 90 °С відбувається зменшення годинної витрати палива та покращення екологічних показників роботи дизельного двигуна. При застосуванні нагріву палива до 120 °С зафіксовано збільшення втрат палива через зазори плунжерних пар паливного насоса високого тиску.

Аналіз виконаних досліджень експлуатаційних показників роботи дизельних двигунів при використанні дизельного біопалива рослинного походження дозволяє стверджувати, що за рахунок відмінностей фізико-механічних властивостей відбувається погіршення процесу впорскування палива, сумішоутворення та його згорання. Про зниження ефективності згорання дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом свідчить збільшення витрати дизельного біопалива для досягнення однакової потужності в залежності від величини відношення їх теплотворних здатностей. Застосування паливних сумішей дизельного палива з вмістом дизельного біопалива до 30 % погіршує показники експлуатаційних параметрів роботи дизельного двигуна у порівнянні з використанням чистого дизельного біопалива. Використання таких сумішей суттєво вплинуло на енергетичну незалежність сільськогосподарського виробництва не може.

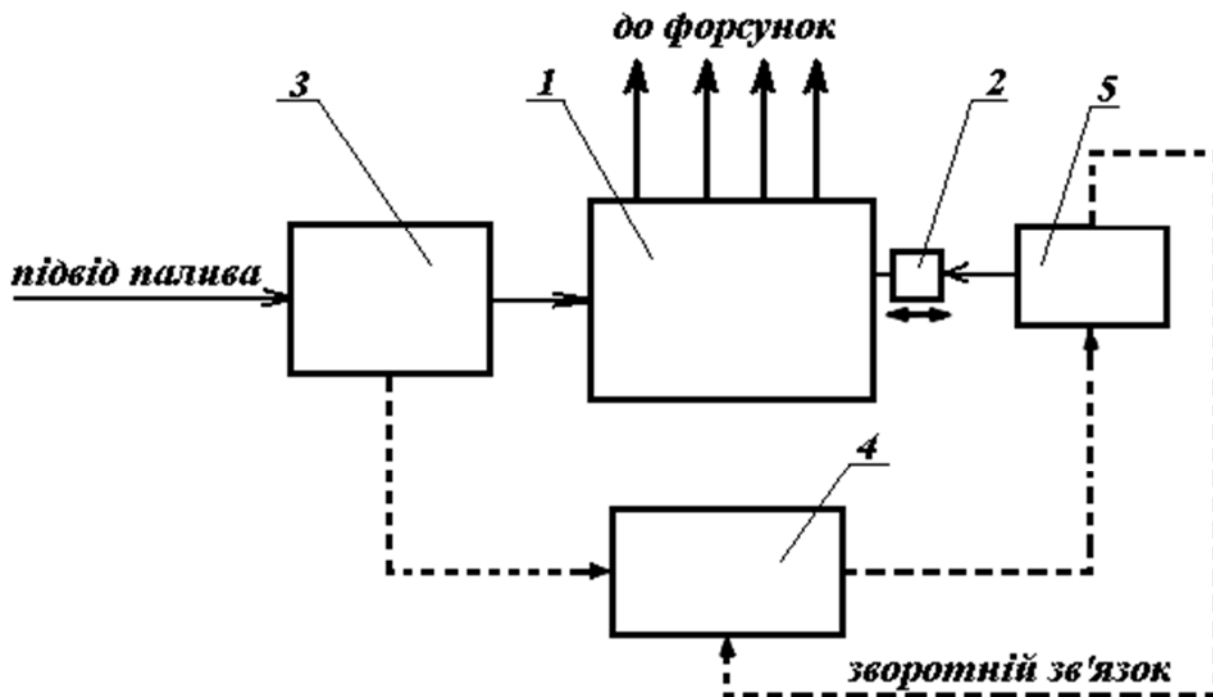
Аналіз екологічних показників роботи дизельних двигунів показує, що при використанні дизельного біопалива у порівнянні з дизельним паливом спостерігається зниження показників шкідливих викидів. Проте таке зменшення шкідливих викидів на тлі збільшення питомої витрати палива при

непропорційному співвідношенні теплотворних здатностей свідчить про зменшення повноти згорання дизельного біопалива. Внаслідок неповного згорання дизельного біопалива відбувається додаткове коксування циліндро-поршневої групи двигуна та потрапляння дизельного біопалива до моторної оливи, що призводить до зменшення ресурсу роботи двигуна. Одним із шляхів покращення згорання дизельного біопалива є застосування його підігріву, проте в існуючих паливних системах температура нагріву палива обмежена температурним режимом роботи плунжерної пари паливного насоса високого тиску.

1.8. Аналіз способів підвищення ефективності використання дизельного біопалива

У роботі [144] розглянуто методи підвищення ефективності згорання дизельного палива за рахунок застосування підігріву палива, що дає змогу зменшити час на випаровування палива та тим самим досягти зменшення часу затримки самозаймання та підвищення швидкості горіння. Автор пропонує організувати процес сумішоутворення у впускному колекторі двигуна завдяки впорскуванню перегрітого палива. Це інтенсифікує процес випаровування та створює умови для збільшення тиску в робочому циклі та забезпечує підвищення ефективності роботи двигуна. Проте даний спосіб важко реалізувати при використанні дизельного біопалива, оскільки температура випаровування основної фракції дизельного біопалива знаходиться при температурі вищій за 325 °С.

Відома схема модернізації паливної системи [146] для роботи на дизельному паливі, дизельному біопаливі та їх сумішах (рис. 1.27), згідно якої пропонується лінії підводу палива до паливного насоса високого тиску дообладнати ємнісним датчиком та рухомим упором для обмеження максимальної циклової подачі палива, яка має електромеханічний привід зміни положення упора з електронним блоком автоматичного керування.



