

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Механіко-технологічний факультет

УДК 331.4:662.767.2

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного  
факультету

Братішко В.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри охорони праці та  
біотехнічних систем у тваринництві

В.С. Хмельовський

“\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: “Обґрунтування технології та вибір обладнання для виробництва біо-  
дизеля”

НУБІП України

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

НУБІП України

Керівник магістерської роботи

професор \_\_\_\_\_

Поліщук В. М.

НУБІП України

Виконав \_\_\_\_\_

Рудик А. І.

НУБІП України

Київ / 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри охорони праці та  
біотехнічних систем тваринництва  
В.С. Хмельовський

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Рудику Андрію Івановичу

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Обґрунтування технології та вибір обладнання  
для виробництва біодизеля»

Затверджена наказом ректора НУБіП України від "30" грудня 2022 р. за

№ 1943 "С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру – 01.10.2022 року.

Вихідні дані до магістерської роботи:

– потреба в дизельному паливі для ТОВ "Погребищенське" Погребищенсь-  
кого р-ну Вінницької обл.;

– фізико-механічні властивості дизельного біопалива;

– фізико-механічні властивості олії.

Перелік питань, що підлягають дослідженню.

– здійснити аналіз технологій та технічних засобів виробництва біодизеля;

– встановити конструкційно-технологічні параметри реактора для вироб-  
ництва біодизеля, вибрати обладнання і здійснити проектування лінії з виробниц-  
тва біодизеля для ТОВ "Погребищенське";

– шляхом проведення експериментальних досліджень визначити оптимальну температуру реакції естерифікації, при якій отримується найбільший вихід біодизеля;

– здійснити аналіз виробничих небезпек на біодизельних виробництвах, вказати рекомендації щодо уникнення небезпечних ситуацій, здійснити розробку технічного регламенту "Безпека виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребинське»", розрахувати параметри системи вентиляції для видалення з виробничого приміщення парів метанолу.

– провести техніко-економічну оцінку проекту.

Дата видачі завдання 09.02.2023 р.

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_ Поліщук В. М.

~~Завдання прийняв до виконання~~

Рудик А. І.

## ЗМІСТ

Завдання до виконання магістерської роботи.....	2
Зміст.....	4
Реферат.....	6
Вступ.....	7
Розділ 1. Стан і перспективи виробництва і застосування біодизеля.....	10
1.1. Біодизель.....	10
1.2. Технології і технічні засоби виробництва біодизеля.....	13
Висновки до розділу 1.....	18
Розділ 2. Визначення конструкційно-технологічних параметрів реактора для виробництва біодизеля для ТОВ "Погребишенське".....	19
2.1. Характеристика господарства.....	19
2.2. Визначення потреб ТОВ "Погребишенське" в дизельному паливі для проведення сільськогосподарських робіт.....	19
2.3. Встановлення обсягу реактора з виробництва біодизеля.....	20
2.4. Встановлення геометричних розмірів біодизельного реактора.....	20
2.5. Методика визначення конструкційно-технологічних параметрів реактора для виробництва біодизеля.....	23
2.5.1. Методика визначення товщини стінки реактора для виробництва біодизеля.....	23
2.5.2. Методика конструкційно-технологічного розрахунку мішалки реактора для виробництва біодизеля.....	25
2.6. Визначення конструкційно-технологічних параметрів реактора для виробництва біодизеля.....	27
2.6.1. Вибір матеріалів для виготовлення біодизельного реактора.....	27
2.6.2. Визначення товщини стінки реактора для виробництва біодизеля....	28
2.6.3. Конструкційно-технологічний розрахунок перемішуючого пристрою реактора для виробництва біодизеля.....	31

2.7. Проектування установки з виробництва біодизеля для ТОВ "Погребишенське".....	35
Висновки до розділу 2.....	37
Розділ 3. Експериментальне дослідження отримання метилового ефіру.....	39
3.1. Методика виробництва метилового ефіру естерифікацією рослинних олій.....	39
3.2. Результати досліджень отримання метилового ефіру шляхом естерифікації рослинної олії.....	40
Висновки до розділу 3.....	43
Розділ 4. Охорона праці.....	44
4.1. Аналіз виробничих небезпек на біодизельних виробництвах.....	44
4.2. Технічний регламент "Безпека виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребишенське»".....	44
4.3. Розрахунок системи приточно-витяжної вентиляції на заводі з виробництва біодизеля.....	51
Висновки до розділу 4.....	53
Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування проекту.....	54
Висновок до розділу 5.....	61
Висновки.....	62
Список використаних джерел.....	64
Додатки.....	70
Додаток А. Результати експериментальних досліджень.....	71
Додаток Б. Креслення деталей та вузлів біодизельного реактора.....	72

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему "Обґрунтування технології та вибір обладнання для виробництва біодизеля" складається із розрахунково-пояснювальної записки загальним обсягом 78 сторінок машинописного тексту, в т.ч. 34 формули, 17 рисунків, 4 таблиці, 52 літературних джерел, 2 додатків, та презентації на 19 слайдах.

У вступі вказана необхідність в альтернативному паливі для зміни нафтового дизельного палива.

У першому розділі описано, що таке біодизель, наведена його характеристика, описані технології та технічні засоби виробництва біодизеля.

У другому розділі на основі характеристики ТОВ "Погребишенське" Погребишенського р-ну Вінницької обл. проведено визначення конструкційно-технологічних параметрів реактора для виробництва біодизеля і проведено підбирання обладнання для лінії виробництва біодизеля в господарстві.

В третьому розділі здійснене експериментальне встановлення якісних показників біодизеля. Визначена оптимальна температура реакції естерифікації, при якій отримується найбільший вихід метилового ефіру.

В четвертому розділі здійснений аналіз виробничих небезпек біодизельних виробництв та дані рекомендації щодо уникнення небезпечних ситуацій. Здійснена розробка технічного регламенту "Безпека виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребишенське»". Розраховані параметри системи вентиляції для видалення з виробничого приміщення парів метанолу.

У п'ятому розділі обґрунтовано техніко-економічну ефективність проекту.

У висновках наведені основні результати проектування.

Ключові слова: БІОДИЗЕЛЬ, БІОМАСА, БІОДИЗЕЛЬНИЙ РЕАКТОР, КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ОЛІЯ

## ВСТУП

Протягом тривалого часу альтернативні джерела отримання енергії не вважалися серйозною енергетичною альтернативою. Того ж часу основна частина необхідної в світі енергії покривається шляхом використання нафтопродуктів (38%), викопного вугілля (26%), природного газу (23%), альтернативних джерел отримання енергії (7%) та атомної енергетики (6%). Зміни в кліматі, зменшення запасів викопних джерел енергії та негативні моменти і ризики, викликані використанням атомної енергії, обумовлюють розвиток і використання всіх напрямків альтернативної енергетики основною потребою XXI ст.

Джерела поновлюваної енергії – джерела, що безперервно поновлюються в біосфері планети види енергії: сонячна, вітрова, океанічна, гідроенергія річок, геотермальна, енергія біомаси тощо.

Стратегічною метою в використанні поновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива наступні:

- скорочення обсягу споживання викопних паливно-енергетичних матеріалів,

- скорочення екологічного впливу діяльності паливно-енергетичного виробництва;

- забезпечення потреб децентралізованих регіонів та споживачів з сезонною потребою палива;

- скорочення затрат на перевезення на значні відстані паливо.

В Україні заплановано організація широкомасштабних проектів з розробки, отримання і використання палив, вироблених з відновлюваних матеріалів, в енергетичній галузі та, особливо, для дизельних двигунів внутрішнього згоряння.

Традиційними видами моторного пального в двигунах внутрішнього згоряння вважаються палива, сировина для отримання котрих є викопні джерела. Виробництво пального здійснюється традиційним виробничим способом: рідкі

палива – на нафтопереробних заводах, газоподібні – на підприємствах отримання та розподілу природного газу отримання зрідженого газу.

Альтернативними моторними паливами вважаються палива, отримані з викопних матеріалів, але за новими, зазвичай, відмінними від традиційних технологій, способами та палива, вироблені з поновлюваних ресурсів: органічних відходів рослинної сировини, мікроорганізмів, крім того, з відходів сільського господарської діяльності, промислових виробництв та інших процесів діяльності людини.

Створити проект для промислового виробництва енергії з поновлюваних джерел перспективно не лише у зв'язку з зменшенням запасів викопних джерел енергоносіїв. Відомо, що спалювання енергоносіїв викликає глобальні негативні наслідки для довкілля: інтенсивне надходження в атмосферу вуглецю, накопиченого під землею у вигляді органічного палива за мільйони років [50].

Отже очевидно, що тема магістерської роботи актуальна та своячасна.

**Метою магістерської роботи** є підвищення ефективності господарювання в ТОВ "Погребищенське" Погребищенського р-ну Вінницької обл. шляхом обґрунтування технології, розрахунку конструкційно-технологічних параметрів біодизельного реактора та підбору обладнання для лінії виробництва біодизеля.

**Об'єктом досліджень** є технології і технічні засоби для виробництва біодизеля.

**Предметом досліджень** є обґрунтування технології та вибір обладнання для виробництва біодизеля в ТОВ "Погребищенське".

**Завдання** для виконання магістерської роботи:

- здійснити аналіз технологій та технічних засобів виробництва біодизеля;
- встановити конструкційно-технологічні параметри реактора для виробництва біодизеля, вибрати обладнання і здійснити проектування лінії з виробництва біодизеля для ТОВ "Погребищенське";
- шляхом проведення експериментальних досліджень визначити оптимальну температура реакції естерифікації, при якій отримується найбільший вихід біодизеля;



– здійснити аналіз виробничих небезпек на біодизельних виробництвах, вказати рекомендації щодо уникнення небезпечних ситуацій, здійснити розробку технічного регламенту "Безпека виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребишенське»", розрахувати параметри системи вентиляції для видалення з виробничого приміщення парів метанолу.

– провести техніко-економічну оцінку проекту.

Очікувані результати магістерської роботи:

– проведений аналіз технологій та технічних засобів виробництва біодизеля;

– встановлені конструкційно-технологічні параметри реактора для виробництва біодизеля, вибране обладнання і здійснене проектування лінії з виробництва біодизеля для ТОВ "Погребишенське";

– шляхом проведення експериментальних досліджень визначена оптимальна температура реакції естерифікації, при якій отримується найбільший вихід біодизеля;

– здійснений аналіз виробничих небезпек на біодизельних виробництвах, вказана рекомендації щодо уникнення небезпечних ситуацій, здійснена розробку технічного регламенту "Безпека виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребишенське»", розраховані параметри системи вентиляції для видалення з виробничого приміщення парів метанолу.

– проведена техніко-економічна оцінка проекту.

В основу магістерської роботи закладені такі методи наукових досліджень:

– аналіз та синтез структури процесу виробництва біодизеля;

– математичне моделювання об'єкта досліджень;

– аналізу системи "олія – метанол – біодизель – гліцерол".

## РОЗДІЛ 1. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА І

### ЗАСТОСУВАННЯ БІОДИЗЕЛЯ

#### 1.1. Біодизель

Найдаптованішим до використання в дизельних двигунах альтернативним паливом, отриманим із відновлюваних матеріалів є метиловий ефір жирних кислот, який також називають біодизелем. Порівняно із дизельним паливом, отриманим із нафти, він володіє хорошими змащувальними властивостями (дизельне паливо, отримане із нафти, під час видалення з нього з'єднань сірки втрачає свої властивості до змащування, а біодизель, хоча і має незначний вміст сполук сірки, володіє високими показниками змащування, при цьому термін його використання між ремонтами зростає до 50%). Відсутність з'єднань сірки в біодизелі відповідно обумовлює незначний вміст її сполук в вихлопних газах (0,001% тоді як в дизельному паливі з нафти їх 0,05%) [51]. Вміст потрапляння в довкілля шкідливих з'єднань і твердих вихлопів під час роботи двигуна на біодизельному пальному падає на 20-25%, вміст чадного газу – на 9-12%, в порівнянні з викидами нафтового дизельного палива [52]. Біодизель не має бензолу з канцерогенними властивостями, а вихлопи двигуна, працюючому на ньому, пахнуть смаженим насінням. Вміст вуглекислого газу в викидах біодизельного двигуна дорівнює кількості вуглекислого газу, взятого із атмосфери рослинами, з яких вироблена олія [24]. Біодизель характеризується високим цетановим числом – 51, це прискорює запуск двигуна. Біодизель також характеризується високою температурою спалаху (не меншою 110°C), при цьому його використання стає відносно безпечним [17].

Але з підвищенням тиску вприскування до 25% і зростання температури в системі живлення негативно впливає на надійність функціонування насосів і керуючих електронних систем, що призводить до прискорення появи нагару на виході форсунок. При зниженні температур в'язкість біодизеля збільшується, ньому утворюються частки воску, які можуть закупорити бензопроводи та фільтри в системі двигуна. Це призводить до недостатньої стійкості його до

низьких температурних показників [25]. Неочищене від вмісту метанолу біодизельне паливо є агресивним середовищем для ущільнюючих матеріалів, виготовлених із гуми, фарб, лаків, а також алюмінієвих деталей. За показником теплоти згорання біодизельне паливо на 10% поступається дизпаливу із нафти (37,2 МДж/кг для біодизеля, 42,5 МДж/кг для нафтового дизпалива). З цієї причини величина потужності двигуна, працюючого на біодизелі, падає приблизно на 7%, а використання палива росте на 5-8% [18].

Хімічний склад біодизеля: ефірні сполуки жирних кислот - сировина для його отримання, містить жири (рослинного або тваринного походження). Під час додавання до тваринних жирів або олій спирту (етилового, метилового або ізопропілового) в присутності речовини-катализатора, в процесі ряду хімічних перетворень тригліцериди жирних кислот утворюють гліцерин і ряд складних ефірів, які мають назву біодизель. Необхідною умовою для проходження процесу алкоголізу є присутність катализатора та підігрів реагуючих складових до температури 40-80°C (у відповідності до традиційної технології виробництва) [26]. Катализаторами як правило виступають кислоти та луги. В першу чергу з біодизеля виділяють гліцерин, потім очищають від катализатора та непрореагованого спирту, який додавався для повного проходження реакції з надлишком. Після цих операцій біодизель може використовуватись як паливо для дизельних двигунів [15].

Сировиною для отримання біодизельного палива I покоління слугують рослини оливи: у США – олія сої, в регіоні Південно-Східної Азії – олія олійної пальми, в Індії – оліва з плодів ятрофи. В Європейських країнах найбільш використовуваною сировиною для отримання метилового ефіру є олія ріпака, яка переробляється в метиловий ефір, не піддаючись попередній підготовці [35]. Традиційно використовувана в Україні соняшникова олія без підготовки непридатна для отримання біодизельного палива, оскільки має в своєму складі воски, які можуть забивати фільтри паливної системи. Тому перед процесом отримання біодизеля її необхідно очистити від вмісту восків шляхом процесу виморожування

(вінтеризації). Ведуться дослідні роботи щодо застосування інших олійних рослин для отримання біодизеля. Найбільш перспективними вважаються суріпку, ріжжій, гірчицю, олійна редька та льон, сафлора. Наукові дані говорять, що з 1 т плодів ріпаку одержують 300 кг (30%) оливи, з якої отримують біля 270 кг біодизельного палива [50].

Частка гліцерину при цьому процесі дорівнює 5-10%. Після процесу очищення з нього отримують фосфорні добрива, миючі засоби та рідке мило, його можна використовувати як корм для худоби. Крім того гліцерин використовується в якості палива. Побічним продуктом у виробництві біодизельного пального є макуха, отримана в результаті видавлювання олії пресом холодним способом. Макуха містить протеїни та жири (залишок до 30%) її використовують в якості корму для худоби та в виробництві комбікорму (низькоглюкозидні та безерукові, - 000-сорти) [36]. Макуха також використовується в якості палива в котельних установках. Сировина для отримання біодизельного палива

II покоління - це відходи рослинних і тваринних жирів в харчовій промисловості.

Харчові продукти зазнавали довготривалу термічну обробку, тому жирові відходи мають високий показник кислотності. Також у своєму складі вони мають значну кількість механічних домішок, що потрапляють туди при приготуванні їжі. Найбільші перспективи в якості сировини для отримання біодизельного палива III

покоління є водорості. Для їх росту необхідна енергія сонячного світла та присутність вуглекислого газу. Водорості можна вирощувати скрізь. Вони спроможні витримати екстремальні температури. Надзвичайно цінною властивістю водоростей є те, що вони здатні до надшвидкого розмноження, їх вага здатна подвоїтися

напротязі одного дня. Певні види водоростей (напр., *Nannochloropsis* і *Nannochloris*) найкраще підходять для отримання біодизеля за високим показником вмісту ліпідів (більше 50%), та надзвичайно швидким темпом росту. Досліджено, що *Scenedesmus dimorphus*, вирощена в різних умовах, вміщує ліпідів в межах 15-40%, а *Chlorella vulgaris* – 13-22% від сухої речовини [29]. Слід зазначити, що якісні показники біодизеля перебувають в залежності від складу жирних кислот у вихідній сировині. До складу водоростей з насичених жирних кис-

лих кислот у вихідній сировині. До складу водоростей з насичених жирних кис-

лих кислот у вихідній сировині. До складу водоростей з насичених жирних кис-

лих кислот у вихідній сировині. До складу водоростей з насичених жирних кис-

лих кислот у вихідній сировині. До складу водоростей з насичених жирних кис-

лот найбільша частка належить пальмітиновій, з ненасичених – пальміто-олеїновій (16:1) і ліноленовій (18:3). Загальний показник ненасиченості жирних кислот в ліпідах мікрободоростей перевищує показник пальмової олії. Склад жирних кислото ліпідів у мікрободоростей суттєво змінюється в залежності від змін умов вирощування. Зменшення температури вирощування, як і збільшення інтенсивності освітлення, сприяє зростанню кількості ненасичених жирних кислот у складі водоростей. Більшість водоростей спроможні утворити в п'ятнадцять разів більше оливи на одиницю площі, займаємої мікроорганізмами, ніж інші олійні рослини, наприклад соя або кукурудза. Департамент енергетики США та компанія Green Star Products оприлюднили дані, за якими один акр (оля 0,4 га) землі спроможний дати 255 л олії сої, 630 л канолі, 2400 л олії олійної пальми та 45000 л оливи з водоростей [12; 34].

Біодизельне паливо в Україні отримують у відповідності з національним стандартом ДСТУ 6081:2009 “Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот, олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні умови” Цей документ відповідає Європейському стандарту EN 14214:2003 “Паливо для автомобілів. Метилові ефіри жирних кислот для дизельних двигунів. Вимоги і методи аналізу”. Також існує державний нормативний документ ДСТУ 7178:2010 “Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот, олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання”. Також розроблений державний стандарт ДСТУ 7178:2010 “Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот, олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання”. Сумішевий біодизель в нашій країні підлягає дії ДСТУ 4840:2007 “Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови», в якому передбачено отримання сумішевого дизеля B5 з добавкою біодизеля в кількості 5%. Планується розробка державних стандартів на сумішеве дизельне паливо з добавлянням біодизельного полива в кількості 10%, 20% та 30%, це дозволить його реалізацію на ринку аналогічно з традиційним [27].

