

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Модель технологічного процесу виробництва біопалива

Назва теми

КвРАКІТР.2023182.01.15 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

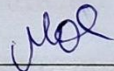
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТрм-23-1

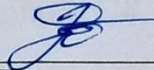


Підпис

Олександр МАТВІЙЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

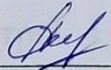


Підпис, дата

Ірина ФОРКУН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«20» грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Матвійчук Олександр Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Модель технологічного процесу виробництва біопалива

Керівник роботи Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

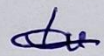

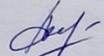

3 Вихідні дані до роботи Аналіз сучасного стану обладнання виробництва біопалива

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Дослідження процесів виробництва біодизеля у мікрореакторі. Математична модель процесів у мікрореакторі виробництва біодизелю. Дослідження математичної моделі мікрореактору процесу виробництва біодизелю. Автоматизація технологічного процесу синтезування біодизеля. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

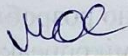
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2 Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3 Огляд існуючих моделей	15.10.2024р.	Виконано
4 Розробка математичної моделі	30.10.2024р.	Виконано
5 Розробка програмного забезпечення	10.11.2024р.	Виконано
6 Висновки	15.11.2024р.	Виконано
7 Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	20.11.2024р.	Виконано
8 Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент

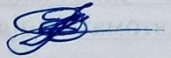


Підпис

Олександр МАТВІЙЧУК

Ім'я, прізвище

Керівник роботи



Підпис

Ірина ФОРКУН

Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Математична модель технологічного процесу виробництва біопалива».

Автор роботи: Матвійчук Олександр Сергійович.

Керівник роботи: Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент

Пояснювальна записка: 86 с., 33 рис., 2 табл., 1 дод., 70 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

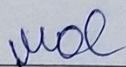
ОЛЯ, ГІДРОКСИД НАТРІЮ, МІКРОРЕАКТОР, БІОДИЗЕЛЬ,
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

Мета роботи: розробка математичної моделі технологічного процесу виробництва біопалива. Дослідження вивчає властивості біодизельного палива, переваги та недоліки порівняно зі звичайним паливом, методи виробництва та сировину, використану для його створення. На основі ознайомлення з літературою визначено необхідну сировину для виробництва біодизелю, створено та проаналізовано технічну схему виробництва біодизеля в мікрореакторі.

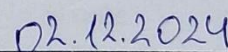
Кінетична модель заснована на припущенні, що молекули в мікрореакторі є сферичними, що призвело до розробки математичної моделі, яка розраховує синтез біодизеля в програмному пакеті MathCad.

Математична модель була використана для розробки програмного компонента в програмі Visual Studio мовою C#.

Запропоновано план автоматизації технологічного процесу створення біодизеля в мікрореакторі та пристрої з вибраними органами керування та регулювання. Створено систему регулювання кількості споживаного спирту та масел залежно від рН біодизельного палива на виході з резервуару.



Підпис студента



Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ У МІКРОРЕАКТОРІ.....	7
1.1 Поняття біодизелю	7
1.2 Основа виробництва біодизелю.....	9
1.3 Методи отримання біодизеля	13
1.4 Опис мікрореакторів для біодизелю.....	17
1.5 Порівняння мікрореакторів та традиційних реакторів.....	18
1.6 Висновки до першого розділу	21
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ У МІКРОРЕАКТОРАУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЮ	22
2.1 Аналіз схем виробництва біодизелю у мікрореакторі.....	22
2.2 Розробка кінетичної мат. моделі синтезування біодизеля	23
2.3 Розробка мат. моделі мікрореактора для синтезування біодизелю	30
2.4 Висновки до другого розділу.....	32
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МІКРОРЕАКТОРУ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЮ	33
3.1 Основні завдання на розробку технічного модулю	33
3.2 Програмна реалізація для обчислення математичної моделі мікрореактору синтезування біодизелю	34
3.3 Опис інструкції користування програмним продуктом	36
3.4 Висновки до третього розділу	40
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУВАННЯ БІОДИЗЕЛЯ.....	41
4.1 Огляд параметрів технологічної схеми синтезування біодизелю.....	41
4.2 Параметри автоматизації процесу	41
4.3 Схеми автоматизації.....	45

4.4 Постановка задачі створення нечіткої системи керування	47
4.5 Створення математичної моделі об'єкта із нечітким керуванням.....	56
4.6 Розробка правил системи нечіткого керування	67
4.7 Реалізація нечітких моделей та системи у MathCAD і MatLab.....	67
4.8 Висновки до четвертого розділу.....	76
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	79
Додаток А Стаття у фаховому журналі.....	87

ВСТУП

Однією з найбільших проблем на планеті є виснаження викопного палива, яке є основним джерелом енергії для людини. Звіти МЕА свідчать про зростання попиту на паливо, який може зрости на дві третини протягом наступних 25 років. За останні кілька років ціни на викопне паливо значно зросли. Подорожчання пояснюється зростанням попиту на бензин і дизпаливо. Іншою міжнародною проблемою, яка стосується людей, є глобальне потепління, яке спричинене руйнуванням викопного палива, що супроводжується великим викидом вуглекислого газу. Крім того, викопне паливо вважається значним джерелом забруднення місцевого навколишнього середовища. У результаті людство має досліджувати та розвивати альтернативні джерела енергії, засновані на екологічно чистих, відновлюваних процесах і методах.