1 – паливний насос високого тиску; 2 – упор паливного насоса; 3 – електричний ємнісний датчик; 4 – електронний блок автоматичного керування; 5 – електромеханічний привід упора

Рис. 1.27 Схема модернізації паливної системи дизельного двигуна внутрішнього згорання для використання дизельного біопалива та його сумішей з дизельним паливом

Залежно від виду палива або складу суміші палив, яке підводиться до паливного насоса високого тиску 1, змінюється відносна діелектрична проникливість палива, що викликає відповідну зміну електричної ємності датчика 3. Зміна електричної ємності датчика перетворюється і підсилюється електронним блоком автоматичного керування 4 до виду і рівня сигналу, на який розрахований електромеханічний привід 5, до якого він підводиться. Електромеханічний привід змінює положення упору 2, за допомогою якого обмежується максимальна циклова подача палива. У разі використання палива з меншою теплотою згорання упор 2 електромеханічним приводом 5 автоматично переміщується у бік збільшення максимальної циклової подачі палива і навпаки, у разі використання палива з більшою теплотою згорання

упор переміщується у бік зменшення максимальної циклової подачі палива. Для чіткої роботи електронного блоку автоматичного керування з електромеханічним проводом між ними встановлений зворотний зв'язок. Дана система може бути використана для реалізації задачі відповідної динамічної програми керування потужністю двигуна для палив із різною теплотворною здатністю та електропровідністю, проте вона не вирішує основних проблем використання дизельного біопалива, пов'язаних з його фізико-механічними властивостями.

У роботі [146] для вирішення проблем, пов'язаних з використанням дизельного біопалива, розроблено систему живлення дизельного двигуна сумішшю дизельного палива та дизельного біопалива з динамічним керуванням відсоткового складу на базі акумуляторної системи «Common Rail» (рис. 1.28).