## 1.2. Технології і технічні засоби виробництва біодизеля

В виробництві біодизеля беруть участь рослинні (олії, відпрацьовані олії, ліпіди водоростей) та тваринні (некондиційні білий та жовтий) жири. Під час виробництва олії із плодів рослин в процесі його попереднього очищення видаляють механічні включення (рис. 1.1), потім механічним пресуванням чи екстрагуванням із сировини виділяють олію, яку в подальшому піддають рафінації

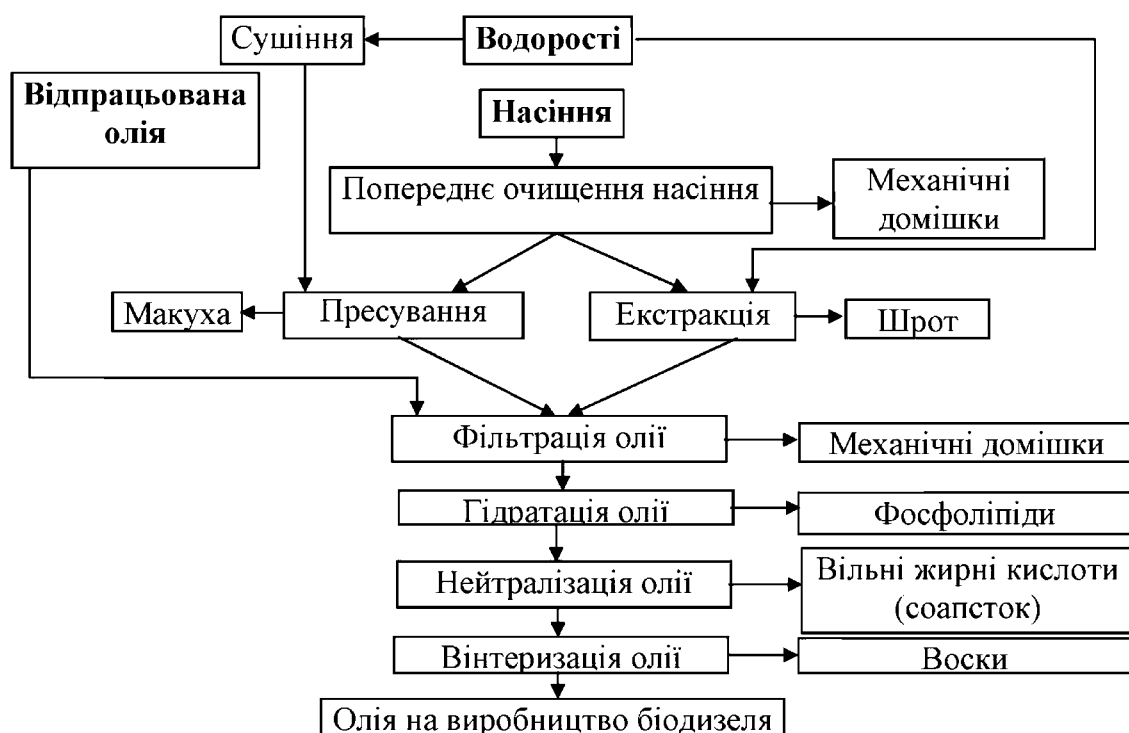


Рис. 1.1. Технології виробництва олій рослин для отримання біодизеля [28]

(нейтралізації, вінтеризації, гідратації, вінтеризації тощо). Відпрацьовану рослинну олію обов'язково очищають від механічних включень. Після чого здійснюють її нейтралізацію для видалення жирних кислот. Жири із водоростей отримують з їх біомаси, яку після накопичення в біореакторах піддають механічному пресуванню або екстракції (попередньо висушивши). Отже, біодизельне паливо є результатом реакції алкохолізу рослинних, тваринних або жирів іншого походження спиртовими речовинами (метиловим, етиловим спиртом тощо). Зазвичай для проходження реакції алкохолізу використовують метанол, в такому разі процес називається реакцією метанолізу. Продукт, отриманий в результаті реакції називається

метиловим ефіром жирних кислот (МЕЖК) – вважається заміником дизельного палива, отриманого з нафти, це і є біодизель. Реакція алкохолізу проходить надзвичайно повільно. З метою пришвидшення процесу користуються кислотними або лужними каталізаторами. В залежності від типу каталізатора, його походження, користуються наступними методами отримання МЕЖК: метанолізний метод з використанням гомогенного каталізатора; метанолізний метод з використанням гетерогенним каталізатором; метанолізний метод без каталізатора (рис. 1.2) [28].

Під час процесу метаноліза з використанням гомогенного каталізатора він перебуває разом з реагентами. Його вміст – не більше 2%. Реакція проходить в умовах атмосферного тиску, значення температури 35-40°C з використанням інтенсивного перемішування на протязі 10-15 хв. У випадку одноступеневого процесу, в отриманій субстанції наявні непрореаговані моно-, ди- і тригліцериди. Щоб не допустити цього, необхідно збільшити вміст метанолу в реагуючій суміші або використовувати двоступеневий процес. В обох випадках, отриманий продукт є забрудненим затрат на очищення біодизеля. По причині того, що процес метанолізу з використанням гомогенного каталізатора порівняно простий, він не потребує дорогого обладнання, його використовують в установках алої продуктивності. Під час використання технології з застосуванням гетерогенного каталізатора він виступає як окрема фаза, відокремлена від реагентів, реакція відбувається на твердій поверхні каталізатора, що потребує складнішого обладнання. Температура проходження реакції 200-220°C, величина тиску біля 20 атм. (в випадку використання в якості каталізатора іонообмінної смоли – температура 50°C і тиск 10 атм). Термін проходження реакції метанолізу – біля години. Технологією передбачено обов'язкова регенерація каталізатора. За технологією отримання біодизеля з використанням гетерогенного каталізатора використовують змішуючі реактори, дрібнозернистий каталізатор в яких перемішується з реагуючими складовими, реактор з перемішуючим (киплячим) масивом каталізатора в пилоподібному вигляді та реактори, каталізатор якого нерухомий (гранульований, нанесений на ґрати в реакторі, ферментативний іммобілізований, іонообмінні смоли).

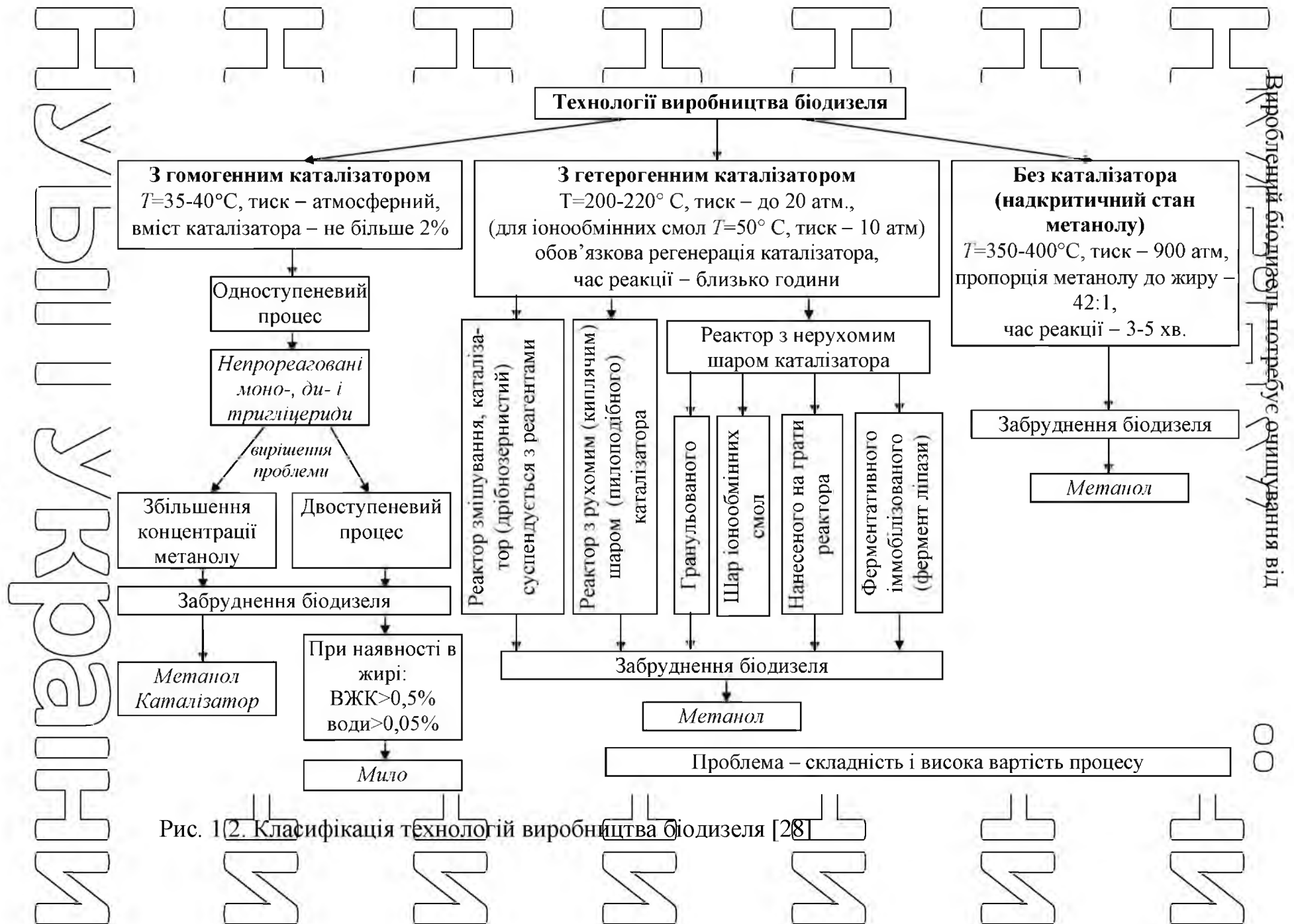


Рис. 1(2). Класифікація технологій виробництва біодизеля [28]



вмісту метанолу, при цьому забруднення каталізатором відсутнє. Недолік цієї технології полягає в її складності і високій вартості процесу. Технологія вироблення біодизеля без використання каталізатора базується на процесі дії спиртів на жири в умовах надкритичного стану: за температур 350-400°C та величині тиску біля 900 атм. За цих умов термін проходження реакції зменшується до 3-5 хв. Перевага цього методу - вищий вихід біодизеля, відсутність каталізатора, він дозволяє отримувати (після процесу очищення від вмісту метанола) біодизель ідеальної чистоти. Але, серед розглянутих технологій ця найскладніша [28].

Основний апарат, де відбувається перехід жирів у біодизельне паливо, є реактор. Від якості і повноти проходження реакції, залежить склад технологічної лінії іншими пристроями, які виконують очищення біодизеля. Якість процесу метанолізу з використанням гомогенного каталізатора залежить від якості та ефективності процесу перемішування реагуючих складових, яке здійснюється або механічним перемішуванням, або перемішуванням, викликаним створенням ефекту кавітації. Теперішнього часу для отримання біодизеля з використанням гетерогенного каталізатора застосовують реактори, перемішування реагентів в яких відбувається кавітаційним та механічним способом. Існують реактори з кавітаційним перемішуванням, принцип створення кавітації в яких гідродинамічний, струменевий, ультразвуковий та акустичний (рис. 3). Перевагою реакторів з кавітаційним перемішуванням вважається високий показник продуктивності оскільки час, на протязі якого проходить змішування реагуючих компонентів та протікає реакція метанолізу, зазвичай не забезпечує її якісне проходження. Інший тип реактора для вироблення біодизеля це реактор із перемішуванням реагентів механічним способом, який має вигляд циліндричної місткості, висота якої перевищує в 2-2,5 рази величину його діаметра. Найчастіше виготовляється він з нержавіючої сталі. Для підтримання необхідного температурного режиму апарат оснащений водяною сорочкою або теплообмінником типу "змійовик". Реактор обладнаний трубопроводами та іншою необхідною арматурою для подання реагентів та видалення отриманих в результаті реакції продуктів. Для перемішування реагуючих складових використовують механічні

мішалки, форми яких можуть бути різними (стрічкова, якірна, рамна, лопатева тощо). Продуктивність реакторів із механічними мішалками нижча, ніж у кавітаційних реакторів, але якщо врахувати якісніше перемішування, отримується біодизель такої якості, яка задовольняє вимогам найсучасніших стандартів [28].

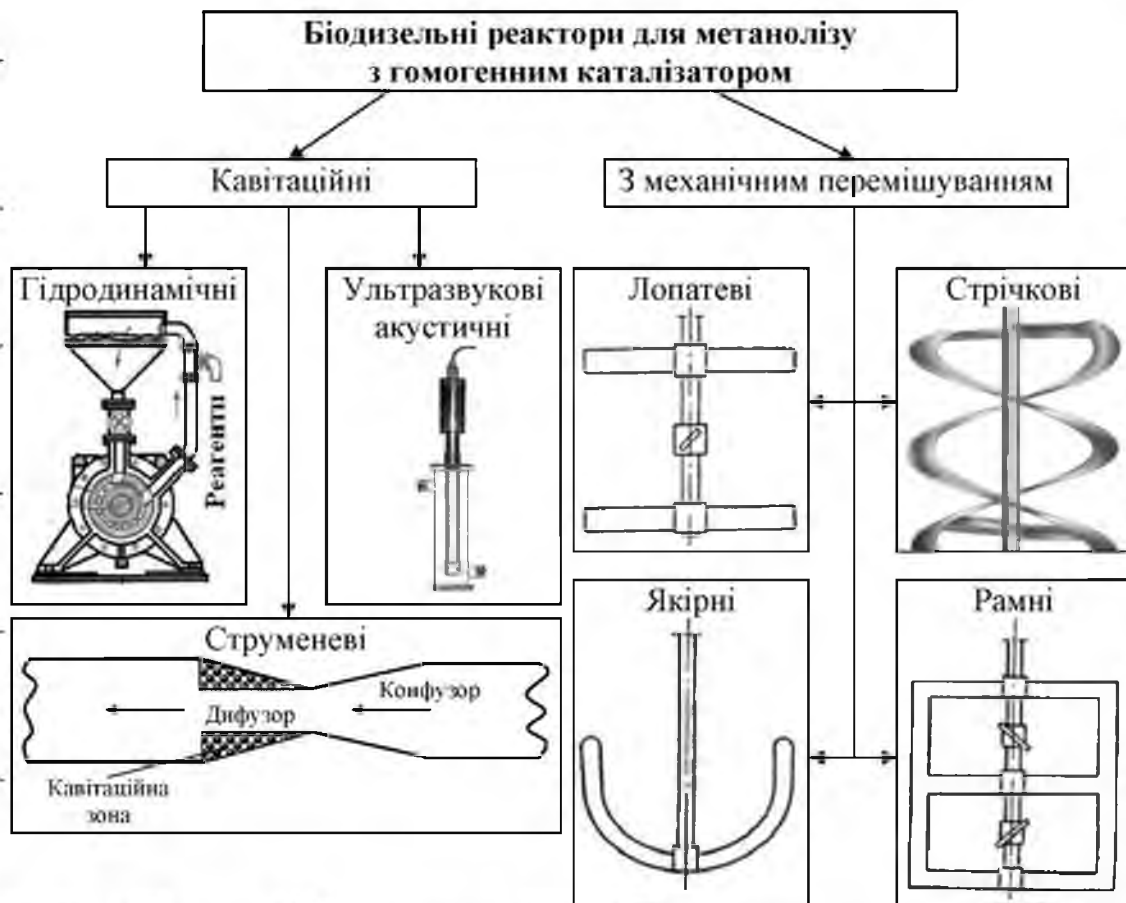


Рис. 1.3. Різновидності реакторів для процесу метанолізу з використанням гомогенних каталізаторів [28]

### Висновки до розділу 1

1. Заміною нафтового дизельного палива можуть виступати метилсні ефіри жирних кислот, які часто називають біодизелем.

2. Найбільш простою і дешевою технологією виробництва біодизеля є технологія з гомогенним каталізатором.

РОЗДІЛ 2.  
**ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
РЕАКТОРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ ДЛЯ ТОВ  
"ПОГРЕБИШЕНСЬКЕ"**

### 2.1. Характеристика господарства

Товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) "Погребишенське" розташоване в м. Погребище Погребищенського р-ну Вінницької обл.

Господарство займається вирощуванням зернових та олійних культур. На підприємстві працює 60 робітників.

Посіви соняшнику займають 680 га, ріпаку – 560 га, сої – 430 га, пшениці – 900 га [47].

### 2.2. Визначення потреб ТОВ "Погребишенське" в дизельному паливі для проведення сільськогосподарських робіт

Відповідно до [46], витрата дизпалива при вирощуванні озимої пшениці становить 53 кг/га, а при щільності дизпалива  $860 \text{ кг/м}^3 - \frac{53 \cdot 1000}{860} = 62 \text{ л/га}$ . Витрата

дизельного палива при вирощуванні озимої пшениці на площі 900 га становить  $900 \cdot 62 = 55800 \text{ л}$ .

Витрата дизпалива на вирощування сої становить 81 кг/га [46], або  $\frac{81 \cdot 1000}{860} = 95 \text{ л/га}$ , на вирощування ріпаку – 44 кг/га, або  $\frac{44 \cdot 1000}{860} = 51 \text{ л/га}$ , на

вирощування соняшнику – 62 кг/га, або  $\frac{62 \cdot 1000}{860} = 72 \text{ л/га}$ .

При вирощуванні сої на 430 га витрачається  $430 \cdot 81 = 34830 \text{ л}$ , при вирощуванні ріпаку на 560 га –  $560 \cdot 51 = 28560 \text{ л}$ , при вирощуванні соняшнику на 680 га –  $680 \cdot 72 = 48960 \text{ л}$ .

Всього ж на с.-г. роботи в ТОВ "Погребишенське" за рік витрачається  $55800 + 34830 + 28560 + 48960 = 168150 \text{ л}$  дизпалива.

### 2.3. Встановлення обсягу реактора з виробництва біодизеля

Для встановлення обсягу біодизеля, який може замінити 168150 л дизпалива, потрібно знати, яку теплоту виділяє при згоранні це нафтове дизпаливо.

Нафтове дизпаливо має теплоту згорання 42 МДж/кг. Отже, теплота, що виділяється під час його згорання, буде:

$$\frac{168150 \cdot 860 \cdot 42}{1000} = 6073578 \text{ МДж.}$$

Теплота згорання біодизеля становить 37 МДж/кг при щільності 900 кг/м<sup>3</sup>

[15]. Для заміни 168150 л нафтового дизпалива потрібно:

$$\frac{6073578 \cdot 1000}{37 \cdot 900} = 182389 \text{ л біодизеля.}$$

При 257 робочих днів в 2023 році [41] робочий обсяг біодизельного реактора становитиме:

$$\frac{182389}{257} = 710 \text{ л.}$$

Біодизельний реактор не повністю заповнюється реагентами. Прийнемо коефіцієнт заповнення біодизельного реактора 0,9. Тому повний об'єм біодизельного реактора становитиме:

$$\frac{710}{0,9} = 788 \text{ л.}$$

### 2.4. Встановлення геометричних розмірів біодизельного реактора

Оскільки для зручного відбору продуктів, отриманих в результаті реакції, резервуар повинен виконуватись з конічним днищем, обираємо форму реактора типу 2-3 або тип 6-7 [9]. Чим менше значення кута основи конуса, тим зручніше відбирати продукти реакції. Тому обираємо днище реактора з конусом під кутом 90°, аналогічно реакторам типу 2-3. Кришку еліптичної форми цих типів реакторів, виготовлення яких дорогокоштує, замінюємо кришкою круглої форми, як в реакторах типів 6-7 (рис. 2.1). Для зручності процесу перемішування реагуючих

складових їх підігрів здійснюватиметься гладкою водяною серечкою, розміщеною навколо корпусу реактора.