Альтернативою звичайному маслу є біодизель. Біодизельне паливо складається з ефірів жирних кислот, отриманих з рослинних олій і тваринних жирів. Властивості біодизеля подібні до дизеля, тому його можна використовувати в дизельних двигунах. Оскільки біодизель не містить ароматичних компонентів, сполук сірки, вуглекислого газу, вуглеводнів і твердих частинок у газах, що виробляються двигуном, він є чудовою заміною палива на основі нафти.

Біодизель отримують з різних рослинних олій або тваринних жирів за допомогою реакції переестерифікації в резервуарі з перемішуванням. Проте висока вартість експлуатації та низька продуктивність самого процесу зумовлюють необхідність його модернізації. Одним із методів покращення виробництва біодизеля є використання мікрореакторів для заміни більших реакторів. Порівняно з традиційними реакторами мікрореактор має низку суттєвих переваг, включаючи високу швидкість тепло- та масообміну, здатність швидко змінювати обсяг виробництва та значно нижчу вартість.

Після вивчення методів і технологічних інновацій, пов'язаних з виробництвом біодизеля, було встановлено, що найефективнішим способом отримання цієї речовини буде мікрореактор, а в якості сировини слід вибрати нафту. Мікрореактори відіграють важливу роль у збільшенні виробництва біодизеля через їх кращу масо- та теплообмін, коротший час, менше обладнання, каталізаторів і відходів, ніж більші реактори.

Враховуючи усе вище викладене можна зробити висновок про те що тема магістерської кваліфікаційної роботи є актуальним завданням.

Метою роботи є розробка математичної моделі технологічного процесу виробництва біопалива.

Об'єкт дослідження процеси автоматизованого керування технологічним процесом виробництва біопалива.

Предмет дослідження математичні моделі технологічного процесу виробництва біопалива.

Було поставлені наступні задачі дослідження:

1. На основі проведеного аналізу розглянути технологічну схему виробництва біодизеля з використаної олії в мікрореакторі;
2. Розробити математичну модель кінетики отримання біодизеля та на її основі розробити математичну модель.
3. Розробити програмний модуль для розрахунку математичної моделі мікрореактора;
4. На основі технологічної схеми виробництва біодизеля в мікрореакторі розробити схему автоматизації, яка буде забезпечувати отримання якісного продукту на виході.
5. Для розробленої схеми автоматизації виробництва обрати основні технічні засоби автоматизації;
6. Створити нечітку систему керування процесом;

Наукова новизна полягає у створенні математичної моделі технологічного процесу виробництва біопалива, що дозволила визначити оптимальні параметри процесів регулювання.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ У МІКРОРЕАКТОРІ

1.1 Поняття біодизелю

Біодизель - це суміш довголанцюгових ефірів жирних кислот, які є моноалкільованими. Ця речовина нетоксична, піддається біологічному розкладанню, відновлюється та виробляється з органічних і відновлюваних ресурсів, включаючи свіжі або використані рослинні олії, тваринні жири та олійні рослини.

Біодизель – речовина жовтого кольору (яка може бути різного кольору). Він майже повністю розчинний у воді, його температура кипіння також низька. Біодизель, отриманий із забрудненої сировини, нетоксичний.

Під час спалювання біодизелю виділяється менше вуглекислого газу, ніж чистого дизельного палива, незалежно від того, якою мірою воно включено в інше дизельне паливо. Ця властивість не впливає на збільшення вуглекислого газу в атмосфері, натомість мінімізує інтенсивність парникового ефекту. Крім того, біодизель має вищий вміст сірки та вищу температуру спалаху, ніж дизель. Він також має більш високий вміст ароматичних речовин і біологічно розкладається.

Біодизель має кілька переваг порівняно з альтернативними видами палива:

1. Отримано з відновлюваних джерел
2. Може бути включений в існуючі дизельні транспортні засоби з обмеженими або без додаткових модифікацій. Тобто він може функціонувати як замітник викопного палива та матиме найбільше значення з точки зору енергії для транспорту. Біодизель можна використовувати в чистому вигляді на 100 відсотків (B100) або його можна поєднувати зі звичайним дизелем, цей останній варіант покращує змащувальні властивості двигуна та збільшує

термін служби двигуна, останній варіант має нижчу концентрацію сірки ніж колишній.