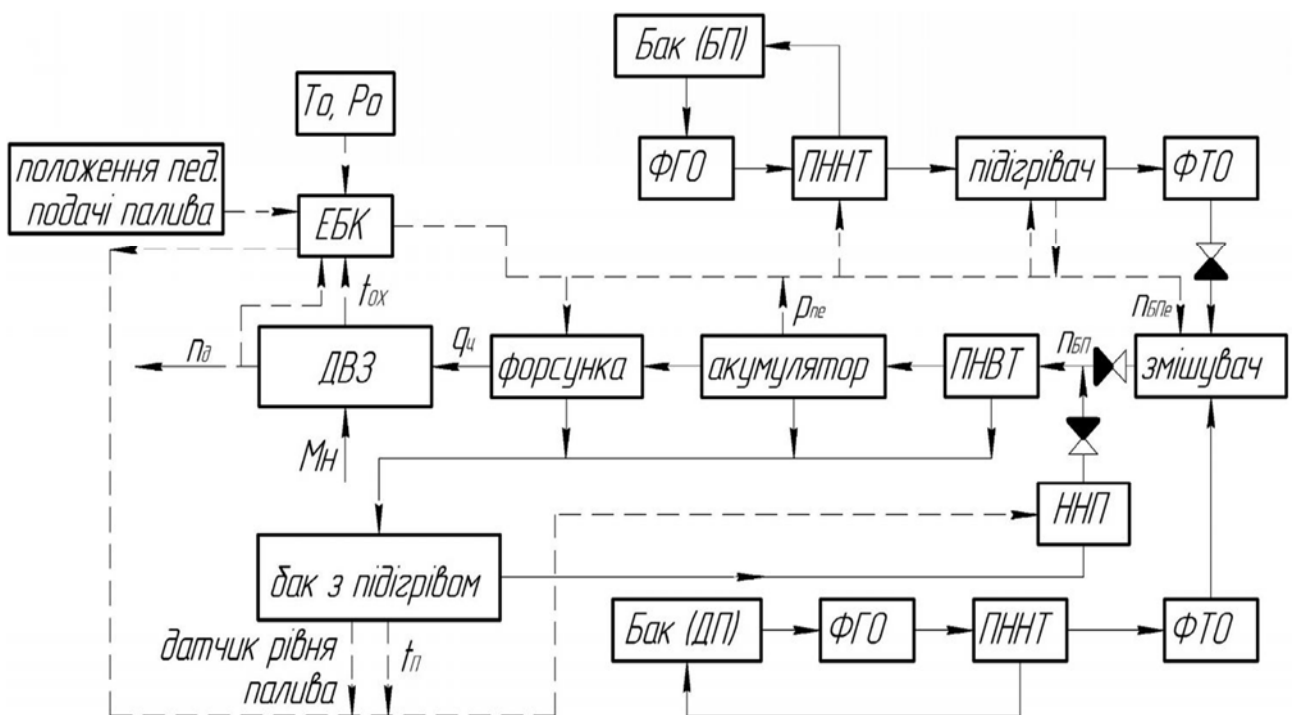


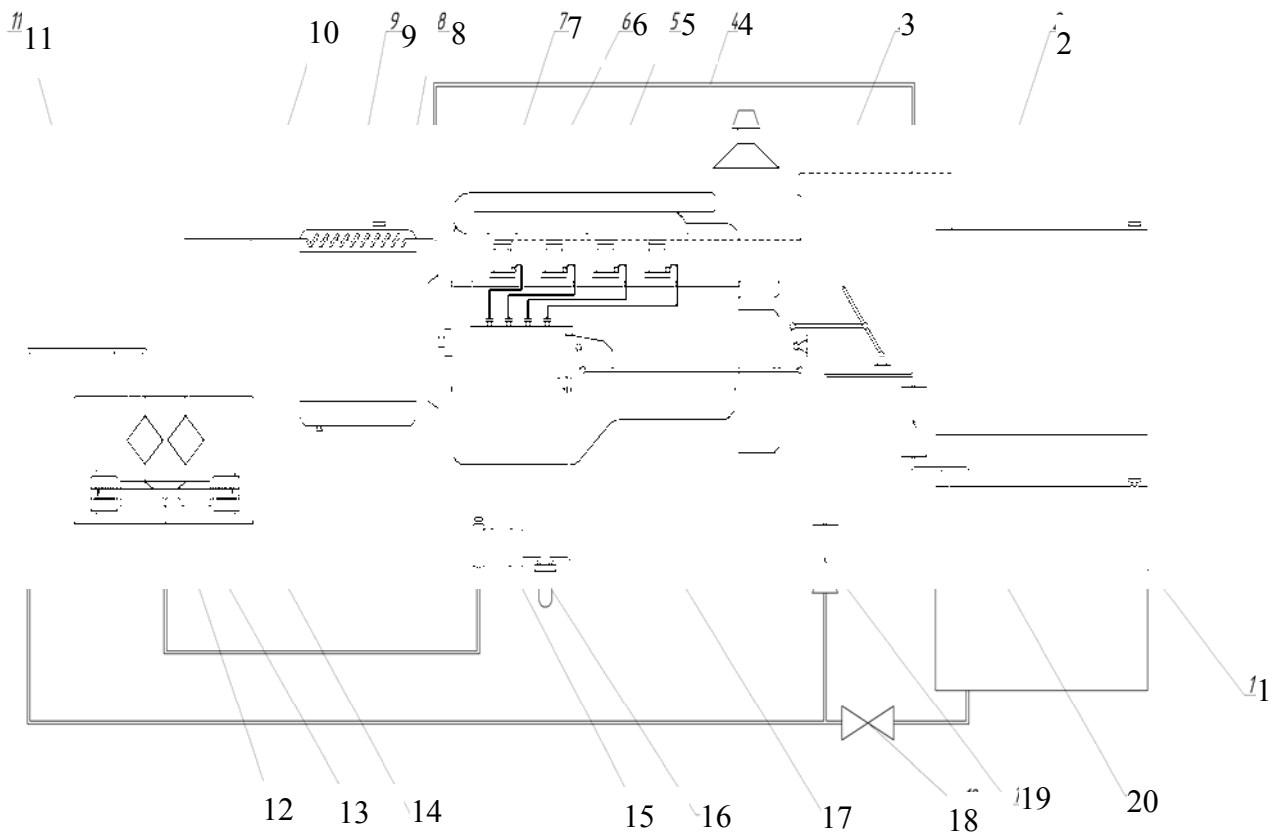
Рис. 1.28. Структурна схема системи живлення сумішшю ДП та ДБП для системи «Common Rail»

Схема складається з дизельного двигуна та системи живлення сумішшю дизельного палива та дизельного біопалива, до якої в свою чергу входять два паливних бака, два фільтри грубої очистки, два паливні насоси низького тиску,

два фільтра тонкої очистки для дизельного палива та дизельного біопалива відповідно, підігрівач дизельного біопалива, змішувач, паливний насос високого тиску, акумулятор палива, форсунки, три зворотних клапана, бачок для невикористаного палива, насос низького тиску. Обробляє всі дані електронний блок керування. Система працює таким чином: двигун запускається на дизельному паливі і продовжує працювати на ньому до тих пір, поки його охолоджувальна рідина та дизельне біопаливо в підігрівачі не прогріється до робочої температури. Після цього вступає в роботу змішувач, який при зміні відсоткового вмісту палива забезпечує раціональний відсотковий склад суміші. Система зворотної подачі невикористаного палива направляє невикористане паливо в бак для невикористаного палива, звідки насос низького тиску подає в систему живлення після змішувача, перед паливним насосом високого тиску. Це запобігає змішуванню чистих палив з робочими сумішами. Перед тим, як зупинити двигун, система живлення зливає приготувану суміш палив у бачок для зворотного палива та наповнює чистим дизельним паливом всю систему, що забезпечить легкий пуск двигуна навіть за низьких температур.

У роботі [147] для використання дизельного біопалива запропоновано здійснювати запуск і нагрів двигуна при низьких температурах на дизельному паливі, розроблено заходи, які забезпечують очищення паливної системи двигуна від дизельного біопалива по закінченню кожної зміни. Для покращення розпилення і згорання дизельного біопалива здійснюється його підігрів. Для реалізації цих заходів запропоновано здійснювати зміну в конструкції системи живлення двигуна Д-240 згідно рис 1.29.

Згідно наведеної схеми два види палив зберігаються в окремих баках, що розділені між собою закритим краном 19. Двигун запускається на дизельному паливі, яке під дією розрідження, що створює насос 15, перетікає з бака 1 через витратний кран 18 і по паливопроводу низького тиску потрапляє в блок фільтрів з перемикачем 12.



1 – бак для дизельного палива; 2 – бак для біопалива; 3 – зворотній паливопровід; 4 – паливопровід низького тиску; 5 – паливопровід високого тиску; 6 – форсунка; 7 – двигун; 8 – радіатор системи охолодження; 9 – підігрівач біопалива; 10 – фільтр грубої очистки біопалива; 11 – фільтр грубої очистки дизпалива; 12 – електромагнітний перемикач виду палива; 13 – золотник; 14 – обмотка електромагніта; 15 – паливний насос низького тиску; 16 – паливний фільтр тонкої очистки; 17 – паливний насос високого тиску; 18 – витратний кран дизельного палива; 19 – з’єднувальний витратний кран

Рис. 1.29 Схеми системи живлення дизельного двигуна Д-240 для роботи при використанні двох типів палив

У фільтрі 11 дизельне паливо проходить очищення від води та грубих механічних домішок і при положенні золотника 13 у правому крайньому положенні, потрапляє до загальної магістралі – насоса низького тиску 15, далі через фільтр тонкої очистки 16 до паливного насоса високого тиску (ПНВТ) 17,