Найближчі за значеннями параметрів стандарти обсяги реакторів відповідно до [9], – 620 і 1000 л. Однак 620 л замалий обсяг для нашого проекту (реагенти не помістяться в ньому), а 1000 л – занадто великий, що призведе до збільшення капіталовкладень. З цієї причини проектуємо нестандартну біодизельну установку.

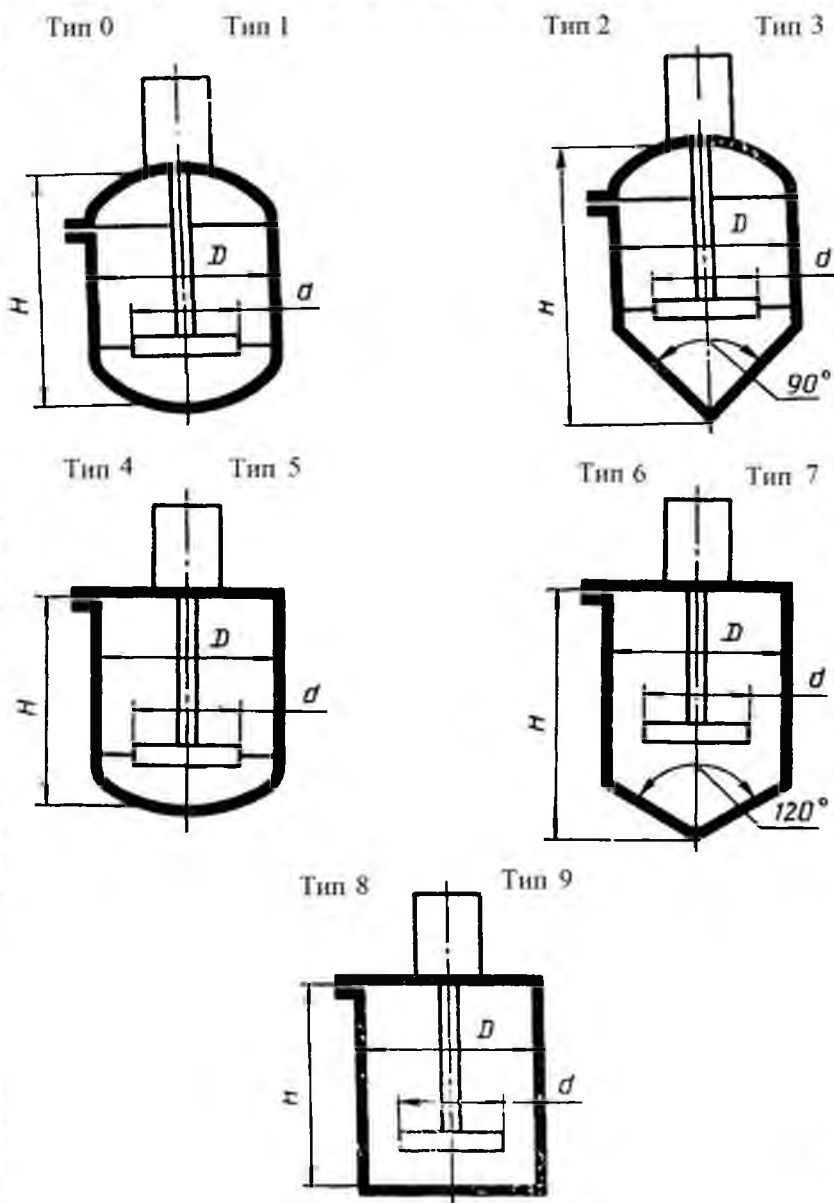


Рис. 2.1. Конструкції реакторів стандартних параметрів[9]

Із [9] обираємо найбільшу величину стандартного діаметра реактора (який є твірною (гіпотенузою)  $b$  в моделі конуса реактора), він дорівнює 1 м. Тоді розміри катетів  $a$  в трикутник конуса реактора (сторін конуса реактора) (рис. 2.2) дорівнює:

$$d = \frac{b}{2 \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{b}{\sqrt{2 - 2 \cos \beta}} = \frac{1}{\sqrt{2 - 2 \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}} = 0,707 \text{ м.} \quad (2.1)$$

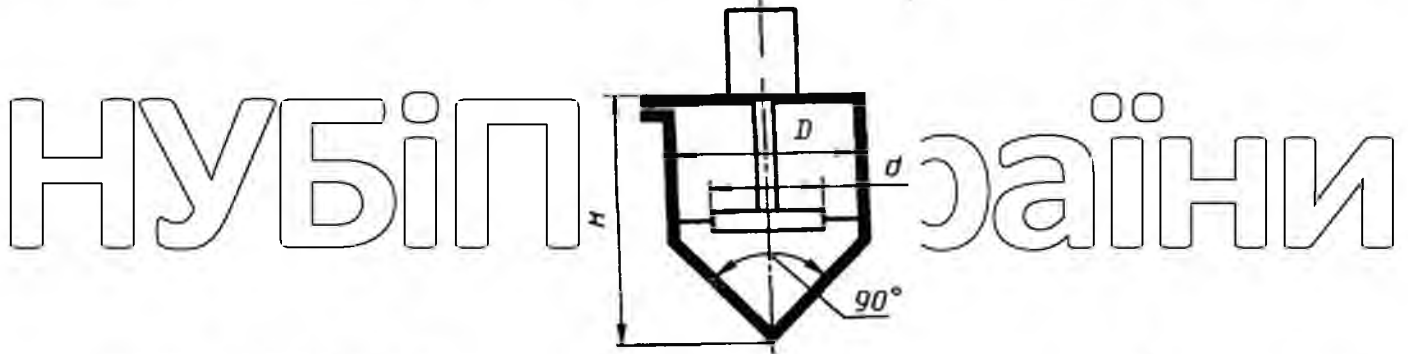


Рис. 2.2. Схема конструкції реактора, реомендованого для отримання біодизеля в господарстві

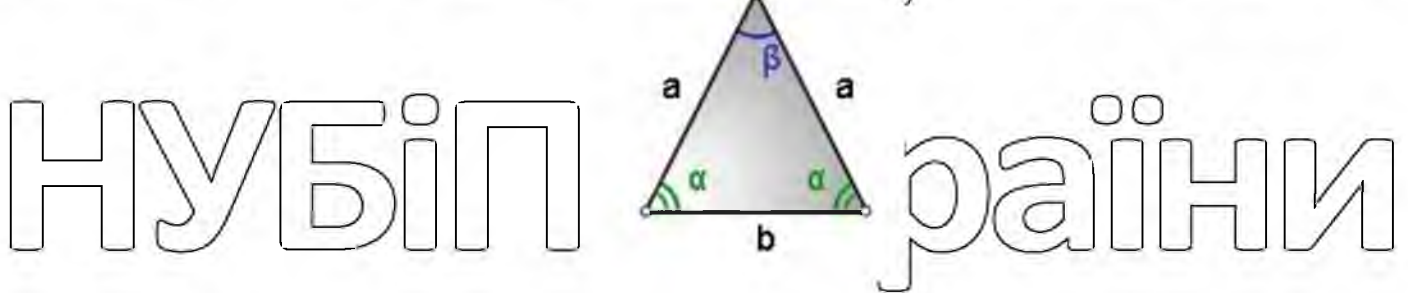


Рис. 2.3. Для розрахунку довжин сторін конуса резервуара

Висота конуса резервуара (катета  $a$ , рис. 2.4), дорівнює:

$$a = c \cdot \cos \beta = 0,707 \cdot \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right) = 0,5 \text{ м.} \quad (2.2)$$

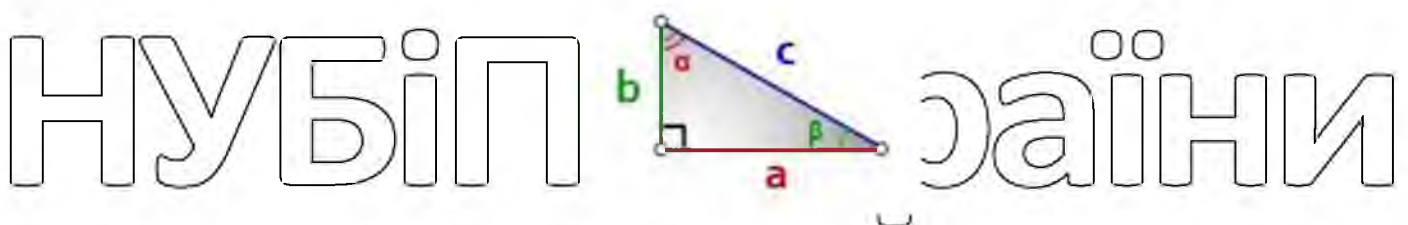


Рис. 2.4. Для розрахунку висоти конуса резервуара

Тоді обсяг конуса резервуара (рис. 2.5) становитиме:



$V_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 0,5 = 0,131 \text{ м}^3$ , або 131 л. (2.3)

Тоді обсяг циліндричної частини резервуара реактора дорівнює  $V_{\text{ц}} = 788 - 131 = 655 \text{ л}$ .

Висота циліндричної складової реактора становитиме:

$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,655}{3,14 \cdot 1^2} = 0,83 \text{ м}$ . (2.4)

де  $d$  – внутрішній діаметр циліндричної частини реактора, м.

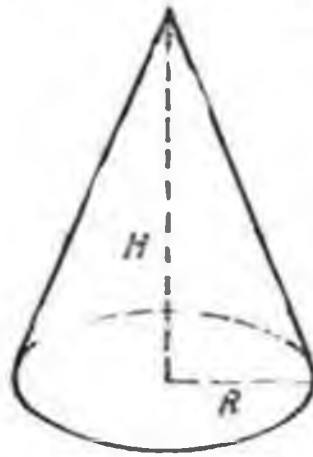


Рис. 2.5. До визначення обсягу конусної частини реактора

Загальну висоту резервуара реактора визначаємо як суму конічної та циліндричної його частин:  $0,5 + 0,83 = 1,33 \text{ м}$ .

Об'єм отриманого біодизеля циліндричної частини реактора дорівнюватиме  $655 - 131 = 524 \text{ л}$ .

Висоту стовпа виробленого біодизеля, що міститься в циліндричній частині резервуара визначаємо по формулі (3.4):

$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,524}{3,14 \cdot 1^2} = 0,66 \text{ м}$ .

Загальна висота стовпа біодизеля в резервуарі становить  $0,66 + 0,5 = 1,16 \text{ м}$ .

## 2.5. Методика визначення конструкційно-технологічних параметрів реактора для виробництва біодизеля

### 2.5.1. Методика визначення товщини стінки реактора для виробництва біодизеля

Товщина стінки резервуара розраховується по формулі [14]:

$$s = s_R + C, \quad (2.5)$$

де  $s$  – значення товщини стінки резервуара, враховуючи корозію, мм;  $s_R$  – розраховане значення товщини стінки, мм;  $C$  – поправка на процес корозії в розрахунковому значенні товщини стінки, мм.

Значення поправки на процес корозії  $C$  залежить від розрахованого часу експлуатації апарату, показника хімічної проникності субстрату в конструкційні матеріали, і визначається формулою [14]:

$$C = P \cdot T_0, \quad (2.6)$$

де  $C$  – поправка на процес корозії, мм;  $P$  – швидкість протікання корозії, мм/рік;  $T_0$  – термін використання резервуара, років.

Висота плоскої кришки фланцевої форми розраховується по формулі [14]:

$$h = \frac{K}{D_6 \cdot K_0} \cdot \sqrt{\frac{p_R}{\phi \cdot \sigma_0}}, \quad (2.7)$$

де  $h$  – висота плоскої кришки, м;  $K$  – конструкційний коефіцієнт днища;  $K_0$  – коефіцієнт, враховуючий ослаблення матеріалу днища отворами;  $p_R$  – розраховане значення тиску, впливаючого на кришку апарату, МПа;  $\phi$  – коефіцієнт описуючий міцність зварних швів;  $\sigma_0$  – показник допустимого напруження на розтяг, МПа;  $D_6$  – значення розрахункового діаметра кріплення, мм.

Конструктивний коефіцієнт кришки дорівнює  $K = 0,6$ . Для кришок, що мають один отвір  $K_0 = 0,85$  [14].

Розраховане значення тиску діє від розміщеного в ємності приводу мішалки та її самої і визначається за формулою:



$$p_R = \frac{M \cdot g}{S} \quad (2.8)$$

де  $M$  – маса перемішуючого пристрою разом із приводом, кг;  $g$  – значення прискорення при вільному падінні, м/с<sup>2</sup>;  $S$  – значення площі кришки, не враховуючи фланець, м<sup>2</sup> (відповідає внутрішньому діаметру ємності  $D_6$ ).

Величину розрахункового діаметра кріплення  $D_6$  знаходимо за виразом [14]:

$$D_6 = \phi \cdot D_{вф}^{0,933} \quad (2.9)$$

де  $D_{вф}$  – значення внутрішнього діаметра фланця, м (відповідає внутрішньому діаметру резервуара  $D_6$ );  $\phi$  – коефіцієнт, величина якого обирається залежно від

показника остаточних допустимих напружень, які повинні враховуватись під час розрахунку деталей і вузлів на міцність, визначаються за виразом [14]:

$$\sigma_0 = \eta \cdot \sigma_0^* \quad (2.10)$$

де  $\eta$  – значення поправочного коефіцієнта, враховуючого умови використання реактора;  $\sigma_0^*$  – показник номінального допустимого напруження, МПа.

### 2.5.2. Методика конструкційно-технологічного розрахунку мішалки реактора для виробництва біодизеля

Діаметр зубчастої мішалки по основі зуба визначається за формулою:

$$d_1 = 0,8 \cdot d_M \quad (2.10)$$

де  $d_1$  – діаметр зубчастої мішалки по основі зуба, м;  $d_M$  – діаметр зубчастої мішалки, м.

Висота зуба зубчастої мішалки визначається за формулою:

$$a_1 = 0,1 \cdot d_M \quad (2.11)$$

де  $a_1$  – висота зуба зубчастої мішалки, м.

Розмір від нижнього краю лопаті перемішуючого пристрою до дна резервуара розраховується формулою [31].

$$h_M = (0.5 \dots 1) \cdot d_M, \quad (2.12)$$

де  $h_M$  – розмір від нижнього краю лопаті перемішувального пристрою до дна резеруара, м.

Відстань між лопатями мішалок на валу  $L_M$  розраховуємо за формулою [31]:

$$L_M = (1 \dots 2) \cdot d_M, \quad (2.13)$$

де  $L_M$  – відстань між лопатями мішалок на валу, м.

Кількість розміщених на валу мішалок визначається по формулі

$$k_{min} \leq (H_0 - h_M) / L_M, \quad (2.14)$$

де  $k_{min}$  – кількість розміщених на валу мішалок, шт.

Значення окружної швидкості перемішувального пристрою визначається по формулі [42]:

$$\omega = n \cdot \pi \cdot d_M, \quad (2.15)$$

де  $\omega$  – значення окружної швидкості перемішувального пристрою, м/с;  $n$  – значення частоти обертання валу перемішувального пристрою, об./хв.

Потужність, потрібна для перемішування мішалкою, розраховується в залежності від виду руху субстрату, який описує відцентровий критерій Рейнольда [14; 49]:

$$Re_{вц} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_M^2}{\mu_c}, \quad (2.16)$$

де  $Re_{вц}$  – значення відцентрового критерію Рейнольда;  $\mu_c$  – значення динамічного

коефіцієнта в'язкості субстрату, Па·с;  $\rho_c$  – показник щільності субстрату, що перемішується, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – швидкість обертання перемішувального пристрою, с<sup>-1</sup>.

Значення густини двокомпонентного субстрату  $\rho_c$  розраховується формулою [14]:

$$\rho_c = \rho_f \cdot \varphi + \rho_p \cdot (1 - \varphi), \quad (2.17)$$

де  $\rho_p$  – значення густини основного компоненту (олії), кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_f$  – значення густини дисперсної суміші (метилату калію), кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi$  – об'ємна складова дисперсної суміші.

Об'ємна складова дисперсної суміші  $\varphi$  знаходимо з виразу:

$$\varphi = \frac{V_{\phi}}{V_c} \quad (2.18)$$
 де  $V_{\phi}$  – об'ємна складова дисперсної суміші (метилату калію), м<sup>3</sup>;  $V_c$  – об'єм суміші з вмістом біодизеля в резервуарі, м<sup>3</sup>.

Значення динамічного коефіцієнта в'язкості субстрату  $\mu_c$  знаходимо по формулі [14]:

$$\mu_c = \mu_{\phi} \cdot \varphi + \mu_p \cdot (1 - \varphi), \quad (2.19)$$

де  $\mu_p$  – значення щільності основної складової (олії), кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{\phi}$  – значення щільності дисперсної суміші (метилату калію), кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi$  – об'ємна складова дисперсної суміші.

Потужність, що споживається мішалкою на перемішування рідини, при турбулентному режимі розраховується за виразом [14; 49]:

$$N_M = K_N \cdot k \cdot \psi \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5, \quad (2.20)$$

де  $N_M$  – розраховане значення потужності, яку споживають мішалки на процес перемішування, Вт;  $K_N$  – показник критерію потужності;  $k$  – число мішалок, розташованих на валу, шт;  $\psi$  – значення поправочного коефіцієнта, залежного від геометричних параметрів перемішуючого пристрою і реактора.

Значення поправочного коефіцієнта  $\psi$  розраховуємо як [31]:

$$\psi = \psi_H \cdot \psi_m, \quad (2.21)$$

де  $\psi_H$  – коефіцієнт, описуючий дію висоти стовпа субстрату в резервуарі на величину потужності на перемішування;  $\psi_m$  – коефіцієнт, описуючий дію місцевих опорів в резервуарі на потужність перемішування.

Коефіцієнт  $\psi_m$ , описуючий дію місцевих опорів в резервуарі (труб для транспортування складових процесу, корпусів термометрів тощо, не включаючи відбивні перегородки) на потужність перемішування знаходимо як добуток значень коефіцієнтів опору цих пристроїв [31]:

$$\psi_m = \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \dots \cdot \xi_i. \quad (2.22)$$

Визначаючи потужність електродвигуна, потрібно врахувати значення коефіцієнта його корисної дії [31]:

$$N = \frac{N_{\text{дв}}}{\eta_e}, \quad (2.23)$$

де  $N$  – сумарна потужність електропривода, Вт;  $\eta_e$  – значення ККД двигуна.

## 2.6. Визначення конструкційно-технологічних параметрів реактора для виробництва біодизеля

### 2.6.1. Вибір матеріалів для виготовлення біодизельного реактора

Матеріали, обрані для виготовлення деталей та вузлів установки, повинні гарантувати надійність біодизельної установки під час використання і економічність під час виготовлення.