3. Менше викидів парникових газів (наприклад, B20 знижує рівень CO₂ на 15%). Під час спалювання викопного палива в атмосферу викидаються такі гази, як вуглекислий газ, що спричиняє глобальне потепління. Експерти прогнозують, що використання біодизеля замість звичайного дизельного палива зменшить викиди парникових газів на цілих 78%.

4. Розроблено, вироблено та розповсюджено на місці. Викопне паливо є обмеженим і не зможе задовольнити потреби людей у вугіллі, нафті та природному газі після закінчення визначеного періоду. Біодизель може зменшити залежність країн від іноземних постачальників нафти. Кожна країна матиме потужності для його виробництва на індивідуальній основі, що призведе до зменшення необхідності імпорту дорогого палива з інших країн.

5. Біоциклічний і нетоксичний. При спалюванні біопалива викид вуглекислого газу значно менший, а також менше забруднюючих речовин. Порівняно з нафтовим дизелем, біодизель має нижчу концентрацію сажі (твердих частинок), чадного газу, ненавмисних вуглеводнів і діоксиду сірки.[4] Температура спалаху біодизеля перевищує 150 градусів Цельсія, тоді як температура спалаху нафтового дизеля становить близько 52 градусів Цельсія, що робить його менш займистим. Як наслідок, його безпечно використовувати, зберігати та транспортувати [5].

6. Підвищена паливна ефективність. Біодизельні транспортні засоби мають 30% економію палива порівняно зі звичайними транспортними засобами, які використовують нафту як єдине паливо.

7. Біодизель підвищує ефективність двигунів транспортних засобів. Це число є цетановим числом палива, а також масла, яке присутнє в паливі - обидві ці якості допомагають підвищити ефективність і плавність роботи двигуна.

Незважаючи на велику кількість переваг, біодизель також пов'язаний з рядом негативних побічних ефектів:

1. Збільшення витрат на паливо через нижчу теплотворну здатність біодизеля.
2. Спостерігається більше викидів оксиду азоту (NOx), ніж інших видів палива, включаючи дизельне.
3. Вища температура замерзання, ніж дизель. Це збільшує його складність при низьких температурах.
4. Менш стійкий, ніж дизельне паливо, тому не рекомендується для тривалого зберігання (понад 6 місяців).
5. Прокладки та шланги, що складаються з пластику та натурального каучуку, можуть руйнуватися під впливом палива в його початковій формі, у цьому випадку рекомендовано замінити компонент на тефлон.
6. Він відокремлює відкладення шламу та інших забруднюючих речовин з дизельного палива в баках і паливопроводах, після чого відбувається вимивання біопалива в двигун, що призведе до проблем із клапанами та системою впорскування. Таким чином, рекомендується очистити резервуари перед заповненням біодизелем.

Ці недоліки можна подолати, використовуючи біодизель у поєднанні з дизелем.

1.2 Основа виробництва біодизелю

Людство історично використовувало біомасу та інші біологічні ресурси для виробництва енергії. Сировиною, необхідною для виробництва біодизеля, є рослинні олії (їх понад 95%), тваринні жири та коротколанцюгові спиртові сполуки (рис.1.1)

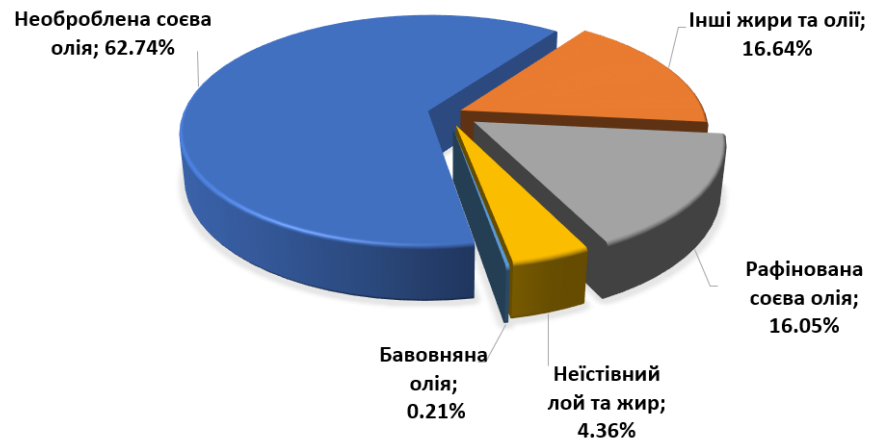


Рисунок 1.1 – Співвідношення срізних типів сировини для виробництва біодизеля

Рослинна олія

Джерелами палива для біодизеля розглядалися сільськогосподарські рослини – пшениця, ріпак, соя, соняшник, кукурудза, цукрові буряки, олії з яких збиралися для подальшої переробки. Згодом список сировини поповнився рослинами, які не були їстівними або не мали харчової цінності: ятрофа, олійна пальма та ін.