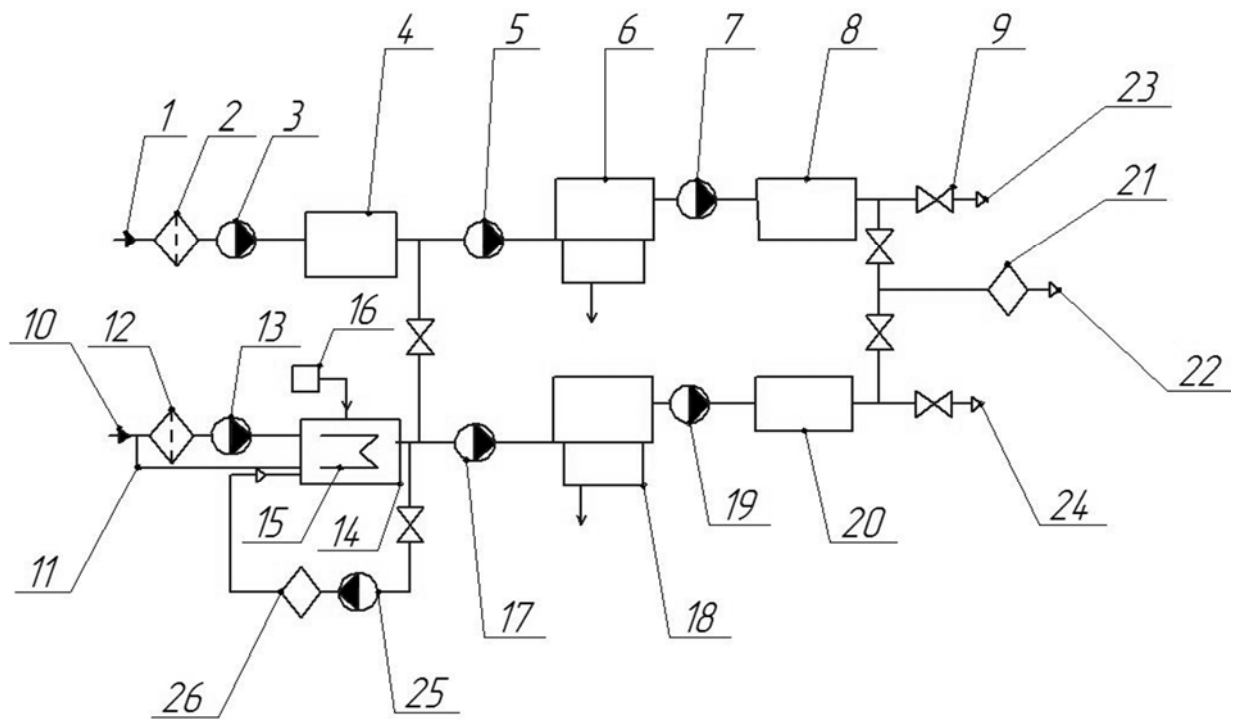
звідки під високим тиском розподіляється по форсунках 6 і впорскується в циліндри двигуна 7. Надлишок палива з форсунок зливається через зворотній трубопровід 3 в бак з біопаливом 2.

Після запуску двигуна і його прогрівання до робочої температури охолоджувальної рідини, подається напруга на ліву обмотку електромагніта 14, який з'єднує основну паливну магістраль з баком для біопалива. Тоді розрідження, що створюється насосом 15, передається в бак 2, внаслідок чого дизельне біопаливо по паливопроводу 4, через витратний вентиль 18, потрапляє до змієвика 9, що вмонтований у верхній бачок радіатора 8 системи охолодження. Оскільки змієвик омивається рідиною, що відводить теплоту від нагрітих деталей двигуна, дизельне біопаливо підігрівається і зменшує в'язкість. Підготовлене таким чином дизельне біопаливо надходить до фільтра 10 і через перемикач 12 потрапляє до загальної магістралі. Після витрачання залишків дизельного біопалива система плавно переводиться на інший тип палива.

Перед закінченням робочої зміни трактора і постановкою його на стоянку напруга подається на праву обмотку електромагнітного клапана 14, загальна магістраль з'єднується з баком 1 для дизельного палива, а двигун переходить на дизельне паливо. Після вигорання біопалива в загальній магістралі живлення двигун глушиться.

Відома система підготовки дизельного та біодизельного палив для двигунів внутрішнього згоряння [148]. Авторами запропоновано принципову схему паливної системи дизельної установки (рис. 1.30), реалізація якої забезпечує можливість використання в дизельного біопалива для живлення дизельного двигуна.

Для забезпечення поставленої задачі запропоновано штатну систему паливоподачі дообладнати паливним баком дизельного біопалива, приймальним трубопроводом із обігрівачем та сепаратором палива з циркуляційним насосом.



1 – приймальний трубопровід дизельного палива; 2, 12 – фільтри грубого очищення; 3, 13 – насоси перекачування палива; 4, 14 – цистерни зберігання палива; 5, 17 – насоси установок очищення палива; 6, 18 – комбінована установка очищення палива (фільтр-сепаратор з вбудованим підігрівником палива); 7, 19 – насоси подачі палив у витратні цистерни; 8, 20 – витратні цистерни; 9 – запірний клапан; 10 – приймальний трубопровід дизельного біопалива; 11 – супутниковий обігрівач; 15 – занурений підігрівник палива; 16 – цистерна присадок для дизельного біопалива; 21 – змішувач; 22 – суміш дизельного палива та дизельного біопалива до двигуна; 23 – дизельне паливо до двигуна; 24 – дизельне біопаливо до двигуна; 25 – насос сепаратора; 26 – сепаратор

Рис. 1.30. Схема паливної системи дизельної установки з можливістю роботи на дизельному біопаливі та його сумішах з дизельним паливом

Така модернізація паливної системи дозволяє застосовувати дизельне біопаливо в паливній системі при низьких температурах навколишнього середовища.

Наявність сепаратора з циркуляційним насосом дає змогу підвищити термін зберігання та якість дизельного біопалива за рахунок періодичної

сепарації палива, для якого характерна висока гігроскопічність та розкладення.