Обираючи матеріал, необхідно враховувати температуру проходження процесу в реакторі, тиск та корозійну дію середовища. Знаючи, що в процесі отримання біодизеля агресивними речовинами є метанол та гідроксид калію, із [11] обираємо для виготовлення резервуару біодизельного реактора сталь аустенітного 10X17H13M2T класу, яку використовують для виготовлення зварних конструкцій, які витримують середовища з високою агресивністю та мають значний термін використання.

### 2.6.2. Визначення товщини стінки реактора для виробництва біодизеля

Резервуар реактора складається із днища, обичайки, та кришки, на якій встановлюють електричний привод переміщуючого пристрою.

Головна складова в конструкції резервуару є обичайка – найбільший, найматеріаломісткіший вузол реактора. Корпус реактора, а відповідно, і обичайки, буває коробчатим, циліндричним, сферичним, конічним тощо.

Найбільш поширені в проектуванні реакторів циліндричні обичайки, що характеризуються простотою виготовлення, достатньою протидією тиску субстрату і економічністю в витраті матеріалу. Тому, проектуючи реактор, якщо дозволяють

інші вимоги, рекомендовано обирати циліндричні обичайки.

Виготовляються циліндричні обичайки для реактора методом вальцювання з листів. Це найпоширеніша технологія для апаратів працюючих під значним тиском біля  $10 \text{ МН/м}^2$ , та вакуумом а також атмосферним тиском.

Тому приймаємо рішення, що обичайка резервуара для біодизельного реактора виготовлятиметься методом вальцювання сталей марки 10X17H13M2T з наступним зварюванням.

Поскілки в резервуарі реактора для отримання біодизеля внутрішній тиск відсутній, він перебуває під дією атмосферного тиску, то товщину стінки обираємо із технологічних та конструктивних міркувань з обов'язковою розрахунковою перевіркою міцності і стійкості. Товщину стінки (не враховуючи корозію) вальцьованих обичайок рекомендовано приймати не меншою представлених у табл. 2.1 в залежності від розміру діаметра  $D_s$  обичайки [14].

Таблиця 2.1  
Рекомендовані мінімальні значення товщин (без врахування корозії) стінок циліндричних обичайок, виконаних вальцюванням (в мм) [14]

$D_s$	<400	400-1000	1000-2000	2000-4000
$s$	2	3	4	5

Оскільки значення діаметра біодизельного резервуара  $D_s = 1 \text{ м}$ , він функціонує під впливом атмосферного тиску, відповідно до табл. 2.1 товщину стінки резервуару реактора без врахування дії корозії  $s_R$  обираємо 3 мм.

Показник дії корозії для аустенітних легованих сталей, до яких належить і сталь 10X17H13M2T, дорівнює  $P = 0,1 \text{ мм/рік}$  [13].

Знаючи час експлуатації біодизельного реактора – 20 років, надбавка товщини металу на дію корозії по формулі (2.6) становитиме:

$$C = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ мм.}$$

З виразу (2.5) товщина стінки резервуара реактора дорівнюватиме:

$$s = 3 + 2 = 5 \text{ мм.}$$

До складових елементів резервуарів реакторів відносяться і днища, які поєднані із обичайкою резервуару і виготовляються з того ж матеріалу. При виготовленні резервуару пайкою і зварюванням днища реакторів припаюють або приварюють до обичайки, а при виготовленні реакторів литтям з полімерних матеріалів та виготовленні ковкою вони представляють єдине ціле з обичайкою. В реакторах, виготовлених способом лиття із крихких матеріалів, днище та обичайка також є однією деталлю. Форма днища відповідає формі обичайки, та технологічним вимогами, яким повинен відповідати реактор, тиску середовища в ньому, та конструктивній доцільності. Отже, днища виготовляються еліптичної, напівсферичної, сферичної, плоскої, конічної форми [14].

Для зручного відбору стриманих продуктів (гліцерину і біодизеля) обираємо днище конічної форми з вірною вершини конуса  $90^\circ$ .

Відповідно до ДСТУ 2238-96, внутрішній діаметр днища як правило відповідає величині внутрішнього діаметра обичайки і дорівнює  $D_0 = 1$  м, висота конуса днища – 0,5 м, довжина твірної днища – 0,707 м. Товщина матеріалу стілки днища  $s$  відповідає товщині матеріалу виготовлення обичайки і становить 5 мм.

Найчастіше в реакторах використовують фланцеві кришки. Обираємо для спроектованого біодизельного реактора фланцеву кришку плоскої форми, яка показана на рис. 2.6.

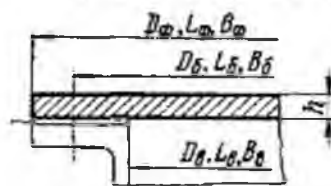


Рис. 2.6. Схематичне зображення фланцевої кришки плоскої форми

Значення коефіцієнта конструкції обраної кришки дорівнює  $K = 0,6$ . Для конструкції кришок з одним отвором коефіцієнт  $K_0 = 0,85$  [14].

Вважаємо, що маса перемішувача із приводом дорівнює 150 кг. Отже площа кришки, не враховуючи фланець, дорівнюватиме:

$S = \frac{\pi D_s^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 0,785 \text{ м}^2.$

Значення розрахункового тиску на кришці реактора визначаємо за виразом (2.8) і він становитиме:

$p_r = \frac{150 \cdot 9,81}{0,785} = 1875 \text{ Па}$

При значенні  $p_r \leq 1,6 \text{ МПа}$   $\phi = 1,11$  [14]

Отже, величина розрахункового діаметра кришального коло  $D_s$  з виразу (2.9)

становитиме:

$D_s = 1,11 \cdot 0,993 = 1,1 \text{ м.}$

Оскільки на кришці відсутні зварні шви, то  $\phi = 1$ .

Значення допустимих напружень  $\sigma_s$  деталей і вузлів при розрахунках на

міцність і стійкість вибираються в залежності від характеристик конструкційного матеріалу. Для вузлів і деталей реакторів, виготовлених із поширених матеріалів (сталей та сталевих сплавів, кольорових металів), які підлягають статичному впливу надлишкового тиску та впливу вакууму в резервуарі, а також впливу навантаження вітом, існують значення номінальні (які не враховують умов експлуатації установки) допустимих напружень  $\sigma_s^*$  [14].

Величина допустимого напруження  $\sigma_s^*$  для сталі легованої марки 10Х17Н13М2Т при температурі 40-50 °С дорівнює 180 МПа [10]

Значення поправочного коефіцієнта  $\eta$  залежить від умов експлуатації установки та рівня шкідливості та небезпеки середовищ. Для складових апаратів, в яких перебувають вибухопожежонебезпечні продукти,  $\eta = 0,9$  [14].

Остаточна значення допустимого напруження, що прийматиметься при розрахунках вузлів і деталей на міцність, з формули (2.10) становитиме:

$$\sigma_s = 0,9 \cdot 180 = 162 \text{ МПа.}$$

Висота кришки реактора по формулі (2.7) буде дорівнювати:

$$h = \frac{0,6}{1,11 \cdot 0,85} \sqrt{\frac{1875 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 162}} = 0,0022 \text{ м, або } 2,2 \text{ мм}$$

Оскільки отриманий результат висоти фланцевої кришки біореактора менший від рекомендованого значення мінімальної товщини (не враховуючи корозію), із табл. 2.1 визначаємо, що мінімальне значення висоти фланцевої кришки для біодизельного реактора становитиме 3 мм, а враховуючи надбавку на діє корозії – 5 мм.

Для роботи біодизельного реактора водяна сорочка, яка є невід'ємною його частиною, виготовлятиметься із вуглевісної сталі Ст 3. Для корпусів ємностей, внутрішній діаметр яких менший або рівний 1,8 м, діаметр нагриваючої сорочки обираєм більшим на 100 мм від діаметра резервуара. У випадку перевищення діаметра реактора 1,8 м, то діаметр нагриваючої сорочки обирається більшим за діаметр резервуара на 200 мм [23].

Оскільки значення внутрішнього діаметра реактора дорівнює 1000 мм, то значення внутрішнього діаметра водяної сорочки буде дорівнювати 1100 мм.

### 2.6.3. Конструкційно-технологічний розрахунок перемішуючого пристрою реактора для виробництва біодизеля

Для перемішування субстрату в біодизельному апараті обираємо зубчасту мішалку – різновид дискової. Дискові мішалки конструктивно мають вигляд одного або кількох дисків плоскої форми, які з значною швидкістю обертаються на вертикально встановленому валу. Рідина в резервуарі рухається по тангенціальній траєкторії в результаті тертя рідини по дискам, при цьому диски, які звужуються, крім тангенційного створюють ще і осьовий потік. Для збільшення насосного ефекту при обертанні краї диска виконують зубчастої форми, а укомплектований ними перемішуючий пристрій називається зубчастим (рис. 2.7). Діаметри дисків мішалки становлять 0,1-0,15 діаметра резервуара. Швидкість обертання становить 5-35 м/сек, для дисків невеликих розмірів отримується дуже висока частота обертів мішалки. Мішалки дискової конструкції використовують для перемішування субстратів в обсязі не більше 4 м<sup>3</sup>. Враховуючи незначний загальну насосну дію,



на валу зазвичай розміщують декілька дисків [31].

Оскільки процес перемішування мішалки зубчастої конструкції відбувається в результаті високих оборотів, необхідність в використанні редуктор для зменшення числа оборотів валу мішалки відпадає. При цьому принцип перемішування та форма мішалки цього типу унеможливує виникнення воронки в субстраті реактора.

Обираємо величину діаметру диска мішалки – 0,125 від діаметра реактора. При цьому діаметр мішалки дорівнюватиме:  $d_M = 0,125 \cdot D_p = 0,125 \cdot 1,0 = 0,125$  м.

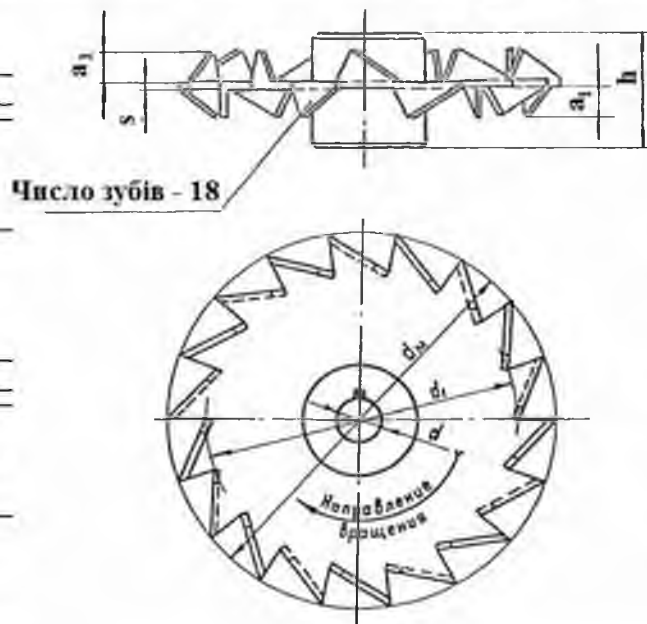


Рис. 2.7. Мішалка зубчастої конструкції [1]

Оскільки в промисловості випускаються стандартизовані складові для мішалки, із [1] обираємо мішалку зубчастої конструкції (рис. 2.7) із характеристиками, показаними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1  
Конструктивні характеристики мішалки зубчастої конструкції для біодизельного реактора [1]

$d_M$ , мм	$d$ , мм	$h$ , мм	$b$ , мм	$s$ , мм	Допустимий крут- ний момент $R_{FM}$	Маса, кг, не більше
125	18	30	25	3	0,008	0,45

Діаметр зубчастої мішалки по основі зуба за формулою (2.11) становить:

$$d_1 = 0,8 \times 0,125 = 0,1 \text{ м.}$$

Висота зуба зубчастої мішалки за формулою (2.12) становить:

$$a_1 = 0,1 \times 0,125 = 0,013 \text{ м.}$$

Приймаємо, що значення коефіцієнта в виразі (2.13) дорівнює 1,4. Тоді відстань від нижньої точки перемішуючого пристрою до днища резервуара  $h_M$  по формулі (2.13) становитиме:

$$h_M = 1,4 \times 0,125 = 0,175 \text{ м.}$$

Приймаємо, що значення коефіцієнта в виразі (2.14) становить 2. Тоді відстань між розташованими на валу мішалками  $L_M$  по формулі (2.14) дорівнюватиме:

$$L_M = 2 \times 1,125 = 0,25 \text{ м.}$$

З виразу (2.15) знаходимо число мішалок на валу:

$$k_{\text{миш}} \leq \frac{1,16 - 0,175}{0,25} = 4,0 \text{ шт.}$$

Отримали 4 мішалки.

Обираємо частоту обертів електричного двигуна/приводу мішалки 1000 об./хв., або 16,67 об./с.

Отже окружна швидкість перемішування по формулі (2.16) дорівнюватиме:

Оскільки в резервуарі реактора об'єм рослинної олії займає 90% ( $0,49 \text{ м}^3$ ), а калію метилату – 10% ( $0,054 \text{ м}^3$ ), у відповідності з формулою (3.19), значення об'ємної частки дисперсної фази  $\varphi$  дорівнює:

$$\varphi = \frac{0,054}{0,49} = 0,1.$$

Знаючи густину ріпакової олії становить –  $900 \text{ кг/м}^3$ , калію метилату –  $792 \text{ кг/м}^3$ , показник густини двокомпонентної суміші  $\rho_c$  по формулі (2.18) становитиме:

$$\rho_c = 792 \times 0,1 + 900 \times (1 - 0,1) = 889 \text{ кг/м}^3.$$

В'язкість олії ріпака  $0,033 \text{ Па}\cdot\text{с}$  а калію метилату –  $0,00059 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , величина динамічного коефіцієнту в'язкості субстрату  $\mu_c$  з формули (2.20) дорівнює:

$$\mu_c = 0,00059 \times 0,1 + 0,033 \times (1 - 0,1) = 0,0221 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Величина відцентрового критерія Рейнольда з виразу (2.17) дорівнюватиме:

$$Re_{вц} = \frac{889,2 \times 16,67 \times 0,125^2}{0,0221} = 10494$$

При значенні  $Re_{вц} > 1000$  створюється стійкий турбулентний режим в зоні перемішування [42].

Оскільки показник  $H_0$  близький до діаметра резервуара, приймаємо  $\psi_H = 1$  [42].

Із ряду коефіцієнтів опорів складових частин, які входять до установки, можна виділити:

- коефіцієнт опору корпусу термометра  $\zeta_I = 1,1$ ;
- коефіцієнт опору пристосування для заміру рівня субстрату  $\zeta_I = 1,2$ .

Отже значення поправочного коефіцієнта  $\psi$  по формулі (2.23) становитиме:

$$\psi = 1,1 \times 1 \times 1,2 = 1,32.$$

Показник критерію потужності  $K_N$  для мішалок дискової конструкції відповідно до [31] за  $Re_{вц} = 10494$  дорівнює 4.

Отже, потужність, необхідна для перемішування мішалкою субстрату, за виразом (2.21) дорівнює:

$$N_M = 4 \times 4 \times 1,32 \times 889,2 \times 16,67^3 \times 0,1^5 = 2653 \text{ Вт.}$$

Відомо ККД електричного двигуна при потужності 3–4 кВт та швидкості  $n = 1000$  об/хв дорівнює 0,81 [43], сумарна величина потужності привода  $N$  по формулі (2.24) дорівнюватиме:

$$N = \frac{2653}{0,81} = 3276 \text{ Вт.}$$

Для привода розробленого перемішуючого пристрою із [43] обираємо електричний двигун 4А112МВ6У3 потужність якого 4 кВт та частота обертання вала 1000 об/хв. Вага його дорівнює 56 кг.

Габаритні та приєднувальні параметри електричного двигуна 4А112МВ6У3 показані на рис. 3.8 та в табл. 3.2.

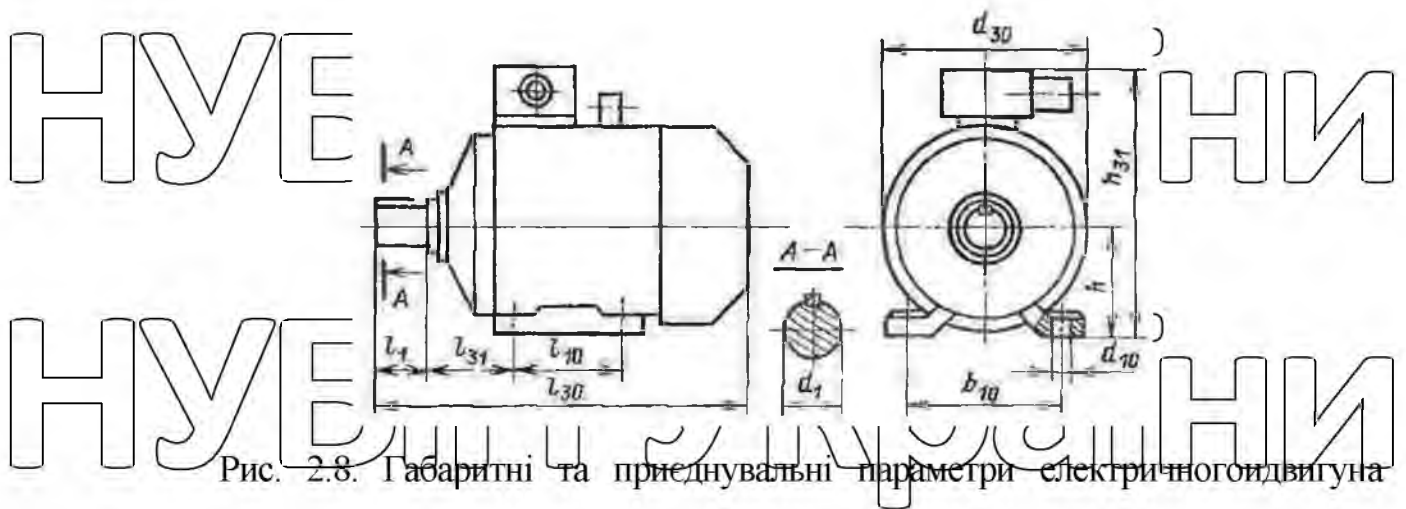


Рис. 2.8. Габаритні та приєднувальні параметри електричного двигуна

4A112MB6Y3 [43]

Таблиця 2.2  
Значення габаритних та приєднувальних параметрів електричного двигуна  
4A112MB6Y3 [43]

$l_{30}$	$h_{31}$	$d_{30}$	$l_1$	$l_{10}$	$l_{31}$	$d_1$	$d_{10}$	$b_{10}$	$h$
452	310	260	80	140	70	32	12	190	112

## 2.7. Проектування установки з виробництва біодизеля для ТОВ "Погребисьненське"

Окрім розробленого біодизельного реактора для отримання біодизеля, виробнича лінія для ТОВ "Погребисьненське" комплектується також наступним обладнанням:

- реактором для отримання калію метилату;
- реактором очищення біодизеля;
- реактором видалення з біодизеля метанолу;
- осушувачем біодизеля;
- котлом електричним;
- збирачем метанолу;
- конденсатором кожухотрубним;
- місткістю для біодизеля;
- місткістю для відходів

Реактор видалення з біодизеля катализатора конструктивно ідентичний основному, його відмінність в наявності повнофакельних розпилювачів які розбризкують крупні краплини води для осадження солей калію цитрату, що зависли в обсязі біодизеля. Обсяг реактора для очищення та потужність приводу перемішуючого пристрою ті ж, що і в основного реактора для отримання біодизеля.