У Канаді та Європейському Союзі для виробництва біодизеля переважно використовують насіння ріпаку, в Америці – соєву олію, крім того, також використовують пальмову та соняшникову олії.

Пальмова олія, отримана з плодів олійної пальми. В основному він розташований у Південно-Східній Азії. У результаті деякі азіатські країни повертаються до використання пальмової олії як палива для виробництва біодизеля, щоб задовольнити великий попит з боку європейських країн, що, у свою чергу, сприятиме будівництву біодизельних заводів. Ці заводи створюватимуть 100 000 тонн біодизеля щороку. Попит на біодизель з Європи, а також Колумбії, Індії, Південної Кореї та Туреччини сприяв зростанню галузі. Оскільки все більше країн прагнуть зменшити свою залежність від викопного палива, цей попит зростатиме.

У деяких регіонах світу уряди та корпорації вважають рослину ятрофа перспективним кандидатом на біодизель. Рослина може адаптуватися до землі, яка є відходами, і виробляє в чотири рази більше енергії на площу, ніж соя, але лише в десять разів більше, ніж кукурудза. Нещодавно була запропонована ще одна альтернатива сировині для біодизеля – цю альтернативу отримують із горіхів пустельної породи. Інші рослини, такі як насіння бавовнику, розглядаються для використання як форми біодизеля. Крім того, гірчиця, льон, соняшник і коноплі розглядаються як потенційні джерела біодизеля.

Цей вид сировини має один істотний недолік, для вирощування олійних рослин потрібна земля високої якості, потенціал якої в багатьох регіонах світу досить обмежений. Наслідком вирощування олійних рослин є зменшення площі землі, відведеної під вирощування продовольчих культур, що призводить до зростання цін.

Ще одним негативним моментом сільськогосподарської сировини є її висока вартість, яка становить приблизно 80% від загальної вартості біодизеля. Це викликано необхідністю використання сільськогосподарської техніки, пестицидів, добрив і звичайної праці для поповнення родючості ґрунту, підвищення продуктивності та її підтримки. Крім того, витрати на біодизель залежать від кількості зібраного врожаю.

Нерослинні олії як біодизельна сировина

Незважаючи на екологічні переваги біодизеля, отриманого з рослинних відходів, серед вчених все ще існують певні занепокоєння щодо його довгострокової життєздатності. Місця, де видобувається нафта, є проблематичними. Такі країни, як Філіппіни та Індонезія, змушені вирубувати великі масиви тропічних лісів, щоб культивувати такі рослини, як олійна пальма. Крім того, гіпотеза припускає, що біодизель збільшить тиск на світові постачання продовольства, в результаті пошуки альтернативної сировини для біодизеля все ще тривають.

В якості цієї альтернативи можна використовувати сміттєві рослинні олії та сміттєві тваринні жири, їх зазвичай називають сміттєвою кулінарною олією або «WCO». Виробництво біодизеля з відпрацьованого масла є частковим вирішенням проблем забруднення навколишнього середовища та дефіциту енергії, а також є одним із кроків, зроблених для заміни нафтового дизеля. Крім того, WCO є дешевшим, ніж інша сировина та рослинні олії, що зменшує витрати на виробництво цього виду енергії. З цього матеріалу отримують біодизель другого покоління.

Перероблені жирові продукти класифікуються за кількістю вільних жирних кислот на два класи - жовтий і коричневий жир. Якщо відсоток вільних жирних кислот <15%, то це вважається «жовтим жиром», в іншому випадку його називають «коричневим жиром».

Жовтий жир використовується як харчові жири та масла. За оцінками експертів, на кожного мешканця міста щорічно утворюється близько 4 кілограмів цих відходів. Крім того, від стічних вод можна виділити жиромісні відходи, ці жири називають «бурим жиром», їх річний обсяг становить приблизно 6 кілограмів на людину. Крім того, в результаті діяльності людини накопичується більший обсяг різноманітних органічних відходів, які завдають шкоди навколишньому середовищу.

Отримання біопалива з цих відходів, безсумнівно, є одним із найефективніших і найперспективніших методів, оскільки в цьому методі використовуються вже наявні речовини.

Водорості як біодизельна сировина

Водорості також використовуються як джерело сировини для біопалива. Мікрководорості вважаються життєздатною альтернативою рідкому викопному паливу через високий вміст олії (понад 20%) і простий спосіб вирощування. Біомаса водоростей має потенціал зробити значний внесок у вирішення проблем виробництва продуктів харчування та біопалива в найближчому майбутньому.

Мікрводорості відносяться до таких груп: діатомові водорості, зелені водорості, золотисто-бурі водорості та синьо-зелені водорості. Ці водорості поділяються на чотири категорії.