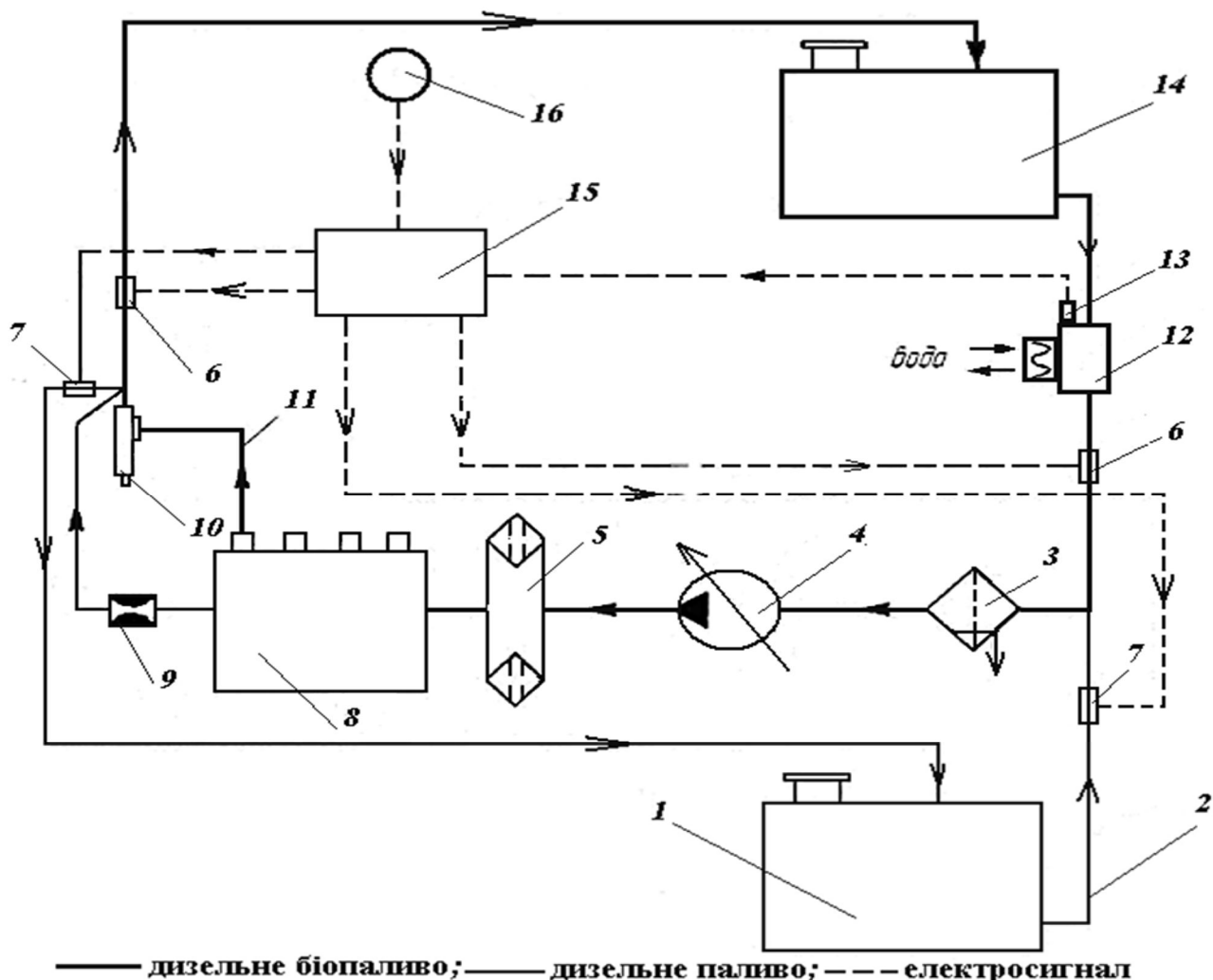
Реалізація запропонованої схеми системи підготовки палива, дає змогу використовувати дизельне біопаливо при низьких температурах навколишнього середовища та підвищує його строк зберігання та якість.

Відомий спосіб переобладнання дизельного двигуна для роботи на біопаливах [149], який полягає в зниженні в'язкості олії шляхом її підігрівання, за рахунок того, що додатково до системи живлення дизельним паливом встановлюють систему перемикання типу палива, при цьому перемикання виду палива здійснюють електромагнітними клапанами електронного блоку керування, що спрацьовує від датчика температури встановленого у баці з олією, а підігрів олії здійснюють гарячою рідиною, отриманою з системи охолодження двигуна (рис. 1.31).

Робота дизельного двигуна на дизельному біопаливі здійснюється наступним чином: двигун запускається і працює після запуску на дизельному паливі. Після прогріву двигуна та нагріву дизельного біопалива в теплообміннику 12 за рахунок теплоти рідини, яка поступає від системи охолодження двигуна, розігрітого у процесі роботи до потрібної температури. Сигнал від датчика 13 передається до електронного блоку керування 15, який в свою чергу відкриває електромагнітні клапани 6 подачі та зливу дизельного біопалива та закриває клапани 7 подачі та зливу дизельного палива. Дизельне біопаливо прокачується паливним насосом низького тиску 4 з бака 14 крізь теплообмінник 12, відкритий клапан 6 і фільтр грубої очистки 3, де паливо проходить попереднє очищення, далі до фільтра тонкої очистки 5 і паливного насоса високого тиску 8. У свою чергу паливний насос високого тиску по трубопроводам високого тиску 11 подає паливо до форсунок 10, а невикористана частина палива зливається по зливному паливопроводу в бак 14 крізь відкритий електромагнітний клапан 6.

Особливістю експлуатації системи в холодну пору року є те, що водій перед довготривалою зупинкою переключає систему паливоподачі на дизельне паливо і промиває трубопроводи, канали паливного насоса високого тиску та

форсунки дизельним паливом для попередження застигання в них дизельного біопалива. Після промивки каналів системи паливоподачі двигун може бути заглушеним.



1 – паливний бак; 2 – паливопроводи; 3 – фільтр грубої очистки палива; 4 – паливопідкачуючий насос низького тиску; 5 – фільтр тонкої очистки палива; 6 – електромагнітний клапан зливу олії; 7 – електромагнітний клапан зливу дизельного палива; 8 – паливний насос високого тиску; 9 – дросель; 10 – форсунки; 11 – палипроводи високого тиску; 12 – теплообмінник підігріву олії; 13 – датчик температури олії; 14 – бак дизельного біопалива; 15 – електронний блок керування паливним насосом високого тиску; 16 – ручний перемикач

Рис. 1.31. Схема живлення двигуна внутрішнього згорання для роботи на дизельному біопаливі

Розглянуті системи забезпечують виконання підігріву дизельного біопалива для забезпечення його фільтрування перед подачею до насоса високого тиску.