В процесі отримання біодизеля змішують 90% олій і 10% калію метилату. Обсяг біодизеля в резервуарі дорівнює 623 л. Отже, Обсяг калію метилату становитиме:  $623 \cdot 10 / (100 - 0,8) = 78$  л. Потужність електричного двигуна мішалки дорівнює 2,2 кВт (рис. 2.10).

Реактор для отримання калію метилату складається із циліндричного зварного корпусу з мішалкою, яка встановлена вертикально, в рух вона приводиться електричним приводом. Електричний привод складається електричного двигуна та редуктора.

До складу реактора для очищення отриманого біодизеля входить вертикальний резервуар, водяна соронка та пристрій для барботажу повітрям метилового ефіру.

У корпусі резервуару містяться штуцери трубопроводів для підведення та забору олії і теплоносія.

Пристрій для барботажу включає тороїдальну трубу, в якій просверлені отвори для проходження повітря та підєднувальний патрубок. Повітря проходить крізь метиловий ефір, крізь патрубок трубопроводом надходить у накопичувач метанолу.

Осушувач призначений для видалення надлишків вологи із біодизельного палива. Осушувач являє собою циліндричну ємність, обладнану: форсункою для розпилення води, насадками двокільцевими (контактні поверхні) для забезпечення додаткового випаровування вологи. Місткість сушарки дорівнює 50 л, вага – 96 кг [44].

Котел також виконаний у вигляді вертикальної зварної ємності, обладнаний електронагрівальними пристроями та призначений для нагрівання теплоносія.

який підігрівас вміст ємностей у резервуарах, які беруть участь у технологічному процесі отримання біодизеля.

Обсяг котла дорівнює  $0,8 \text{ м}^3$ , маса –  $190 \text{ кг}$ . Сумарна потужність двох електричних нагрівачів для підігріву теплоносія (ТЕНів) –  $30 \text{ кВт}$ .

Складові котла: вертикальна зварні ємність, усередині якої розміщені теплоелектронагрівачі. ТЕНи об'єднуються у дві групи – у першу „розгінну” та роботу, і другу тільки „розгінну”. Тобто під час запуску котла задіяні обидві групи ТЕНів, а досягнувши необхідної температури – лише одна група.

Конденсатор кожухотрубний – це вертикальна ємність, призначена для конденсації та збору вологи з повітроводяного обсягу.

Його площа  $9,3 \text{ м}^2$ , вага –  $312 \text{ кг}$ . Величина робочого тиску води в трубному обсязі дорівнює  $0,3 \text{ МПа}$ , значення робочої температури в корпусі –  $70^\circ\text{C}$ .

Робочим середовищем міжтрубного простору є капельн-повітряна суміш, у трубному просторі знаходиться холодоагент (вода).

Збирач метанолу має аналогічну циліндричну форму ємності, розміщеної горизонтально та призначений для отримання конденсату парів метанолу.

Місткість накопичення відходів теж є циліндричною зварною ємністю, розміщеною горизонтально, призначеною для накопичення відходів, отриманих в результаті процесу виробництва. Має обсяг  $0,6 \text{ м}^3$  і масу  $82 \text{ кг}$ .

## Висновки до розділу 2

1. Виробництво біодизеля в ТОВ "Погребишенське" буде здійснюватись в біодизельному реакторі із конічним днищем обсягом  $780 \text{ л}$  з кутом конуса  $90^\circ$ , гладкою водяною рубашкою та плоскою фланцевою кришкою.

2. Зпроектований бводизельний реактор має такі конструкційно-технологічні параметри: висота бводизельного реактора  $H$  –  $1,34 \text{ м}$ ; діаметр біодизельного реактора  $D_0$  –  $1,00 \text{ м}$ ; кут при вершині конуса днища реактора  $\beta$  –  $90,0^\circ$ ; внутрішній обсяг циліндричної частини біодизельного реактора  $V_{\text{цyl}} = 0,65 \text{ м}^3$ ; внутрішній обсяг конічної частини біодизельного реактора  $V_{\text{кн}} = 0,13 \text{ м}^3$ ; обсяг,

який займає біодизель у циліндричній частині біодизельного реактора  $V_{0цч} = 0,52$  м<sup>3</sup>; довжина конічної частини біодизельного реактора  $V_{кч} = 0,71$  м; висота конічної частини біодизельного реактора  $h_d = 0,50$  м; висота циліндричної частини біодизельного реактора  $H_{цч} = 0,83$  м; висота стовпа біодизеля у циліндричній частині біодизельного реактора  $H_{0цч} = 0,66$  м; висота стовпа біодизеля в біодизельному реакторі  $H_0 = 1,15$  м; товщина корпусу циліндричної обичайки біодизельного реактора – 5,0 мм; товщина корпусу конічної частини біодизельного реактора – 5,0 мм; товщина корпусу знімної кришки біодизельного реактора – 5,0 мм; товщина корпусу водяної рубашки – 4,5 мм.

3. Конічне днище, циліндрична обичайка і знімна кришка біодизельного реактора виробляються з легированої гарячекатаної сталі 10Х17Н13М2Т.

4. Змішування реагентів під час виробництва біодизеля проводиться зубчастою мішалкою з такими конструкційно-технологічними параметрами: діаметр мішалки – 0,125 м; діаметр по краю зубів мішалки – 0,1 м; висота зубів мішалки – 0,013 м; товщина диску мішалки – 0,003 м; діаметр вала мішалки – 0,013 м; висота маточини мішалки – 0,03 м; кількість зубів мішалки – 18 шт; відстань до дна реактора від мішалки – 0,175 м; кількість зубчастих мішалок на валу – 4 шт.; відстань на валу між мішалками – 0,25 мм; частота обертів мішалки – 1000 об./хв.

5. Для приводу зубчастої мішалки приймаємо електродвигун марки 4А112МВ6УЗ з потужністю 4 кВт з частотою обертів валу 1000 об./хв.

6. Лінія виробництва дизельного біопалива в ТОВ "Погребишенське" складатиметься з реактору виробництва метилату калію, реакторів отримання біодизеля, реактору видалення метилового спирту з біодизеля, реактора очищення від катализатора біодизеля, збірника метанолу, осушувача біодизеля, електричного котла, кожухотрубного конденсатора, місткості для зберігання біодизеля, місткості для зберігання відходів.

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАННЯ МЕТИЛОВОГО ЕФІРУ

# НУБІП України

### 3.1. Методика виробництва метилового ефіру естерифікацією

#### рослинних олій

# НУБІП України

Рослинна олія для виробництва біодизеля отримується за холодної чи гарячої технології відтискування. Під час холодного відтискування вихід рослинної олії становить близько 30%. Під час холодного відтискування вихід рослинної олії становить близько 45%, але при цьому підвищується кислотність [33].

# НУБІП України

На даний час значна частина рослинної олії отримується способом гарячого віджимання, тому є необхідність проведення експериментальних дослідів для вибору технологічних параметрів під час естерифікації рослинної олії.

Методика здійснення експериментальних досліджень наступна:

# НУБІП України

1. Відміряти 20 міліграм метилового спирту мірною пробіркою.
2. Зважити 2 грами гідроксиду калію на електронних вагах.
3. Перелити метиловий спирт у колбу ємністю 50 мілілітрів, туди засипати гідроксид калію. Перемішати магнітною мішалкою до стану повного розчинення в метанолі гідроксиду калію (утворення метилату калію).

# НУБІП України

4. Залити 100 мілілітрів олії в колбу ємністю 250 мілілітрів, туди ж перелити метилат калію, перемішувати на магнітній мішалці при підігріванні на протязі 15 хвилин. В цей час проходить реакція естерифікації з утворенням метилового ефіру і гліцеролу.

# НУБІП України

5. Для встановлення температури суміші метилату калію і рослинної олії встановити в колбу термометр для вимірювання і підтримання відповідної температури.

# НУБІП України

6. Вміст колби перелити у ділильну лійку та дати відстоятись, під час чого проходить седиментація суміші на гліцерол (опускається на дно колби) і метиловий ефір (розміщується над гліцеролом). Повна седиментація відбувається на протязі 2 год., однак вже у перші 15 хвилин головним чином розділяється уся



суміш.

7. Злити гліцерол у спеціальну ємність, в джертовий вентиль в дільний лійні. Метилловий ефір злити в іншу місткість.

8. Виміряти вихід метилового ефіру та гліцеролу. Встановити процентний вихід метилового ефіру до рослинної олії і її суміші з метилатом калію.

### 3.2. Результати досліджень отримання метилового ефіру шляхом естерифікації рослинної олії

Визначалась залежність виходу соняшникового метилового ефіру від температури реагентів при процесі естерифікації.

Процес естерифікації (рис. 3.1) проводився при температурах: 30° С, 35° С, 40° С, 45° С та 50° С ± 2° С.



Рис. 3.1. Процес виробництва метилового ефіру шляхом естерифікації соняшникової олії із каталізатором

Процес седиментації суміші після естерифікації тривав протягом 30 хвилин (рис. 3.2)



Рис. 3.2. Процес седиментації суміші на гліцерині і метиловий ефір

В результаті були отримані метиловий ефір із соняшникової олії (рис. 3.3) і гліцерин (рис. 3.4).



Рис. 3.3. Метиловий ефір соняшникової олії





Рис. 3.4. Гліцерин

Результати експериментальних досліджень в табличному вигляді наведені в табл. А.1 додатка А. В графічному вигляді результати досліджень наведені на рис. 3.5.

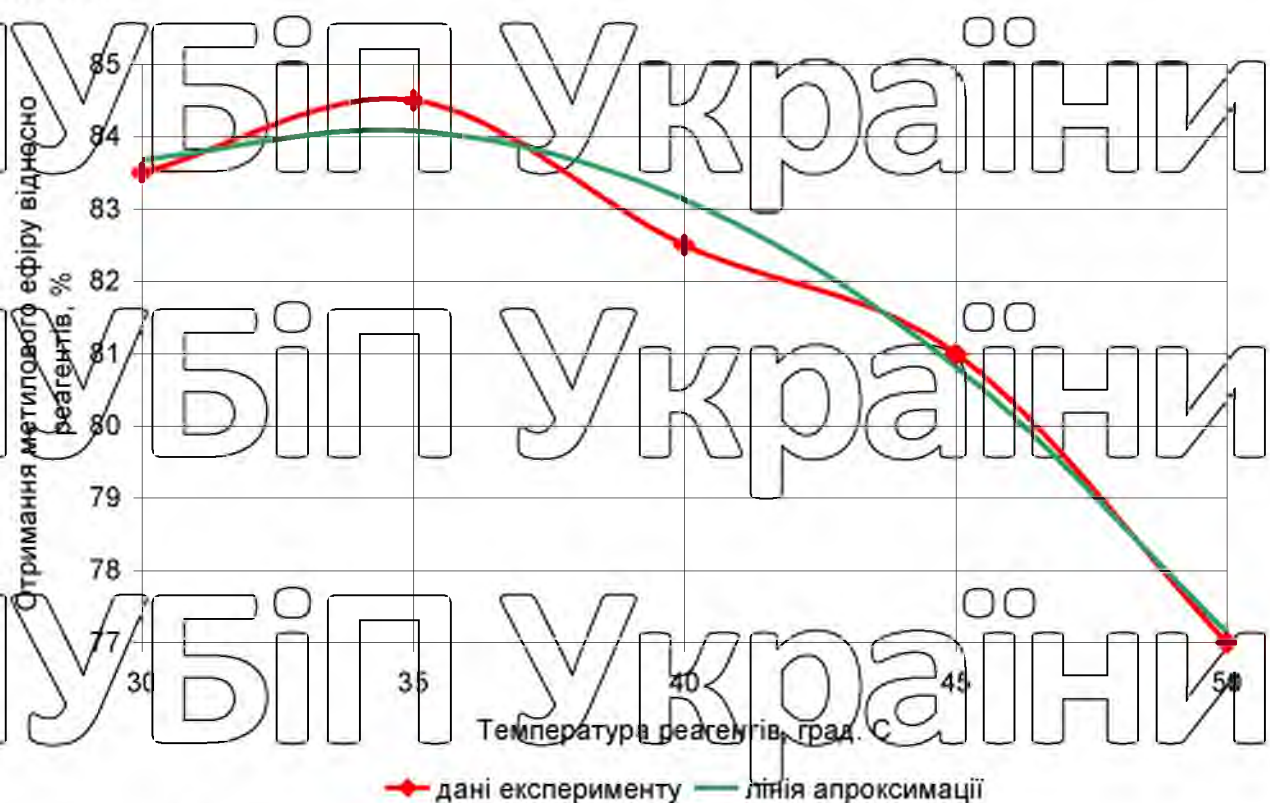


Рис. 3.5. Вихід метилового ефіру залежно від температури

На комп'ютері в програмному процесорі Microsoft Excel нами була проведена апроксимація експериментальних даних. Даний процес найкраще описує

поліномом Ньютона  $n$  порядку:

$$Q = -0,0271 \cdot T^2 + 1,8414 \cdot T + 52,829 \quad (3.1)$$

де  $Q$  – вихід біодивеля, мл;  $T$  – температура реакції,  $^{\circ}\text{C}$ .

Функція  $Q=f(T)$  була досліджена на екстремум  $Q \rightarrow \max$  методом градієнтного спуску на компютері в програмі MATHCAD за допомогою вбудованої функції Maximize. Алгоритми дослідження  $Q=f(T)$  на екстремум  $Q \rightarrow \max$  в програмі MATHCAD наведені в додатку А. Встановлено, що оптимальна температура реакції естерифікації становить  $33,97^{\circ}\text{C}$ . При такій температурі отримується найбільший вихід метилового ефіру –  $84,11\%$ .

### Висновки до розділу 3

Оптимальна температура реакції естерифікації, при якій отримується найбільший вихід метилового ефіру –  $84,11\%$ , становить  $33,97^{\circ}\text{C}$ .

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

# НУБІП України

## 4.1. Аналіз виробничих небезпек на біодизельних виробництвах

Під час проходження виробничого процесу обслуговуючий персонал може зазнати наступних виробничих небезпек:

- загроза отруєння під час вдихання парів метанолу;
- метанол належить до групи легкозаймистих речовин, тому може спричинити пожежу;

- можливість контакту гідроксиду калію з відкритими ділянками тіла з утворенням опіків;

- можливість ураження персоналу електричним струмом;

- можливість потрапляння кінцівок працівника в рухомі вузли приводу мі-

шалки.

Вивчення виробничих небезпек в процесі виробництва біодизеля та профілактичних заходів запобігання небезпечним ситуаціям показані на рис. 5.1.

## 4.2. Технічний регламент "Безпека виробництва дизельного біопалива в

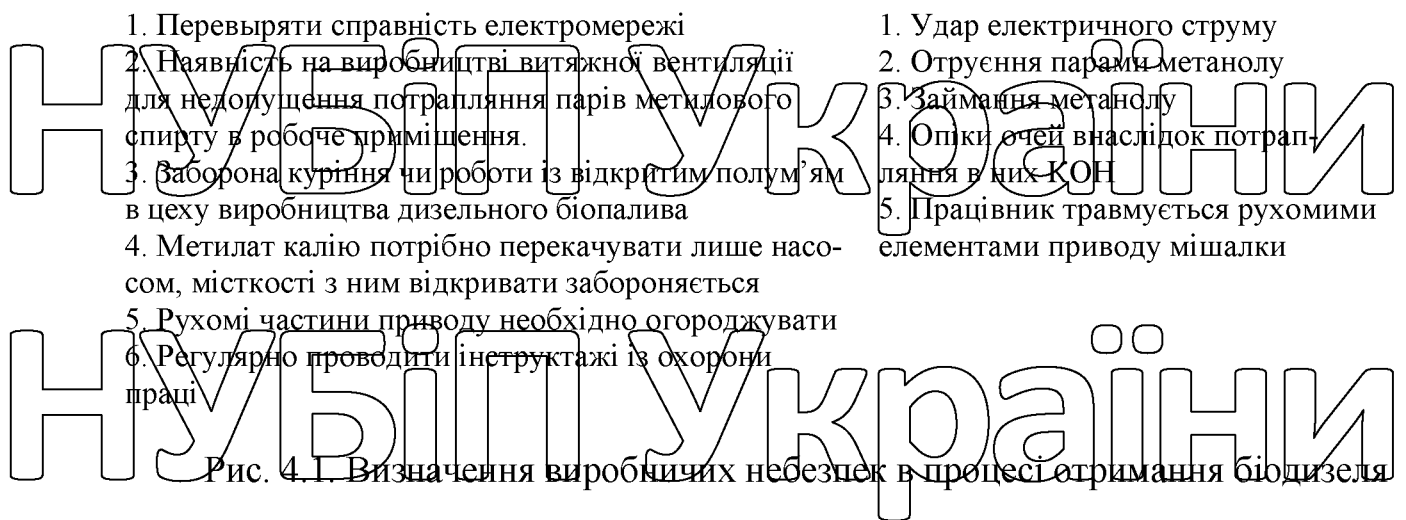
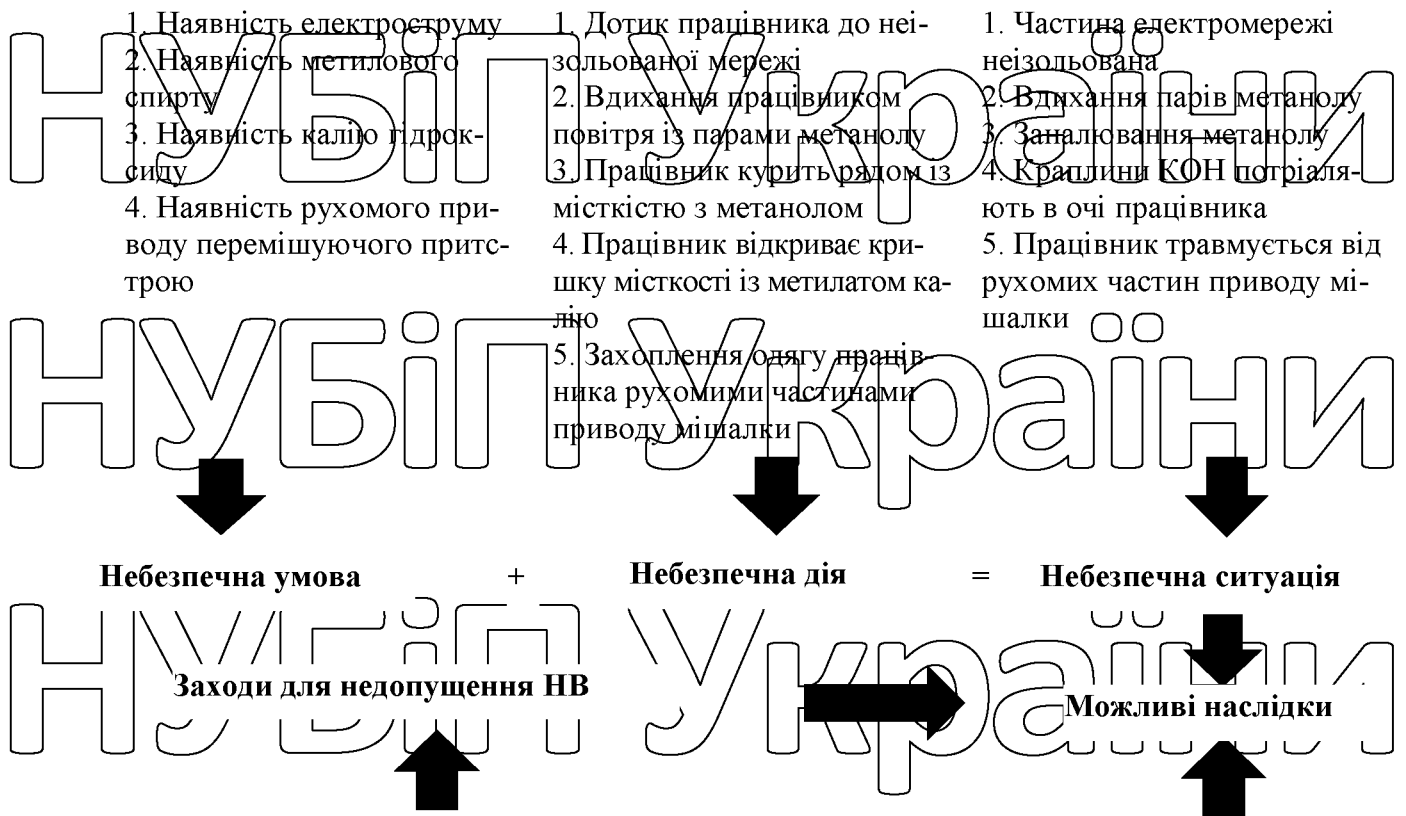
«ТОВ "Погребищенське»"

### Загальні положення

1. Біодизель характеризується не значними небезпеками: не активний хімічно, не токсичний, не викликає канцерогенну дію, не пожегонезбезпечний під час транспортування.