Мікрводорості мають меншу потребу в землі, ніж інші рослини. Однак важливо визнати, що не всі мікроорганізми є корисними для виробництва біодизеля. Для росту мікрводоростей необхідна велика кількість CO₂, води, світла, поживних речовин і солей. Продукційні процеси відбуваються в резервуарах і фотобіологічних осередках. Розведення водоростей у відкритих водоймах можливо тільки в районах з теплим кліматом.

Переваги водоростевого біодизеля включають високу швидкість росту та високий урожай. Деякі види водоростей мають високий вміст олії, що ідеально підходить для виробництва біодизеля. Крім цього, ріст мікрводоростей дуже швидкий і збільшується вдвічі в біомасі протягом 24 годин. Кількість олії в мікрводоростей може становити до 80% ваги сухої біомаси. Залежно від виду, мікрводорості виробляють численні різні типи ліпідів, вуглеводнів та інших складних масел.

Одним із істотних недоліків мікрводоростей як джерела палива для біодизеля є висока концентрація поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) у теоліпідах.

що спричиняє зниження стабільності окисної системи та втрату інших властивостей біодизеля, включаючи його стабільність і консистенцію, 6.

1.3 Методи отримання біодизеля

Різні методи отримують біодизель з різними типами вихідних матеріалів і різними типами каталізаторів, включаючи гідроксид натрію або калію, сірчану кислоту, іонообмінну смолу, ліпази та інші.

Процес розведення. Цей підхід передбачає розбавлення рослинної олії та інших олій, які є відходами, шляхом поєднання їх із розчинником або

дизелем у певну композицію. Найпоширенішим із цих заходів є комбінування нафти з дизелем. Це зменшує в'язкість масла і зменшує потребу в дизелі. При застосуванні процентний склад масел, змішаних з дизелем, виражається як: В20, В30, В40, В50, В80, тобто 20%, 30%, 40%, 50% і 80% рослинної, тваринної або відпрацьованої олії. .

Цей тип суміші покращить якість палива, зменшить кількість використаного викопного палива та буде найбільш корисним як альтернатива біопаливу. Різні співвідношення біомасли та дизельного палива становлять 10:1, 10:2 і 10:3.

Процес трансестерифікації.

Біодизель — це хімічний продукт переестерифікації високомолекулярних жирів, які входять до складу рослинних олій і тваринних жирів, ці хімічні речовини зазвичай складаються з (метилового або етилового) спирту. Основним принципом процесу виробництва біодизеля є підвищення консистенції масла. Будь-яка рослинна олія складається з тригліцеридів, ці молекули пов'язані з молекулою гліцерину, ця молекула надає олії в'язкість і щільність. Щоб виробляти біодизель, необхідно виключити гліцерин і замість нього використовувати спирт. Рисунок 1.2 ілюструє процедуру переестерифікації.

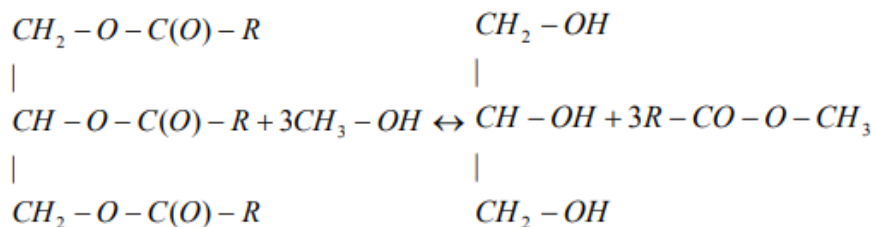


Рисунок 1.2 – Схема реакції трансестерифікації (алкоголізу) тригліцериду метанолом

Процес переестерифікації є другим за популярністю способом отримання біодизеля. Він складається з використання кислоти як

каталізатора, кислотного каталізатора в однині або кислотного каталізатора у множині. Кількість і різноманітність каталізаторів змінюються кількістю вільної жирної кислоти у вихідній олії. Значна кількість вільних жирних кислот шкодить виробництву біодизелю та викликає омилення.

Процес трансетерифікації основного каталізатора.

У цей момент КОН, NaOH і NaМЕТНО використовуються як каталізатори. Найефективнішим каталізатором є метоксид натрію, але він не рентабельний. Ця процедура передбачає поєднання спирту та олії, що відбувається в присутності основного каталізатора, ця процедура проводиться при температурі 50°C-60°C, щоб отримати найбільшу кількість біодизеля. Температура реакції повинна бути нижчою за температуру кипіння розчинника, тому що при вищій температурі метанол почне випаровуватися. Процес *خط رечей* (1300об/хв) проводиться протягом години. В результаті реакції суміш зберігається у відстійнику протягом 12-24 годин, щоб розділити її на біодизель і гліцерин. Верхній шар речовини - біодизель, а нижній - гліцерин.