Проте до загальних недоліків розглянутих систем необхідно віднести відсутність підігріву основного баку дизельного біопалива та паливопроводів дизельного біопалива, що обмежує використання паливних сумішей при температурі навколишнього середовища нижче 10 °C [150], також максимально можлива температура нагріву дизельного біопалива обмежена температурним режимом роботи прицевійних пар паливного насоса високого тиску. Наявність окремих ліній магістралей паливопроводів, які не мають власного обігріву, призводить до їх закупорювання дизельним біопаливом під час тривалої зупинки при низьких температурах. Магістральні лінії дизельного біопалива та дизельного палива при використанні двобакової системи повинні створювати загальне кільце паливоподачі [151]. Таким чином, аналіз існуючого обладнання для підвищення ефективності використання дизельного біопалива показує, що нагрів дизельного палива в них обмежений температурним режимом роботи паливного насоса високого тиску та температурою нагріву дизельного біопалива близькою до 70 °C.

У роботі [152] роздроблено спосіб температурної підготовки палива в двигунах, який передбачає наявність додаткового паливного баку дизельного біопалива обладнаного нагрівачем та теплообмінником лінії паливопроводів високого тиску. Підігрівач паливного баку забезпечує початковий розігрів дизельного біопалива в паливному баку для забезпечення оптимальної температури його фільтрування. Теплообмінник лінії високого тиску забезпечує більш високий діапазон нагріву дизельного біопалива [153], не порушуючи температурний режим роботи паливного насоса.

Аналіз існуючого обладнання показав, що перспективним напрямком підвищення ефективності використання дизельного біопалива є реалізація його нагріву після паливного насоса високого тиску.

1.9. Огляд теоретичних досліджень з виробництва рослинної олії та дизельного біопалива

Дослідженням процесу відстоювання рідин, як методом їх очистки займалися: Кавецький Г. Д., який встановив, що в обертовому потоці на підвішену частинку діє центробіжна сила, під дією якої частинка рухається від центру до стінки апарату зі швидкістю, рівною силі осадження [27]; Стабніков В. Н., який розрахував, виходячи із особливостей руху твердих частинок в рідкому середовищі, критеріальне рівняння для розрахунку процесу осадження [154]; Шалугін В. С., який проаналізував відстійники та встановив, що осадження під дією центробіжної сили ефективніше, ніж відстоювання під дією сили тяжіння [35]. Суттєвий вклад в розробку кінетичних рівнянь гідролітичного перетворення вуглеводнів вніс Холькін Ю. І. [155]. Кінетичні рівняння для опису процесу ферментації органічної речовини у процесі виробництва компостів та субстратів використано також у роботі [156].

Однак на даний час у доступних джерелах відсутні літературні дані щодо опису за допомогою кінетичних рівнянь осадотворення під час відстоювання віджатої олійної маси.

Теоретичними та експериментальними дослідженнями виробництва дизельного біопалива займались ряд вітчизняних та зарубіжних науковців.

Так, Драгнєв С. В. теоретично визначив висоту реактора естерифікації при умові компонування сировини і каталізатора у попередньо обґрунтованих співвідношеннях за формулою [157]:

$$H = \frac{4}{0,8 \cdot \pi} \cdot V_{ol} \cdot \left(1 + \left(\frac{192,24}{M_{ol}} + 0,015\right) \cdot \rho_{ol} \cdot \frac{1}{\rho_{m1}}\right) \cdot \frac{1}{D^2} + h_k - \frac{h_k}{3 \cdot D^2} \cdot (D^2 + d_B^2 + D \cdot d_B) \quad (1.1)$$

де V_{ol} – об'єм рослинної олії одного циклу естерифікації, м³;

$M_{ол}$ – молярна маса рослинної олії, г/моль;

$\rho_{ол}$ – густина рослинної олії, кг/м³;

ρ_m – густина розчину лужного каталізатору у метанолі, кг/м³;

D – діаметр реактора, м;

h_k – висота конусної частини реактора, м;

d_B – діаметр вихідного патрубку реактора, м.

Ним було розроблено також математичну модель технолічного процесу естерифікації для виробництва дизельного біопалива на основі теорії нечітких множин та нечіткої логіки, проаналізовано вплив змінних параметрів процесу на вихід метилових ефірів жирних кислот [158, 159], а також визначено критерії подібності у процесі виробництва дизельного біопалива.

Також відомі рівняння витрат енергії на естерифікацію рослинних олій з розчином метилового спирту із лужним каталізатором [160, 161]:

$$E_{ec} = \frac{Q}{\eta_H} + \frac{E_{nep}}{\eta_{nep}} \quad (1.2)$$

де E_{ec} – витрати енергії на естерифікацію рослинної олії, Дж;

Q – теплота нагрівання олії, Дж;

η_H – ККД нагрівання олії;

E_{nep} – енергія перемішування, Дж;

η_{nep} – ККД перемішування.

Крім того Драгнєвим С. В. запропоновано методику інженерно-конструкторського розрахунку конструктивних параметрів реактора періодичної дії з використанням лопатевого перемішувача [162] та математично змодельовано адаптивний технологічний процес естерифікації типових рослинних олій з розчином лужного каталізатора КОН у метанолі при виробництві дизельного біопалива в реакторі періодичної дії. Обґрунтовано також раціональні конструктивно-технологічні параметри реактора

естерифікації періодичної дії господарського типу з лопатевим змішувачем [157].

У ННЦ «ІМЕСГ» Вірьовкою М. І. було розроблено рівняння для обрахунку питомої енергомісткості обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням трубчастого естерифікатора [163]:

$$E = \frac{P}{Q\rho\left(1 - \frac{V_{oc}}{V_E}\right)} \quad (1.3)$$

де E – питома енергомісткість естерифікації, кВт год/т;

P – споживана потужність електродвигуна живильного насоса естерифікатора, кВт;

Q – продуктивність живильного насоса естерифікатора, м³/год.;

ρ – густина біодизельного палива, т/м³;

V_{oc} – об'єм гліцеринового осаду в пробі емульсії, м³;

V_E – об'єм проби отриманої емульсії, м³.