2. Побічним продуктом процесу виробництва біодизеля являється гліцерин, крім нього залишається мильний осад та шлам очисних пристроїв.

3. Безпечність виробництва біодизеля повинна визначатись наступними заходами:



- вибір технологічного процесу та режиму його проходження на всіх ділянках (етапах) отримання біодизеля;
- контроль роботи технологічного устаткування;
- визначення умов зберігання та підготовки сировини для отримання біодизеля;
- вимог до безпеки праці;
- виконання вимог до пожежної безпеки.

4. Небезпечними моментами в процесі виробництва біодизеля є застосування хімічних препаратів і реактивів (їдких лугів, кислот, метанолу). Існує небезпека вибуху спиртів, задіяних як каталізаторів під час протікання реакції трансестерифікації.

5. Проходження ідентифікації отриманого в «ТОВ "Погребишенське» біодизеля повинно відповідати вимогам державних стандартів. Ідентифікацію мають право проводити:

- 1) організації з підтвердженням відповідності.
- 2) уповноважені організації, що здійснюють контрольно-наглядові функції

в межах своєї компетенції.

6. Ідентифікацію і забір проб з метою проведення дослідів і випробувань продукції (біодизеля) проводять у відповідності з державними стандартами і стандартами організацій, які формують вимоги до конкретного найменування продукції, проводячи:

- 1) аналіз документів, характеризуючих партію продукції;
- 2) випробування і дослідження продукції;
- 3) органоліптичний огляд продукції;
- 4) наявність інформації, що супроводжує продукцію, у вигляді написів на

етикетці, аркуші-вкладиші, тарі [38].

#### **Умови представлення продукції на ринку**

7. Міроприємства з реалізації біодизеля на ринку повинні здійснюватись при виконанні заходів безпеки для збереження здоров'я та життя людини, довкілля та майна у відповідності до норм чинного законодавства в галузі паливної безпеки.

8. При установленні невідповідності параметрів біодизеля параметрам нормативної документації з вини виробників, продукт повертають на підприємство і направляють на переробку [38].

# НУБІП України

## Вимоги до промислової безпеки

9. На підприємстві виконання правил і принципів виробничої практики здійснюється шляхом використання існуючих систем в менеджменті якості процесів та продукції.

10. Вимоги безпеки, що стосуються виробничого обладнання:

- наявність засобів автоматизації та контрольно-вимірювальної апаратури;

- наявність запобіжних систем, систем управління і контролю за технологічними процесами;

- заходи захисту від вібрації і шуму;

- електрична безпека;

- безпека при обслуговуванні обладнання;

- пожежна безпека і вибухонебезпечність виробничих процесів;

- безпека технологічних процесів;

- безпека вихідної сировини, заготовок, умов їх зберігання та транспортування;

- безпека зберігання отриманої продукції;

- безпека складування і транспортування хімічно небезпечних речовин;

- наявність відповідних засобів захисту персоналу.

- вимоги до підбору кадрів та перевірка знань правил.

- вимоги до санітарно-гігієнічних заходів, до виробничих споруд, до обладнання та персоналу

11. Цистерни та резервуари, які використовуються для зливу (наливу) заземляються [38].

# НУБІП України

## Вимоги при роботі з реагентами



*Правила застосування лугів.* Необхідно виконувати правила безпеки, працюючи з гідроксидами (лугами), не допускати попадання в очі, не працювати поряд з відкритими джерелами вогню, користуватися під час роботи рукавичками і захисними засобами. Луг досить активно реагує з алюмінієм, цинком і оловом - для його зберігання необхідно користуватися скляним посудом, нержавіючою сталлю або спеціальним поліпропіленом високої міцності.

За нормами кількість метанолу для проходження процесу складає 20% від кількості жиру, наприклад для переробки 100 л відпрацьованої олії необхідно 20 л метанолу. Під час змішування лугу з метанолом отримуємо метоксид, реакція проходить з виділенням тепла.

*Правила використання метанолу.* Метанол - це отруйна речовина! Робота з ним вимагає дотримання максимальних запобіжних правил! Не допускається вдихання парів, важливо не працювати неподалік відкритого вогню, користуватися захисними засобами для шкіри, при попаданні метанолу на шкіру негайно промити у великій кількості води. Під час роботи не допускати присутність дітей [39].

### **Правила використання біодизеля**

По-перше слід відмітити умови, дотримання яких обов'язкове для зберігання горючих матеріалів. Відомо, що під час тертя паливних матеріалів по поверхні гумового покриття або металеві поверхні виникає статична напруга, яка перекидається на цистерну. Це найпоширеніша причина загоряння горючих матеріалів трубопроводі або резервуарі. Для скидання статичного заряду із систем, наповнених горючими рідинами, виконують заземлення.

Необхідно уникати вдихання парів горючих матеріалів, що виділяються паливом в закритих приміщеннях. Для попередження накопичення значної концентрації горючих газів в закритих приміщеннях споруди забезпечуються потужною вентиляцією. Якщо ці умови з якоїсь причини не витримані або якщо не функціонує витяжка, а перебувати в споруді, хоча і короткостроково, необхідно,

працівник зобов'язаний одягти протигаз або інший захисний засіб, що забезпечує якість повітря, що придатне для дихання. Термін перебування в цистерні або іншій небезпечній споруді не повинен бути більшим 15-ти хвилин, а значення температури всередині - не більше 35°C.

При необхідності переливання рідкої горючої речовини в іншу ємність, наприклад, забір із бензовоза в ємності на АЗС використовують насоси. У випадку проливання палива на землю, його залишки відразу засипаються піском після чого утилізуються.

Автолюбителі, яким доводиться відкачувати пальне з бака або паливної системи, не допускається відкачувати відбирати вміст за допомогою ротової порожнини. Не треба робити, використовуючи вакуумне відсмоктування. Можна використати будь-які підручні пристрої. Наприклад, крапельницю зі шприцом.

Обслуговування засобів відкачування повинно здійснюватися інструментами, на яких відсутнє будь-яке поверхнєве покриття. Якщо після використання інструменту залишається наліт, потрібно видалити його за допомогою розчинника та нової щітки [38].

### Вимоги до маркування біодизеля

12. Існують загальні вимоги до маркування біодизеля, що відповідають Технічному регламенту «Вимоги до пакування, маркування, етикетування та правильного їх нанесення», та вимогам, наведеним у цьому розділі.

13. Розміщуючи продукцію на ринку, кожна її партія супроводжується документом, підтверджуючим якість від виробника та копією декларації відповідності.

14. В документі про якість повиненно бути вказано:

- позначення марки та найменування біодизеля;

- найменування, територіальне розміщення (включаючи країну) і логотип підприємства-виготовлювача;

- найменування, територіальне розміщення (включаючи країну) виробника

та уповноваженого ним представника (для імпортової продукції);

- дата вироблення та номер партії;

- позначення документа нормативних характеристик біодизеля,

- нормативні вимоги і результати досліджень біодизеля на відповідність

цим документам;

- маса нетто;

- гарантійний термін [38].

### **Вимоги до умов зберігання та транспортування**

15. На зберігання поступає лише той біодизель, який задовольняє вимогам Технічного регламенту і супроводжується документами, які забезпечать простежуваність руху товарного ланцюга (товарно-супровідною документацією).

16. Термін придатності для біодизельного палива не перевищує три місяці тому, що при тривалому зберіганні розкладається.

17. Зберігання біодизеля можливе лише при виконанні заходів безпеки для здоров'я і життя людини, довкілля та майна враховуючи властивості небезпек у відповідності вимогам промислової безпеки.

18. Передача, зберігання, відпуск та утилізація біодизельного палива влаштована так, щоб максимально не допустити втрати.

19. Зберігатися біодизель повинен в резервуарних паркінгах.

20. Насипи навкруги резервуарів, та переїзди крізь них повинні бути в робочому стані. Робочі майданчики посеред насипів повинні бути вирівняні і засипані піском.

21. Заборонено:

- використовувати негерметичне обладнання та запірну арматуру;

- зменшувати висоту насипу, встановлену нормами проекту;

- використовувати резервуари, які мають тріщини і перекоси та несправне обладнання, контрольні-вимірні прилади, трубопроводи, стаціонарні протипожежні пристрої;

- присутність дерев чи кущів в зоні насипів;
- переповнювати цистерни та ємності.

22. Склади резервуарного парку повинні мати запас речовин для гасіння вогню та можливість їх подачі в кількостях, необхідних для гасіння пожежі в найбільшій цистерні.

23. У складах з бесстелажним способом зберігання сировини, готова продукція та сировина повинні бути укладеними на підлози.

24. Навпроти дверних отворів у складських приміщеннях повинні бути вільні проходи ширина яких рівна ширині дверей, але не менша 1 м. В приміщенні складу з періодом через 6 метрів необхідно передбачати проходи ширина яких не менша 0,8 м.

25. Відстань від матеріалів, що зберігаються, до світильників повинна бути не меншою 0,5 м.

26. Відстій та ремонт транспортних та вантажно-розвантажувальних засобів біля складів та на дебаркадерах заборонений, вантажі, складені на рампу, повинні перевантажитись до кінця робочої зміни.

27. Електричне обладнання складів після закінчення робочої зміни має знеструмлюватися. Засоби, призначені для знеструмлення складу, повинні бути розміщеними поза складським приміщенням або на окремо встановлених опорах або на стіні, виготовленій з негорючих матеріалів, знаходитись в шафах або нішах, мати пристрій для встановлення пломби та зачинятись на замок.

28. В приміщеннях складів використання електронагрівальних приладів, газових плит та встановлення штепсельних розеток недопустимо.

29. Не допускається зберігання горючих речовин або негорючих речовин у горючій упаковці в підвальних і цокольних приміщеннях, без наявності вікон, маючих прямики в підлозі цих приміщень.

30. Транспортування біодизеля виконується спеціальними, призначеними для цього транспортними засобами. Правила транспортування визначає відправник.

31. Перевезення та зберігання біодизеля повинно здійснювати в герметично закритій тарі, яка не допускає витік продукту [38].

#### 4.3. Розрахунок параметрів обладнання приточно-витяжної вентиляції при виробництві біодизеля

Відомо, що ні лимонна кислота ні гліцерин не є небезпечними речовинами в процесі очищення біодизеля, найбільш небезпечними факторами є пари метанолу і гідроксид калію.

Кількість повітря для повітрообміну, задіяного для видалення з виробничих будівель з отримання біодизеля небезпечних газів і парів, визначаємо з виразу [30]:

$$Q = \frac{C}{c_2 - c_1}, \quad (4.1)$$

де  $Q$  – кількість повітря, задіяного для видалення з будівлі небезпечних паро-газових сумішей, м<sup>3</sup>/год;  $C$  – кількість небезпечних паро-газових сумішей, які виділяються в будівлі, мг/год;  $c_2$  – показник концентрації небезпечних паро-газових сумішей у повітрі виробничої будівлі, мг/кг;  $c_1$  – показник концентрації небезпечних паро-газових сумішей у приточному повітрі, мг/кг.

Значення  $c_2$  відповідає ГДК. У випадку відсутності шкідливих паро-газових сумішей у приточному повітрі  $c_1 = 0$ .

Гранично допустимий показник концентрації аерозолу метанолу – 5 мг/м<sup>3</sup> [20], КОН – 0,5 мг/м<sup>3</sup> [5].

Як вказувалось вище, у виробництві біодизеля співвідношення частин олії до метанолу 100:10 та 1 частина калію гідроксиду, то 788 л біодизель містить:

$$\frac{788 \cdot 1}{100 + 10 + 1} = 7,1 \text{ л КОН.}$$

Знаючи густину калію гідроксиду 2044 кг/м<sup>3</sup> його вага становитиме:

$$0,00251 \cdot 2044 = 5,13 \text{ кг.}$$

Біодизель вміщує до 1,5% метанолу.

НУБІП України

$$\frac{788 \cdot 1,5}{100} = 11,8 \text{ кг.}$$

Знаючи щільність біодизеля  $900 \text{ кг/м}^3$  вага його становитиме  $6,43 \text{ кг}$ .

Припустимо, що у випадку аварійної ситуації 1% від  $5,13 \text{ кг}$  калію гідроксиду та  $11,8 \text{ кг}$  метанолу у вигляді парів протягом 1 год. можуть опинитись у приміщенні заводу розміром  $5,25 \times 6,1 \times 4,8 \text{ м}$ , то к-сть шкідливих парів, які виділяється у приміщенні С, становитиме  $8950 \text{ мг/год}$ .

Звідси величина повітрообміну, який необхідний для видалення з приміщення заводу парів даних речовин, за виразом (4.1) буде становити:

НУБІП України

$$Q = \frac{8950}{0,5 + 5 - 0} = 1627 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для отримання такого повітрообміну обираємо осьовий вентилятор марки В-06-300-3,15 продуктивність якого  $1640 \text{ м}^3/\text{год.}$  та електричний двигун потужність якого  $0,12 \text{ кВт}$  та частота обертання колеса  $1500 \text{ об/хв.}$  [4].

НУБІП України

### Висновки до розділу 4

1. До небезпечних речовин під час виробництва і очищення біодизеля належать метанол і гідроксид калію.

НУБІП України

2. Для очищення повітря в приміщенні заводу із виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребищенське» прийнятий осьовий вентилятор В-06-300-3,15 продуктивністю  $1640 \text{ м}^3/\text{год.}$  з електродвигуном потужністю  $0,12 \text{ кВт}$  при частоті обертання робочого колеса  $1500 \text{ об/хв.}$

Н

НУБІП України

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТУ

Основними показниками економічної ефективності розробки і реалізації нового проекту є річний економічний ефект, ефективність одноразових затрат на його розробку та період окупності одноразових вкладень.

Витрати на виготовлення продукції (послуг, робіт) за календарним планом поділяються на одноразові і поточні.

Одноразові витрати – це витрати, інвестовані періодично (з періодичністю більше одного місяця), спрямовані на фінансування процесу виробництва на протя́зі тривалого часу.

Поточні витрати, або ж постійні – це дрібні витрати, або інвестиції з періодичністю менше одного місяця.

Витрати на виробництво включають в себе прямі матеріальні витрати: на виплату заробітної плати чи інші прямі витрати, постійні та періодичні накладні виробничі витрати [48].

Приведені витрати характеризують ефективність одноразових витрат, їх величина розраховується по формулі:

$$ПВ = C + E_n \cdot K, \quad (5.1)$$

де  $ПВ$  – величина приведених затрат, грн.;  $C$  – значення собівартості, грн.;  $E_n$  – значення нормативного коефіцієнта економічної ефективності для одноразових затрат ( $E_n = 0,12 - 0,15$ );  $K$  – величина одноразових затрат, або загальні капіталовкладення, грн.

Величину одноразових затрат отримуємо з виразу (5.1) і вона становитиме:

$$K = Ц \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (5.2)$$

де  $K$  – величина одноразових затрат, або загальні капіталовкладення, грн.;  $Ц$  – ціна обладнання, грн.;  $k_1 = 1,1$  – показник, враховуючий транспортні, складські та торгові затрати;  $k_2 = 1,2$  – показник, враховуючий затрати на встановлення обладнання.

Вартість лінії виробництва рослинних олій на 2014 р становить 209250 грн. [7], лінії підготовки рослинних олій – 138850 грн. [8], лінії естерифікації рослинних олій з обладнанням для очищення біодизеля – 443590 грн. [5]. З врахуванням інфляції на 2023 р. вартість зростає до: лінії виробництва рослинних олій 1 046 250 грн., лінії підготовки рослинних олій – 694 250 грн., лінії естерифікації рослинних олій з обладнанням для очищення біодизеля – 2 217 950 грн. Всього вартість комплексу обладнання для виробництва біодизеля становить:  $1\,046\,250 + 694\,250 + 2\,217\,950 = 3\,958\,450$  грн.

Обладнання встановлюють в приміщенні. Затрати на спорудження приміщень розраховуються, керуючись укрупненими нормативами, враховуючи вартість 1 м<sup>2</sup> будівництва споруд [16]. Вартість будівництва 1 м<sup>2</sup> будівлі з врахуванням внутрішнього оздоблення в середньому становить 28200 грн. [3]. До її вартості входить також вартість послуг з установки і підключення сантехніки, системи опалення, монтажу електроосвітлення, прокладення каналізації, це для виробничих споруд складає 20-30% їх загальної вартості [16]. Площа будівлі, в якій буде розміщуватися обладнання для отримання біодизеля, дорівнює 100 м<sup>2</sup>. Тому вартість спорудження будівлі заводу з виробництва біодизеля становить  $28200 \cdot 100 = 2820000$  грн.

Оскільки вартість робіт з установки сантехніки, монтажу освітлення, проведення опалення складає 25% затрат на будівництво, то  $2820000 \cdot 0,25 = 705000$  грн.

Загальна вартість будівлі із врахуванням всіх комунікацій становитиме  $2820000 + 705000 = 3525000$  грн, а з додаванням вартості обладнання –  $3525000 + 3958450 = 7483450$  грн.

Звідси сума капіталовкладень у виробництво біодизеля з виразу (5.2) буде становити:

$$K = 7483450 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 9878154 \text{ грн.}$$

Значення собівартості продукції вважається узагальнюючим показником, характеризуючим ефективність роботи виробничого підприємства (фірми). Цей показник включає всі аспекти виробничо-господарського процесу фірми. Чим



краще господарює підприємство, чим раціональніше і економічніше використовує свої ресурси, вдосконалює свою технічну базу, тим нижчим буде показник собівартості отриманої продукції. Очевидно, що цей показник впливає на ціну продукції. Собівартість є базою для розрахунку ціни товару, показника її нижньої межі для виробника, щоб гарантувати відтворення виробництва. Встановлювати ціну нижчу її собівартості підприємство не зможе, оскільки при таких умовах воно зазнає збитків [40].