Процес етерифікації кислотного каталізатора.

Деякі олії, які використовуються для створення біодизеля, мають концентрацію понад 1% вільної жирної кислоти, цю кислоту неможливо перетворити на біодизель. У результаті очікується, що вихід біодизеля в процесі переетерифікації буде низьким. У цьому випадку вихідне масло бере участь в етерифікації кислотного каталізатора перед переетерифікацією основного каталізатора. Під час цієї процедури вільна жирна кислота перетворюється на складний ефір. Під час цієї процедури алкоголь з'єднується з олією за допомогою кислотного механізму. У результаті реакції утворюється вода та біодизель, останній необхідно негайно видалити, це призведе до утворення мила під час процесу переетерифікації первинного каталізатора. В якості каталізатора використовується фосфорна або сірчана

кислота. Продукт, отриманий з кислотного каталізатора, використовується для виробництва біодизеля за основною процедурою, описаною вище.

Надкритичний метод. У світі ведуться наукові дослідження щодо розробки способу отримання біодизеля без каталізатора. У цьому підході використовується поняття надкритичної рідини, це речовина, яка перевищує критичну температуру і тиск. Критична температура - це найвища температура і тиск, при яких речовина може бути відповідно паром або рідиною. Для переходу в надкритичний стан в реактор нагнітають спирт і рослинну олію під тиском 20-40 бар і температурою 150-45°C. Спроможність вищих карбонових кислот з довгим неполярним вуглецевим ланцюгом при кімнатній температурі в газоподібному CO₂ вважається мінімальною, що дозволяє відрізнити продукт від розчинника.

Синтез біодизеля в надкритичних спиртах без каталізатора є методом, який може замінити каталітичний процес алкоголізу. Спосіб виробництва біодизеля без каталізаторів передбачає простий формальний процес, який забезпечує високі виходи продукту за рахунок одночасної переестерифікації тригліцеридів і естерифікації жирних кислот. Крім того, у цьому процесі, на відміну від процесу, який включає реакції, що каталізуються лугом, присутність води позитивно впливає на утворення метилових ефірів. Порівняно з каталітичними процесами, які відбуваються під атмосферним тиском, надкритичний процес з метанолом не каталізується, в результаті продукти реакції (компоненти біомаси) легше очищаються. Крім того, кажуть, що час реакції в цьому випадку менший [6].

Основним недоліком цього підходу є енергія, необхідна для переходу в надкритичний стан, що значно збільшує витрати на виробництво.

Подальша еволюція методів отримання біодизеля йде в бік складної комбінації факторів, що впливають на складні ефіри гліцерину та інших вищих карбонових кислот.

1.4 Опис мікрореакторів для біодизелю

Мікрореактори — це мініатюрні системи для хімічних реакцій, виготовлені за допомогою мікротехнологій та інших методів точної техніки. Термін «мікрореактор» часто використовується для опису великої різноманітності пристроїв з обмеженим простором. Типовий обсяг внутрішніх каналів у мікроструктурованих реакторах становить від мікронів до міліметрів. Чим менший розмір реакції системи, тим швидше можна прискорити реакцію та зменшити проблему тепло- та масообміну, це проблематично на звичайних атомних електростанціях.

Мікроактори створюються з урахуванням концепції ієрархії, тобто вони складаються з набору компонентів, який включає підкомпоненти. Багато з мікрореакторів, що використовуються для реалізації потоків, мають кілька каналів, які мають вхід і кінцевий пункт призначення. Одиночний канал або набір таких каналів, які складають цілий компонент, називають «піделементом». Іноді субелемент може мати додаткові мікроструктури, наприклад пори. Суб-елементи з'єднані каналами, які складаються з того самого матеріалу і утворюють "елемент". Щоб підвищити ефективність мікрореактора, блоки можна з'єднувати послідовно, наприклад, ідентичні блоки можна з'єднувати паралельно на плоскій поверхні, а корпуси не є частиною мікрореактора, доки вони не будуть з'єднані з верхньою та нижньою пластинами, які полегшують потік. передача. Елемент вважається єдиним, якщо він розміщений у корпусі або між двома панелями.

За призначенням використання мікрореактори можна класифікувати на: аналітичні прилади та обладнання для досліджень.

Аналітичні інструменти зазвичай використовуються для наукових цілей у біохімії, а мікрореактори використовуються в хімічній промисловості. Враховуючи створення аналітичного та технологічного обладнання, деякі мікрореактори можуть бути використані в обох напрямках. За типом процесів у мікрореакторі їх можна класифікувати наступним чином:

1. *Установки для каталітичних та некаталітичних реакцій.* Залежно від наявності або відсутності каталізатора і типу каталізатора конструкція мікрореактора може відрізнятися. У деяких випадках каталізатор закритий стінкою мікроканалу, в інших він складається з порошку або не використовується взагалі.