В результаті експериментів було також отримано рівняння регресії, яке пов'язує кількість турбулізаторів (N), час перемішування (t) та частоту обертання живильного насоса (n) з питомою енергомісткістю (E), в результаті якої встановлено, що значний вплив на питому енергомісткість має кількість турбулізаторів, менш значний вплив мають час перемішування і частота обертання живильного насоса [163]:

$$E = 2,7865 + 0,4511 N + 0,0235t - 0,0058n - 0,1223N^2 - 0,0015t^2 - 0,0165Nt + 0,0003nN \quad (1.4)$$

Обґрунтовано також процес змішування та розділення при отриманні дизельного біопалива на основі рослинних олій. Отримано формули для визначення ступеня вмісту домішок у біопаливі, ступеня однорідності змішаної

емульсії, потужності приводу змішувача і швидкості осідання гліцеринового осаду [164].

Сухенком Ю. Г. було розроблено алгоритм і методику розрахунку промислових реакторів із механічним змішуванням для виробництва дизельного біопалива із тваринних жирів [165].

Муштрук М. М. було експериментально досліджено перетворення технічних тваринних жирів і жирових відходів продукції тваринництва у дизельне біопаливо по циклічній технології, що в свою чергу дало можливість встановити визначальні чинники, враховані при побудові реактора, а саме: вид сировини, вміст вільних жирних кислот в сировині, тип каталізатора і спирту, раціональні масові співвідношення метанолу та технічних тваринних жирів, каталізатора та технічних тваринних жирів, бензолу та технічних тваринних жирів, спосіб перемішування, його оптимальну температуру і час процесу [166, 167].

Отже, на основі аналізу теоретичних досліджень з виробництва рослинної олії та дизельного біопалива встановлено, що на сьогодні недостатньо даних щодо теоретичних досліджень обладнання для відстоювання олійної маси та виробництва дизельного біопалива із використанням гідромеханічного перемішування.

1.10. Огляд теоретичних досліджень динаміки руху МТА

Основним засобом виконання сільськогосподарських робіт є МТА у складі енергетичного засобу та одноопераційних (простих) або комбінованих робочих знарядь. Енергетичні показники МТА при взаємодії з робочим середовищем змінюються в досить широких межах, що відображається на техніко-економічних показниках. Насамперед, це – витрата палива та час виконання технологічних операцій, а тому питання взаємозв'язку між параметрами МТА та властивостями агротехнологічного середовища та їх

вплив на експлуатаційні параметри роботи МТА вимагає подальших досліджень.

Експлуатаційні властивості МТА впливають із виконуваних ними задач, розділяються на енергетичні, техніко-економічні та агротехнологічні. При виконанні технологічних операцій МТА повинен, в першу чергу, забезпечувати агротехнологічні вимоги до якості виконуваної операції. Здебільшого це стосується сільськогосподарського знаряддя, проте енергетичний засіб також повинен забезпечити виконання відповідних умов. При взаємодії робочої машини з робочим середовищем її енергетичні властивості змінюються в досить широких межах, що в свою чергу відображається на експлуатаційних параметрах енергетичного засобу, насамперед на потужності та витраті палива. Вказані властивості відіграють важливу роль при оцінюванні роботи МТА та взаємопов'язані між собою.

Упродовж тривалого часу дослідженнями роботи МТА займалися такі відомі вчені як В. П. Горячкін, Ю. К. Киртбая, Б. С. Свірщевский, В. Н. Болтинський, Л. Г. Гром-Мазнічевський та інші.

Праці Б. С. Свірщевского та Ю. К. Киртбая заклали основи роботи МТА в польових умовах, адже вони досліджували шляхи зменшення часу допоміжних операцій, ефективне планування виконання технологічних операцій, оптимізацію руху агрегату. У працях [59] Б. С. Свірщевского та [168] Ю. К. Киртбая розглянуто МТА як систему твердих тіл, що пов'язані між собою як жорсткими, так і пружними елементами. При виконанні роботи вся система тіл здійснює поступальний рух, при цьому деякі елементи системи здійснюють також і обертовий рух. Вчені розглядали рівняння руху МТА як баланси сил та затраченої потужності. Даний підхід дає змогу визначити миттєвий розподіл потужності, проаналізувати дію сил в системі, визначити об'єкти, за рахунок яких можна зменшити енергозатрати, але не вирішує задачу визначення ефективних режимів роботи МТА.

У наукових дослідження Л. В. Погорілого [169], І. Й. Натанзона [170], Э. А. Фінна [171], І. І. Мельника [172] та інших приділено багато уваги

комплектуванню складу МТА та обґрунтуванню оптимальних комплексів машин і машинного парку. Дані дослідження при врахуванні існуючого на сьогодні різноманіття ринку сільськогосподарських машин та енергозасобів потребують проведення великих об'ємів експериментальних досліджень для визначення експлуатаційних параметрів та виявлення їх оптимальних режимів роботи та характеристик.

Основи теорії розгону МТА були закладені в науковій праці Е.Д. Львова і більш глибоко проаналізовані в працях В. Н. Болтинского, В. І. Анохіна, М. І. Медведєва, Д. А. Чудакова [173, 174, 175, 176] та ін. У роботах Е. Д. Львова та В. Н. Болтинского теорія розгону МТА будувалася на основі двомасової динамічної системи. Суть її полягає в тому, що всі рухаючі та обертальні маси МТА замінюються двома зосередженими масами (з приведеним моментом двигуна і самого агрегату), які з'єднанні між собою за допомогою муфти зчеплення. При цьому не враховувалося буксування коліс. Закладені ними основи динамічної моделі знайшли розвиток в подальших науково-дослідних роботах [177, 178], які були направлені на визначення та зменшення граничних навантажень, що виникають в системах передачі крутного моменту від двигуна до рушіїв під час розгону та зменшення їх впливу на складові систем трансмісії для підвищення її надійності.