Величина собівартості отримуємо з виразу:

$$C = C_a + C_p + C_{el} + C_o + C_c \quad (5.3)$$

де  $C_a$  – величина витрат на амортизацію, грн.;  $C_p$  – величина витрат на проведення ремонту і технічного обслуговування обладнання, грн.;  $C_{el}$  – витрати на сплату електроенергії, грн.;  $C_o$  – витрати на виплату заробітної плати, грн.;  $C_c$  – витрати на оплату сировини, грн.

Амортизація – це процес, при якому вартість основних фондів поступово переноситься (з урахуванням їх у витрати виробництва та обігу) в процесі їх зношуваності на отриману продукцію і використовується для розширеного або простого відтворення засобів виробництва, які зносилися.

Необхідність амортизаційних заходів обумовлюється тим, що засоби виробництва функціонуючи на протязі багатьох років та зберігають під час цього процесу свій натуральний вигляд. Вони передають новоствореному продукту частину своєї вартості щорічно або впродовж здійснення виробничого циклу, який пропорційно пов'язаний з їх зношуваністю що має назву амортизаційних відрахувань.

Зношуваність основних фондів буває фізичне і моральне.

Фізична зношуваність – це втрата основними фондами споживчої вартості, а відповідно, і вартості. В цьому випадку проходить перенесення їх вартості на новоотриманий продукт. Відповідно зниження вартості основних фондів відбувається і тоді, коли їх не задіюють. Така зношуваність не компенсується.

Моральна зношуваність – це втрата власної вартості основними фондами

не перенесеними на вартість отриманого продукту. Таке зношування виникає внаслідок збільшення кількості дешевших або сучасніших засобів праці. Моральна зношеність – це результат науково-технічного прогресу, ріст продуктивності праці в галузі машинобудування.

Амортизаційні відрахування утворюють амортизаційний фонд, кошти якого використовуються для заміни зношених і устарівших засобів праці.

Відрахування амортизаційних коштів здійснюються у відповідності з затвердженими в Україні нормативними показниками [2].

Кошти на амортизацію визначаються за формулою [19]:

$$C_a = \frac{C}{C_a} \quad (5.4)$$

де  $C$  – грошова вартість обладнання, грн.;  $C_a$  – час корисного користування обладнанням, років.

Час корисного користування обладнанням становить 5 років, а будівель – 20 років [19].

Визначимо кошти на амортизацію обладнання:

$$C_a = \frac{9958450 \cdot 1,1 \cdot 1,2}{5} = 1045031 \text{ грн.},$$

Кошти на амортизацію будівель:

$$C_a = \frac{7483450 \cdot 1,1 \cdot 1,2}{20} = 232650 \text{ грн.}$$

Сумарні затрати на амортизаційні відрахування становитимуть:

$$1045031 + 232650 = 1277681 \text{ грн.}$$

Кошти на проведення ремонтних робіт та відновлення обладнання знаходимо з формули [19]:

$$C_p = \frac{C_m \cdot H_p}{100} \quad (5.5)$$

де  $H_p$  – нормативна величина відрахувань на проведення ремонтних робіт та відновлення обладнання.

У відповідності до постанови Кабміну України від 6.09.1996 р. за №1075,

нормативний показник відрахувань на проведення ремонтних робіт та відновлення обладнання на протязі року не може бути більшим 5% від сумарної балансової вартості основних виробничих фондів.

Кошти на проведення ремонтних робіт та відновлення обладнання за рік по формулі (5.5) дорівнюватимуть:

$$C_p = \frac{3958450 \cdot 5}{100} = 197923 \text{ грн.}$$

Кошти на оплату електричної енергії, необхідної для роботи обладнання, розраховуються за виразом:

$$C_{el} = \Pi_{el} \cdot N_{el} \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot k \quad (5.6)$$

де  $\Pi_{el}$  – грошова вартість електроенергії, грн/кВт·год;  $N_{el}$  – величина потужності обладнання, кВт;  $T_1$  – час використання обладнання за рік, днів;  $T_2$  – час використання обладнання за добу;  $k$  – значення коефіцієнта використання обладнання на протязі зміни

Грошова вартість електроенергії для промислових підприємств 2 класу, враховуючи ПДВ в 2023 р. становить 2,64 грн/кВт·год. [45]. Величина електричної потужності привода перемішуючого пристрою в реакторі для отримання і очищення біодизеля по 4 кВт, в реакторі для отримання калію метилату – 2,2 кВт, водогрійного котла – 30 кВт. Сумарна величина електричної потужності обладнання дорівнює 40,2 кВт. Значення коефіцієнта використання електричного обладнання на протязі зміни дорівнює 5%.

Установка працює в три зміни, враховуючи святкові і вихідні дні на протязі року робочих буде 257 днів [41]. Підприємство працює 24 год. На протязі доби.

Отже, кошти на оплату електричної енергії по формулі (5.6) становитимуть:

$$C_{el} = 2,64 \cdot 40,2 \cdot 257 \cdot 24 \cdot 0,05 = 32730 \text{ грн.}$$

Витрати на виплату заробітної плати знаходимо з виразу:

$$C_o = TC \cdot n_{роб} \cdot T_{зп} \quad (5.7)$$

де  $TC$  – ставка, встановлена за тарифом, грн/міс.;  $n_{роб}$  – кількість обслуговуючих

операторів, чол.;  $T_3$  – час використання лінії з отримання біодизеля на потязі року, міс.

Оператори обладнання, працюючи на виробництві з отримання біодизеля, мають IV тарифний розряд, відповідно якому посадовий оклад дорівнює 3674 грн./міс. [37]. Разом із тим, законом про оплату праці визначено, що розмір зарплати працівника за повністю виконану місячну (годинну) норму праці не може бути нижчим за розмір мінімальної зарплати, тобто не менш ніж 6700 грн з 1 січня 2023 року. Якщо працівнику, який виконав місячну норму праці, нарахували зарплату в меншому розмірі, роботодавець проводить доплату до її рівня,

яку виплачує разом із зарплатою (за винятком виконання роботи на умовах неповного робочого часу [22]).

Затрати на оплату праці чотирьох операторів біодизельного виробництва (один оператор на зміні, всього чотири оператори) за виразом (5.7) становитимуть

$$C_0 = 6700 \cdot 4 \cdot 12 = 321600 \text{ грн.}$$

Затрати на придбання сировини визначаються як сума затрат на придбання олії і калію метилату.

Для виробництва біодизеля необхідно 90% олії і 10% калію метилату. Результатом проходження реакції естерифікації є суміш 90% біодизелю та 10% гліцерину. Якщо є необхідність в отриманні 182389 л біодизеля в рік, це означає, що потрібно отримати біодизельно-гліциринову суміш  $182389 \cdot 100/90 = 202654$  л. Щоб отримати цю кількість біодизеля необхідно мати  $182389 \cdot 90/100 = 164150$  л оливи і  $182389 \cdot 10/100 = 18239$  л калію метилату.

Знаючи величину показника щільності калію метилату –  $793 \text{ кг/м}^3$ , для виробництва необхідної кількості біодизеля потрібно використати  $793 \cdot 18,239 = 14463$  кг калію метилату. Вартість калію метилату – 18500 грн./т [21]. Отже, затрати на метилат/калію становлять  $18500 \cdot 14,463 = 267566$  грн.

Показник собівартості отримання олії рослин може змінюватися в значних ме-

жах. Згідно із розрахунками за методикою [32], в ТОВ "Погребиненське" вона складе 25,0 грн./л. Звідси витрати на придбання олії для отримання біодизеля дорівнюватимуть  $164150 \cdot 25 = 4128750$  грн.

Сумарні витрати на придбання сировини становлять:

$$267566 + 4128750 = 4396316 \text{ грн.}$$

Отже величина собівартості біодизеля з виразу (5.3) становитиме:

$$C = 1277681 + 197923 + 32730 + 321660 + 4396316 = 6226249 \text{ грн.},$$

$$\text{або } C = 6226249 / 182389 = 34,14 \text{ грн/л.}$$

Величина приведених затрат з формули (5.1) дорівнюватиме:

$$Z_n = 6226249 + 9878154 \cdot 0,15 = 7707972 \text{ грн.},$$

$$\text{або } 7707972 / 182389 = 42,261 \text{ грн/л.}$$

Прибуток розраховується з виразу:

$$P = (C_{\text{диз}} \cdot V_{\text{диз}}) - (C_{\text{біодиз}} \cdot V_{\text{біодиз}}). \quad (5.8)$$

де  $P$  – величина прибутку, грн./рік;  $C_{\text{диз}}$  – вартість мінерального палива, грн./л;  $C_{\text{біодиз}}$  – собівартість виробництва біодизеля, грн./л;  $V_{\text{диз}}$ ,  $V_{\text{біодиз}}$  – величина річного об'єму мінерального палива і біодизельного, необхідна господарству, л/рік.

Величина річного прибутку, отриманого від використання 182389 л біодизеля, собівартість якого 34,14 грн./л замість 168150 л закупленого за 46,59 грн./л мінерального палива, з формули (5.8) становитиме:

$$P = (46,59 \cdot 168150) - (34,14 \cdot 182389) = 1607859 \text{ грн.}$$

Період окупності одноразових інвестицій визначається з формули:

$$T_o = \frac{K}{P} \quad (5.9)$$

де  $T_o$  – період окупності, років;  $K$  – сумарні капітальні вкладення, грн.;  $P$  – величина прибутку, грн./рік.

З формули (5.9) період окупності одноразових вкладень становить:

$$T_o = \frac{9878154}{1607859} = 6,14 \text{ років.}$$

Результати розрахунку показників економічної ефективності впровадження установки для виробництва біодизеля в ТОВ "Погребишенське" показані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Результати розрахунку показників економічної ефективності впровадження установки для виробництва біодизеля в ТОВ "Погребишенське"

№	Показники	Значення
1	Капіталовкладення, грн.	9 878 154
2	Заграти на: – амортизацію, грн.	1 277 681
3	– ремонт, грн.	197 923
4	– електроенергію, грн.	32 730
5	– оплати праці, грн.	321 600
6	– сировину, грн.	4 396 316
7	Всього біодизеля, л	182 389
8	Собівартість виготовлення біодизеля, грн. грн./л	6 226 249 34,14
9	Всього нафтового дизпалива, л	168 150
10	Вартість нафтового дизпалива, грн./л	46,59
11	Прибуток, грн./рік	1 607 860
12	Період окупності інвестицій, років	6,14

#### Висновки до розділу 5

Собівартість біодизеля для ТОВ "Погребишенське", виробленого на установці із спроектованим реактором, становить 34,14 грн./кг. В результаті заміни нафтового дизпалива отриманим біодизелем прибуток ТОВ "Погребишенське" становитиме 1 607 860 грн./рік. Період окупності інвестицій при цьому буде становити 6,14 років.

## ВИСНОВКИ

1. Нафтове дизельне паливо можливо замінювати метиловими ефірами жирних кислот, які мають назву біодизель.

2. Надешевшою і найпростішою технологією для отримання біодизеля є технологія з використанням гомогенного каталізатора.

3. В ТОВ "Погребищенське" виробництво біодизеля буде відбуватись в циліндричному біореакторі з днищем конічної форми та обсягом 780 л, кутом у основі конуса  $90^\circ$ , оснащеному водяною рубашкою для забезпечення термобалансу в реакторі та фланцевою кришкою плоскої форми.

4. Розроблений проект бводизельного реактора характеризується такими конструкційно-технологічними параметрами: висота біореактора  $H = 1,34$  м; діаметр біореактора  $D_0 = 1,00$  м; кут вершини конуса днища біореактора  $\beta = 90,0^\circ$ ; обсяг циліндричної частини ємності біореактора  $V_{цч} = 0,65$  м<sup>3</sup>; обсяг конічної частини ємності біореактора  $V_{кч} = 0,13$  м<sup>3</sup>; обсяг біодизеля в циліндричній частині ємності біореактора  $V_{бдцч} = 0,52$  м<sup>3</sup>, довжина конічної частини ємності біореактора  $l_{кч} = 0,71$  м; висота конічної частини ємності біореактора  $h_0 = 0,50$  м; висота циліндричної частини ємності біореактора  $H_{цч} = 0,83$  м; висота наповнення біодизелем циліндричної частини біореактора  $H_{бдцч} = 0,66$  м; загальна висота наповнення біодизелем біореактора  $H_0 = 1,15$  м; товщина металу для виготовлення корпусу обичайки циліндричної форми біореактора – 5,0 мм; товщина металу для виготовлення конічної частини біореактора – 5,0 мм; товщина металу для виготовлення плоскої кришки біореактора – 5,0 мм; товщина металу для виготовлення водяної рубашки – 4,5 мм.

5. Конічної форми днище, циліндричної форми обичайка та плоска кришка біореактора виготовлятимуться з гарячекатаної легованої сталі марки 10X17H13M2T.

6. Для перемішування реагуючих складових в процесі вироблення біодизеля використовується зубчата мішалка з наступними конструкційно-технологічними характеристиками: діаметр зубчатої мішалки – 0,125 м; висота зубів на мішалці –

0,013 м; товщина мішалки – 0,003 м; діаметр вала для кріплення мішалок – 0,013 м; висота ступниці мішалки – 0,03 м; число зубів на мішалці – 18 шт; відстань від краю нижньої мішалки до дна ємності – 0,175 м; число розташованих на валу зубчастих мішалок – 4 шт.; відстань між розташуванням мішалок на валу – 0,25 м; частота обертання – 1000 об./хв.

7. Для приводу в дію зубчастої мішалки обираємо електричний двигун 4A112MB6U3 потужність якого 4 кВт а частота обертів вихідного вала 1000 об./хв.

8. До складу лінії отримання дизельного біопалива в ТОВ "Погребищенське" входять: біореактор виробництва калію метилату, біодизельні реактори, реактор видалення з біодизеля метилового спирту, реактор очищення від катализатора, збірник метанолу, осушувач біодизеля, електронагрівальний котел, кожухотрубний конденсатор, резервуари для збирання біодизеля, ємності для збирання відходів.

9. Оптимальний показник температури реакції естерифікації для отримання найбільшого виходу метилового ефіру – 84,12%, дорівнює 33,97°C.

10. В процесі виробництва та подальшого очищення біодизеля утворюються небезпечні речовини – гідроксид калію і метанол.

11. Для вентиляції повітря в будівлях виробництва дизельного біопалива в «ТОВ "Погребищенське» обраний осьовий вентилятор В-06-300-3,15 величина продуктивності якого 1640 м<sup>3</sup>/год, він обладнаний електродвигуном з потужністю 0,12 кВт та частотою обертання 1500 об/хв.

12. Собівартість отримання біодизеля для ТОВ "Погребищенське", що буде вироблятися в установці зі розробленим реактором, дорівнює 34,14 грн./кг. Замінивши нафтове дизпаливо на отримане біодизельне, ТОВ "Погребищенське" отримає прибуток 1 607 860 грн./рік. Час окупності інвестованих для цього коштів становитиме 6,14 років.



## Список використаних джерел

1. Альбом типових конструкцій. АТК 24. 201. 17-90; мішалки 34 с.
2. Амортизація основних засобів на підприємстві у 2023 році. Матеріали із сайту Головбух [Електронний ресурс]. URL: <https://bihplatforma.com.ua/article/7267-amortizatsiya-osnovnih-zasobiv-na-pdprimstv-u-2021-rots>.
3. Будівництво. Види робіт і діапазон цін. Матеріали із сайту Rabotniki.ua [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rabotniki.ua/stroitelstvo-doma>.
4. Вентилятори осьові В-06-300. Матеріали із сайту Вентиляторні градирні [Електронний ресурс]. URL: <https://gradvent.com/ventilyatory/ventilyatory-osevyje/vo-06-300>.
5. Гідроксид калію. Матеріали із сайту Вікіпедія [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4\\_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%8E](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%8E).
5. Довідка про ціну на лінію виробництва дизельного біопалива. Чернігів. ТОВ "ТАН". 4 с.
7. Довідка про ціну на лінії виробництва рослинних олій типу ЛВРО-ЕКО-БІО. Харків. НПП "Екструдер". 1 с.
8. Довідка про ціну на лінію підготовки рослинних олій до естерифікації. Чернігів. ТОВ "ТАН". 4 с.
9. ДСТУ 2238-96. Апарати емальовані з механічними перемішувальними пристроями. Типи, основні параметри і розміри. Київ: Держстандарт України, 1998. 18 с.
10. ДСТУ 4046-2001. Обладнання технологічне нафтопереробних, нафто-хфмфчних і хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги. Київ: Держстандарт України, 2001. 27 с.
11. ДСТУ 7806-2015. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Київ: ДП «УкрЕНДНЦ», 2016. 50 с.

12. Дубровін В. О., Поліщук В. М., Тарасенко С. Є., Драгнєв С. В. Практикум з машин та обладнання для біоенергетики: навч. посібник. Київ: Аграр Медіа Груп, 2013. 208 с.

13. Марки нержавіючої сталі. Матеріали із сайту MetallCleaner [Електронний ресурс]. URL: <https://metallcleaner.com/marki-nerzhavejshhej-stali.html>.

14. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник. Л.: Машиностроение, 1970. 752 с.

15. Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Мироненко В. Г. та ін. Альтернативна енергетика: навч. посібник. К: Аграр Медіа Груп, 2012. 244 с.

15. Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Мироненко В. Г. та ін. Альтернативна енергетика: навч. посібник. Київ: Аграр Медіа Груп, 2012. 244 с.

16. Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Мироненко В. Г. та ін. Технології виробництва біодизеля в АПК. Ч. 2: метод. вказівки. Київ: НУБіП України, 2012. 66 с.

17. Мироненко В. Г., Дубровін В. О., Поліщук В. М., Драгнєв С. В., Свистунова І. В. Енергобіотехнологія: курс лекцій. Київ: Холтех, 2010. 248 с.

18. Мироненко В. Г., Дубровін В. О., Поліщук В. М., Драгнєв С. В. Технології виробництва біодизеля: курс лекцій для студ. сільськогосп. вузів зі спец.

8.092900 – "Екобіотехнологія". Київ: Холтех, 2009. 100 с.

19. Мельник В. І., Ревенко Ю. І., Карабиньoš С. С. Амортизація основних засобів: метод. вказівки. Київ: Тонар, 2012. 26 с.

20. Метанол. Матеріали із сайту Вікіпедія [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BB>.

21. Метанол технічної марки А. Матеріали із сайту Prom.ua [Електронний ресурс]. URL: <https://prom.ua/ua/p972981956-metanol-tehnicheskij-marki.html?&primelead=My42>.

22. Мінімальна зарплата та прожитковий мінімум 2023 року: як зміняться податки та штрафи для підприємців. Матеріали із сайту Ligazakon.net [Електронний ресурс]. URL: [https://biz.ligazakon.net/aktualno/12818\\_minimalna-zarplata-ta](https://biz.ligazakon.net/aktualno/12818_minimalna-zarplata-ta)

prozhitkoviy-mnimum-2023-yak-zmnyatsya-podatki-ta-shtrafi-dlya-pedprimsyv.