2. *Установки для однорідних та гетерогенних процесів.* Деякі мікрореактори спеціалізуються на гомогенних і гетерогенних процесах. У першому компоненті добре змішуються, другий забезпечує необхідний інтерфейс.

3. *Установки для певних типів систем, наприклад, газ-рідина, рідина-рідина, газ-газ, фотохімічні реакції тощо.* Щоб максимізувати ступінь інтенсивності процесу, реактор може бути розроблений для певного типу системи.

Крім того, мікрореактори можна класифікувати за типом роботи, яка може бути безперервною або періодичною. Багато з використовуваних мікрореакторів оснащені системою безперервної роботи.

1.5 Порівняння мікрореакторів та традиційних реакторів

Незважаючи на те, що розмір мікрореакторів менший, вони мають численні переваги, які є практичними та експлуатаційними порівняно з традиційними реакторами.

Малий розмір системи. Малий розмір ізольованої системи збільшує відповідний нахил параметра процесу. Це стосується таких параметрів, як тиск, температура та концентрація, які мають вирішальне значення для процесу в реакторі. Через зменшення лінійного розміру системи сила рухомої маси та тепло або потік на одиницю об'єму поверхні зменшуються. Багато сучасних мікрореакторів мають мікроканали розміром близько 50-500 мікрометрів, товщину стінки між каналом для реакції і каналом для теплопередачі можна зменшити приблизно до 20-50 мікрометрів, що

збільшує коефіцієнт теплопередачі. У мікросвійкерах товщина шару рідини зменшена до кількох десятків мікрон, а в деяких випадках до кількох нанометрів. Таким чином, середній час, необхідний для змішування в мікроміксерях, становитиме мілісекунди, а в деяких випадках до наносекунд, чого неможливо досягти в пристрої з мішалкою або іншими звичайними компонентами змішування.

Збільшення співвідношення поверхні та об'єму. Через зменшення лінійного розміру мікроканалів збільшується відношення поверхні до об'єму. Крім згаданої вище переваги в передачі тепла, збільшення площі поверхні пристрою може бути використано для посилення процесів, наприклад, у каталітичних реакціях, які відбуваються в газовій фазі, внутрішня поверхня пристрою покрита активна речовина. Це використовується для збільшення швидкості реакції.

Ця перевага мікрореакторів очевидна в багатофазних процесах, коли товщина принаймні однієї з рідких фаз дорівнює нанометру. Як теоретичні, так і експериментальні дослідження показали, що межа розділу в мікрореакторах становить від 5000 до 3000 м²/м³ [8]. Через зменшення лінійного розміру об'єм мікрореактора зменшується до кількох мікролітрів. Це контрастує зі звичайними промисловими процесами, які засновані на перемішуванні, зменшення розміру реактора супроводжується переходом до безперервного процесу в мікрореакторі. Крім того, менший обсяг призведе до більш безпечної процедури.

Режими потоку в мікроканалах. Іншим корисним аспектом мікрореакторів є гідродинаміка потоку, яка має першочергове значення для мікрофлюїдів. Потік зазвичай лінійний, спрямований і симетичний. Крім того, багатофазні потоки мають хороший ступінь сегрегації фаз. Це викликано розвитком так званого потоку у вигляді балонів у мікроканалах. У цьому випадку всередині крапель рідини присутній вторинний рух через тертя між сегментованою рідиною та стінкою мікроканалу. Тобто існує друга

взаємодія всередині крапель рідини, яка спричинена тертям між сегментованою рідиною та стінкою мікроканалу (рис. 1.3) [10, 11].

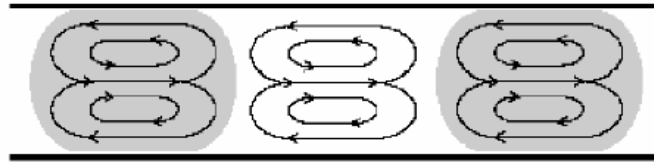


Рисунок 1.3 – Обертіві процеси у мікроканалі

Багаторазове збільшення кількості елементів. Загальною ознакою мікрореакторів є багаторазова ітерація елементарних компонентів. Вони можуть працювати послідовно або паралельно із загальною виробничою трубою. Це сприяє підвищенню продуктивності. Функціональні вузли в мікросистемі, такі як змішувачі, повторюються багаторазово. Об'єднання цих агрегатів здійснюється через канали і ділянки, які мають рівномірний розподіл потоку. Це гарантує збереження тих самих основних властивостей основного блоку при збільшенні загального обсягу системи. Крім того, велика кількість одиниць полегшує зміну обсягу продукту. Конструкція цієї секції дозволяє легко вносити зміни в установку, які відбуватимуться для кількох реакцій, цей тип реактора легко збирається та розбирається. Змінивши установку, її можна буде перетворити на універсальну платформу для синтезу різних продуктів за допомогою мікрореакторів. Ця додаткова гнучкість додатково ілюструється здатністю цих систем функціонувати в різноманітних умовах навколишнього середовища.