При виконанні теоретичних досліджень тягово-енергетичних параметрів із застосуванням дизельного біопалива [179], МТА розглянуто як багатовимірну систему із змінними параметрами стану, а поступальний рух трактора характеризується рівнянням:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P_K - \sum R_c}{m_{a2}}, \quad (1.5)$$

де $\frac{dv}{dt}$ – прискорення МТА, м/с²;

P_K – рушійна сила (дотична сила тяги трактора), Н;

ΣR_c – сума сил опору агрегата, Н;

m_{az} – маса МТА, кг.

Отримана залежність представлена як лінеаризована монотонна безперервна функція швидкості, яка після розкладання опору руху агрегата в ряд Фур'є набуває вигляду:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{m_{az}} \left(\frac{\partial P}{\partial v} - \frac{\partial \Sigma R_c}{\partial v} \right) \Delta v + \frac{1}{m_{az}} (\Delta P_{kl} - \Delta \Sigma R_{cl}), \quad (1.6)$$

де $\frac{\partial v}{\partial t}$ – прискорення, м/с²;

$\frac{\partial P}{\partial v}$ – значення похідної в точці сталого режиму руху, кг/с;

Δv – абсолютне відхилення швидкості агрегату, м/с;

$\Delta \Sigma R_{cl}$ – відхилення сили опору, що залежить від агрофону місцевості, Н;

ΔP_{kl} – зміна рушійної сили внаслідок впливу на неї факторів, наприклад, теплотворної здатності палива.

Зміну рушійної сили запропоновано визначати виходячи із зміни ефективної потужності двигуна, яку запропоновано визначати наступним чином:

$$N_e = \frac{Q_H^p \rho}{3600} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_s - P_u)} \Delta \mu \frac{\pi d^2 z}{4} \frac{\varphi_{вп}}{\omega} \frac{\pi}{180} n \eta_e, \quad (1.7)$$

де Q_H^p – нижча теплота згоряння робочої суміші, МДж/кг;

ρ – густина палива, кг/м³;

P_s – тиск впорску палива, Па;

P_u – тиск газів в циліндрі, Па;

Δ – коефіцієнт, який характеризує зміну прохідного перерізу;

d – діаметр отворів розпилювача форсунки, м;

z – кількість отворів розпилювача, шт;

$\varphi_{ВП}$ – тривалість впорскування, град. пов. колінч. ваду;

ω – кутова швидкість, рад/с;

n – кількість форсунок двигуна, од.;

η_e – ефективний коефіцієнт корисної дії двигуна, відн. од.

Застосування отриманих залежностей для виконання практичних розрахунків зміни параметрів роботи МТА обмежено наявністю у рівнянні складових, які можна визначити тільки за допомогою проведення складних експериментальних досліджень при наявності відповідного спеціалізованого обладнання.

Найбільш наближена до практичного застосування на наш погляд є математична модель [180]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m_m}{2} V^2 \right) + R_c V = \eta_m N_E, \quad (1.8)$$

де: m_m – маса МТА, кг;

V – швидкість руху, м/с;

R_c – сила опору руху, Н;

η_m – тяговий ККД трактора;

N_E – номінальна потужність двигуна, Вт.

Застосування існуючих математичних моделей, для оцінки практичної оцінки роботи МТА при застосуванні дизельного біопалива, обмежено відсутністю чіткого взаємозв'язку між властивостями агротехнологічного середовища, параметрами МТА та властивостями типу палива, що використовується.

Проведений аналіз літературних джерел вказує на необхідність уточнення рівняння динаміки МТА та приведення його до форми, придатної для практичного застосування.

Резюме по розділу 1

1. Необхідно розробити обладнання для гравітаційного осадження рослинної олії під потреби виробництва дизельного біопалива, а також удосконалити обладнання для виробництва дизельного біопалива.

2. Проведений аналіз властивостей дизельного біопалива показує, що найбільш перспективним, з точки зору використання в якості палива для дизельних двигунів, є дизельне біопаливо, яке одержують на основі метилових ефірів жирних кислот рослинних олій.

3. Отримання рослинної олії – це багатоетапний процес, до якого входить приймання зерна, його очистка та підготовка до обробки, отримання неочищеної олії, очищення олії шляхом фільтрування та гравітаційного осадження, рафінування та вінтеризація. Для нехарчових потреб достатньо використовувати рослинну олію очищену шляхом гравітаційного осадження, яку в подальшому можна використовувати для виробництва дизельного біопалива, що в свою чергу знизить ціну виробленого продукту.

4. На основі аналізу теоретичних досліджень з виробництва рослинної олії та дизельного біопалива встановлено, що на сьогодні недостатньо даних щодо теоретичних досліджень обладнання для відстоювання олійної маси та виробництва дизельного біопалива із використанням гідромеханічного перемішування.

5. Непропорційність збільшення витрати палива дизельного двигуна при роботі на дизельному паливі та дизельному біопаливі до співвідношення їх теплотворних здатностей на тлі відсутності суттєвих змін в екологічних показниках роботи дизельного двигуна свідчить про зменшення ефективності згорання дизельного біопалива.

6. Аналіз виконаних досліджень дозволяє стверджувати, що при використанні дизельного біопалива відбувається збільшення діаметру краплин впорскнутого палива, зменшення кута розпилення та збільшення далекобійності впорскнутого факела палива.

7. Дослідження застосування дизельного біопалива та застосування підігріву, дозволяють стверджувати, що покращення характеристик впорскування та згорання палива може бути досягнута за рахунок зменшення його показників кінематичної в'язкості та густини.

8. На основі аналізу обладнання для виробництва дизельного біопалива встановлено, що необхідно рухатись в напрямку зменшення габаритів обладнання, його універсальності, а також використовувати гідромеханічне перемішування, яке дає змогу суттєво підвищити ефективність виробництва.

9. Аналіз існуючого обладнання для підвищення ефективності використання дизельного біопалива показав, що перспективним напрямком підвищення ефективності використання дизельного біопалива є реалізація нагріву дизельного біопалива після паливного насоса високого тиску.