23. Михайличенко В. П., Нечипоренко Д. І., Новожилова Т. Б., Себко В. В., Пітак І. В., Пітак О. Я. Розрахунок і конструювання посудин і апаратів хімічної та харчової промисловості: підручник. Харків: НТУ «ХП», 2020. 280 с

24. Поліщук В.М. Біопалива для дизельних двигунів: види, переваги та недоліки використання. *Журнал головного енергетика*. 2020, № 8 (32). С. 66-74.

25. Поліщук В.М. Виробництво біодизеля: методи отримання та вимоги до сировини. *Журнал головного енергетика*. 2020, № 9 (33). С. 58-62.

26. Поліщук В.М. Виробництво біодизеля: переваги та недоліки поширених технологій. *Журнал головного енергетика*. 2020, № 10 (34). С. 28-35.

27. Поліщук В. М., Войтюк В. Д. Процеси, машини та обладнання виробництва твердих і рідких біопалив: монографія. Київ: НУБіП України, 2018. 588 с.

28. Поліщук В. М., Войтюк В. Д., Тарасенко С.Є. Процеси, системи та обладнання для виробництва біопалива: монографія. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 548 с.

29. Поліщук В., Дубровин В., Полищук О. Альтернативні дизельні палива. *MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. 2012, Tom. 14, No 3. С. 20-32.

30. Поліщук В. М., Голопура С. М. Розрахунок повітрообміну в транспортному засобі для перевезення сільськогосподарських тварин птиці. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Санітарія та гігієна транспортних засобів" для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітнього ступеня „Магістр” зі спеціальності 275 – "Транспортні технології (автомобільний транспорт)". Київ: НУБіП України, 2016. 34 с.

31. Поліщук В. М. Інженерія систем природокористування. Ч. 5. Конструктивно-технологічний розрахунок механічних мішалок: метод. вказівки. Київ: АграрМедіаГруп, 2014. 160 с.

32. Поліщук В.М. Себівартість насіння олійних культур для переробки в біодизель. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2014. № 196. Ч. 2. С.

50-57.

33. Поліщук В. М. Способи застосування біопалив в народному господарстві. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2008. № 125. С. 257-267.

34. Поліщук В. М., Тарасенко С. Є. Біопалива. Виробництво і використання: навч. посібник. Київ: ЦП "КОМПРИНТ", 2017. 376 с.

35. Поліщук В. М. Технічні засоби виробництва біодизеля при метанолізі з гетерогенним катализатором. *Журнал головного енергетика*. 2020, № 11 (35). С. 55-57.

36. Поліщук В. М. Технології виробництва біодизеля особливості очищення від різних домішок. *Журнал головного енергетика*. 2020, № 12 (36). С. 58-67.

37. Посадові оклади за ЄТС-2023 – тарифна сітка. Матеріали із сайту Бухгалтерія [Електронний ресурс]. URL: <https://oblikbudget.com.ua/article/448-tarifna-sitka-2022-posadov-okladi-za-ts>.

38. Про затвердження технологічного регламенту «Вимоги до безпеки біодизеля». Матеріали із сайту Food and Agriculture Organization of the United Nations [Електронний ресурс]. URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/kaz111865.pdf>.

39. Правила роботи з кислотами і лугами. Матеріали із сайту CAR-CITE [Електронний ресурс]. URL: <https://lawyer-great.ru/uk/pravila-raboty-s-kislotami-i-shchelochami-pravila-tehniki-bezopasnosti-pri-rabotah/>

40. Рахуємо собівартість продукції. Матеріали із сайту Будуй своє [Електронний ресурс]. URL: <https://buduysvoe.com/publications/rahuyemo-sobivartist-produktsiyi>.

41. Робочі дні - 2023. Матеріали із сайту БУХОБЛІК [Електронний ресурс]. URL: <https://www.buhoblik.org.ua/kadry-zarplata/vremya/2361-2361-robochi-dni.html>.

42. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Пер. с польск. под ред. И. А. Шутяка. Л.: Химия, 1975. 384 с.

43. Справочник по электрическим машинам. В 2 т. / Под общ. ред. И. П.

Копылова и Б.К. Клюкова. Т.1. М.: Энергоатомиздат, 1988. 456 с.

44. Сушарка: паспорт. Чернігів, ООО "ТАН", 2006. 8 с.

45. Тариф на електроенергію підвищать вдвічі: коли чекати на нову ціну. Матеріали із сайту Borg. Expert [Електронний ресурс]. URL: <https://borgexpert.com/news/taryf-na-elektroenerhiu-pidvyshchat-vdvichi-koly-chekaty-na-novu-tsynu>.

46. Технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: монографія / Л. М. Тищенко, С. І. Корнієнко, В. А. Дубровін та ін.: за ред. Л. М. Тищенко / Харк. нац. техн. ун-т с.-г. ім. Петра Василенка. Харків: ХНТУСГ, 2015.

273 с.

47. ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ПОГРЕБИЩЕНСЬКЕ". Матеріали із сайту TRIPOLI [Електронний ресурс]. URL: <https://tripoli.land/farmers/vinnitskaya/pogrebischenskiy/pogrebischenske-32701610>.

48. Умовно-постійні витрати. Матеріали із сайту Підручники [Електронний ресурс]. URL: [https://pidru4niki.com/69494/buhgalterskiy\\_oblik\\_ta\\_audit/umovno-postiyni\\_vitrati](https://pidru4niki.com/69494/buhgalterskiy_oblik_ta_audit/umovno-postiyni_vitrati).

49. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. Пер. с чешск. под ред. И. С. Павлушенко. Л.: ГНТИХЛ, 1963. 416 с.

50. Polishchuk V., Golopura S., Biletskii V., Styrankevych G. National-economy application of diesel biofuels. *Machinery & Energetics Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2018, Vol. 9, №. 3. С. 123-127. DOI: 10.31548/machenergy.2018.03.123-127.

51. Polishchuk V., Tarasenko S., Antypov Je, Kozak N., Zhylytsov A., Bereziuk A. Investigation of the Efficiency of Wet Biodiesel Purification. *For results 6-th International Conference: Renewable Energy Sources (ICoRES 2019)* (June 12-14, 2019, Krynica, Poland), *E3S Web of Conferences*, 2020. Vol. 154. 02006. doi: 10.1051/e3sconf/202015402006.

52. Polishchuk V., Tarasenko S., Antypov Je, Kozak N., Zhylytsov A., Okushko O. Study of Methods of Biodiesel Neutralization with Aqueous Solution of Lymonic

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП **ДОДАТКИ** України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТОК А

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

# НУБІП України

Таблиця А.1

Вихід метилового ефіру залежно від температури

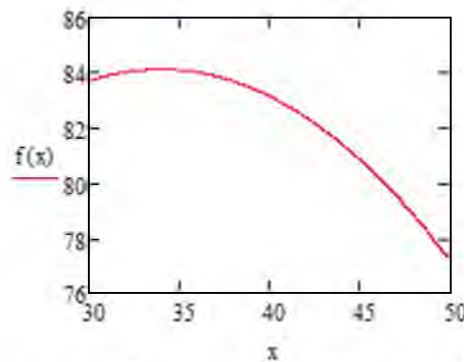
Температура реагентів, °C	Вихід метилового ефіру, %
30	83.5
35	84.5
40	82.5
45	81
50	77

Алгоритм дослідження функції  $Q=f(T)$  на екстремум в програмі MATHECAD

Функція

$$f(x) = -0.0271x^2 + 1.8414x + 52.829$$

Будуємо графік заданої функції



Перше початкове значення  $x := 1$

Задаємо ключове слово, яке дозволяє встановити інтервал, в якому буде пошук екстремуму

Given

Встановлюємо інтервал, в якому буде проводитись пошук екстремуму

$$30 < x < 50$$

Результат функції *Maximize* присвоюємо змінній P

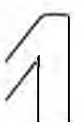
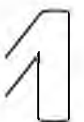
$$P := \text{Maximize}(f, x) \quad \underline{x} := P$$

Отримуємо мінімальне значення аргумента

$$P = 33.974$$

Значення функції при цьому становить

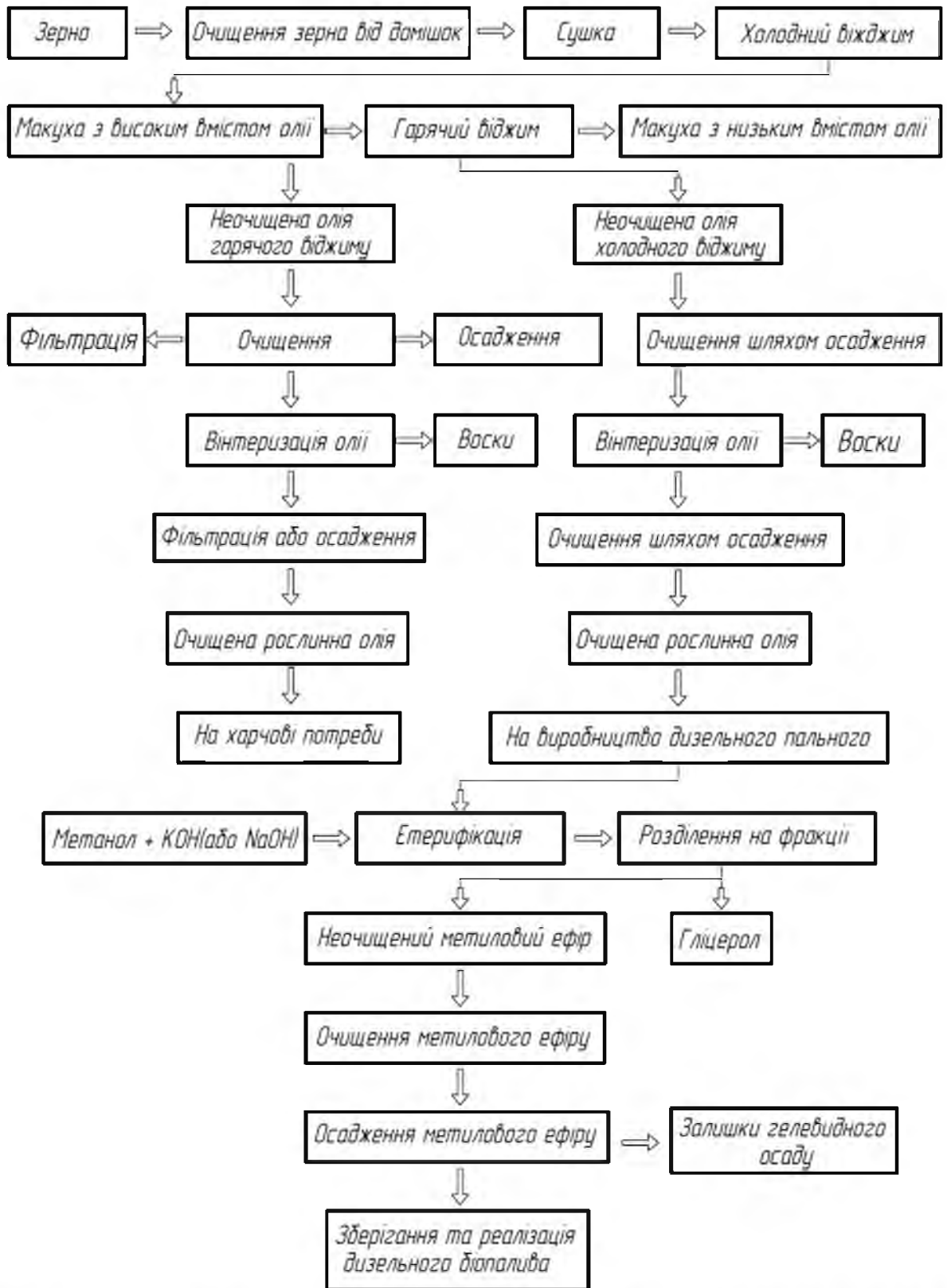
$$f(x) = 84.109$$



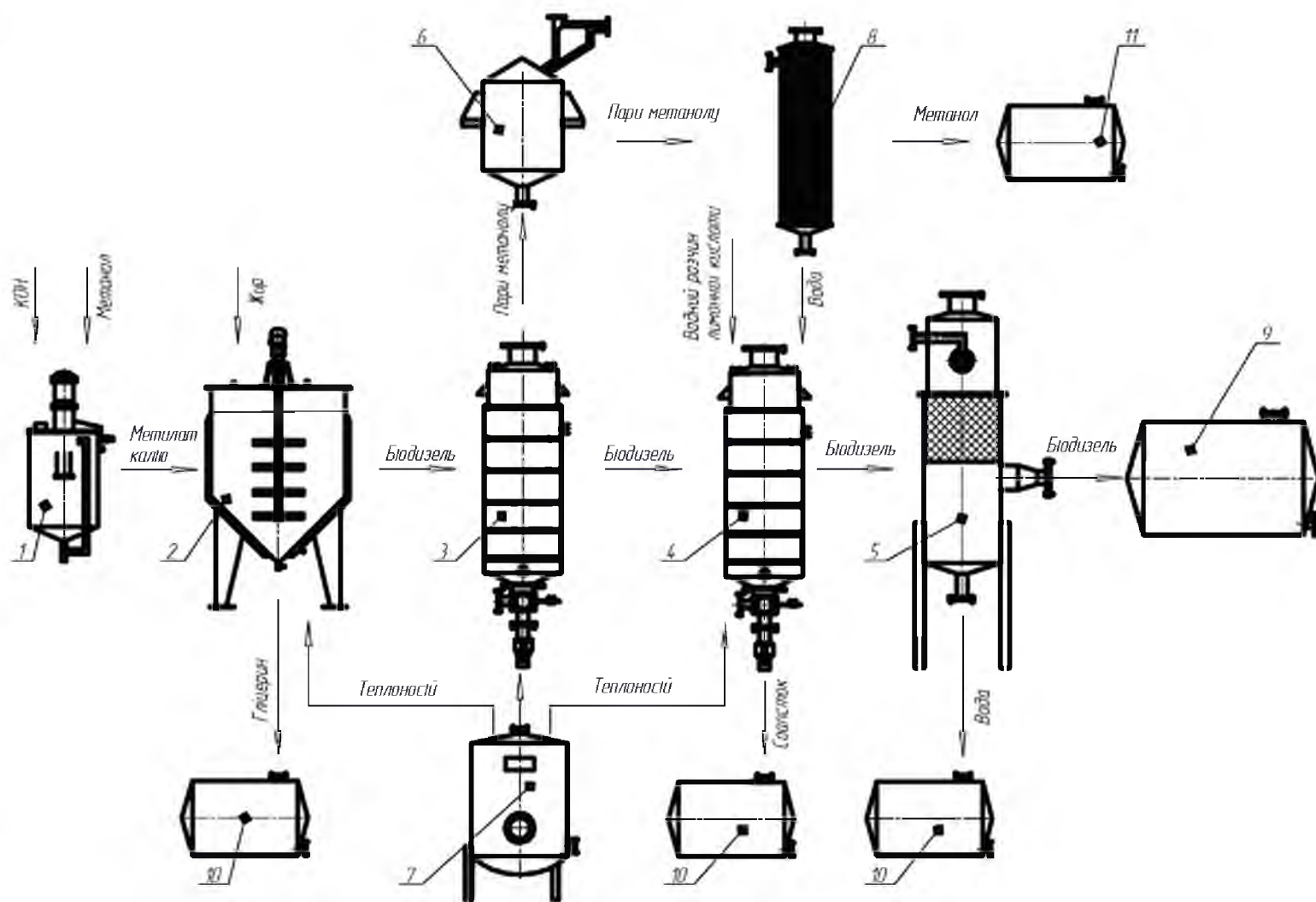


**ДОДАТОК Б**  
**КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ВУЗЛІВ БІОДИЗЕЛЬНОГО РЕАКТОРА**

*Технологічна схема виробництва дизельного біопалива*



Проектування лінії з виробництва дизельного біопалива для ТОВ "ПОГРЕБИЩЕНСЬКЕ"



1 – реактор для отримання метилату калію, 2 – реактор для виробництва біодизеля, 3 – реактор для видалення метанолу з біодизеля, 4 – реактор для очищення біодизеля від каталізатора; 5 – осушувач біодизеля; 6 – збирач метанолу; 7 – котел електричний; 8 – конденсатор кожухотрубний; 9 – місткість для біодизеля; 10 – місткість для відходів. 11 – місткість для зібраного метанолу.

НУ

НУ

НУ

НУ



Формат	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>						
A1			01.03 – МР.1943 "С" 01.001.015 ЗВ	Складальне креслення		
<i>Складальні одиниці</i>						
A4	1		01.03 – МР.1943 "С" 01.001.015	Ємність внутрішня	1	
A4	2		01.03 – МР.1943 "С" 01.002.015	Корпус	1	
A4	3		01.03 – МР.1943 "С" 01.003.015	Вал з мішалками	1	
A4	4		01.03 – МР.1943 "С" 01.004.015	Кришка	1	
A4	5		01.03 – МР.1943 "С" 01.005.015	Муфта пружна	1	
A4	6		01.03 – МР.1943 "С" 01.006.015	Сальникове ущільнення	1	
A4	7		01.03 – МР.1943 "С" 01.007.015	Рівнемір	1	
<i>Деталі</i>						
A4	8		01.03 – МР.1943 "С" 01.008.015	Прокладка	1	
A4	9		01.03 – МР.1943 "С" 01.009.015	Патрубок	1	
A4	10		01.03 – МР.1943 "С" 01.010.015	Ніпель	1	
A4	11		01.03 – МР.1943 "С" 01.011.015	Стакан	1	
A4	12		01.03 – МР.1943 "С" 01.012.015	Втулка ущільнююча	1	
A4	13		01.03 – МР.1943 "С" 01.013.015	Корпус підшипника	1	
<i>Стандартні вироби</i>						
		14		Болт М12х25.01.019 ГОСТ 7798-70	24	
01.03 – МР.1943 "С" 01.001.015						
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
Разраб.	Рудик				Лит.	Лист
Пров.	Полещук					Листов
Н.контр.	Єременко					1
Утв.					НУБІП України	

Копіював

Формат А4





*Результати визначення  
економічної ефективності впровадження установки  
з виробництва біодизеля в ТОВ "Позребишенське"*

<i>№</i>	<i>Показники</i>	<i>Значення</i>
1	<i>Загальні капіталовкладення, грн.</i>	9878154
2	<i>Затрати на амортизацію, грн</i>	1277681
3	<i>Затрати на ремонт, грн</i>	197923
4	<i>Затрати на електроенергію, грн</i>	32730
5	<i>Затрати на оплату праці, грн</i>	321600
6	<i>Затрати на сировину, грн</i>	4396316
7	<i>Кількість біодизеля, л</i>	182389
8	<i>Собівартість виробництва біодизеля, грн грн/кг</i>	2094673 13,74
9	<i>Приведені затрати Зп, грн/л грн/кг</i>	6226249 34,14
10	<i>Кількість нафтового дизельного палива, л</i>	168150
11	<i>Ціна нафтового дизельного палива, грн/л</i>	46,59
12	<i>Прибуток, грн/рік</i>	1607860
13	<i>Термін окупності інвестиції, років</i>	6,14

НУБІП України

НУБІП України