Як наслідок, мікрореактори мають значну перевагу над звичайними реакторами з точки зору збільшення виробництва біодизеля, причина полягає в тому, що вони мають кращу концентрацію та теплообмін, вони мають коротший час перебування, вони вимагають менше хімікатів, каталізаторів і сміття, ніж звичайні реактори, вони також більш легкі та компактні за

конструкцією, вони мають нижчу швидкість потоку та більш ефективні у виробництві біодизеля. Крім того, мікрореактори легко розширюються, що зменшує капітальні та експлуатаційні витрати та дозволяє збільшити дохід.

1.6 Висновки до першого розділу

У цьому розділі описано загальну інформацію про біодизель, а також переваги та недоліки використання цього палива порівняно з іншими видами енергії, пояснено методи виробництва біодизеля. Також були розглянуті переваги мікрореактора перед традиційним реактором та іншими типами мікрореакторів.

Проведений аналіз дозволив зробити висновок, що метод переетерифікації з використанням первинного каталізатора NaOH є найефективнішим способом створення біодизелю, сировиною для цього процесу було обрано відпрацьоване масло.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ У МІКРОРЕАКТОРАУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЮ

2.1 Аналіз схем виробництва біодизелю у мікрореакторі

Технічна схема виробництва біодизеля в мікрореакторі зображена на рисунку 2.1. Введені наступні позначення: 1 – ємність з олією; 2, 6 – 8, 11 – насоси прокачування; 3 – фільтр; 4 – теплообмінник трубчастий; 5 – змішувач сировини; 9 – бак мікрореактору; 10 – охолоджувач; 12 – відстійник

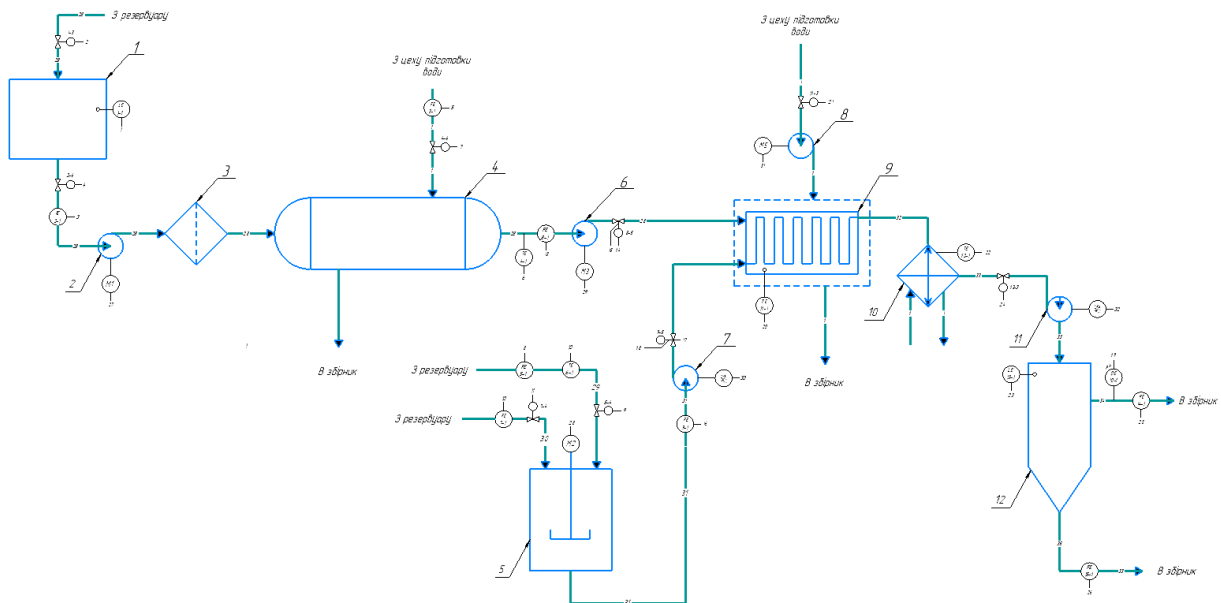


Рисунок 2.1 — Технологічна схема процесу виготовлення біодизелю

Відпрацьоване масло з резервуара для зберігання 1 передається до фільтра 3, який видаляє тверді частинки, а також інші домішки, які масло може мати. Початкова температура масла підвищується до 60 градусів за Цельсієм в теплообміннику 4. Спирт і каталізатор КОН спочатку змішуються в змішувачі, температура суміші 50 °С. Суміш олії та метанолу без каталізатора вводять у мікрореактори 9. У мікрореакторі відбувається реакція переетерифікації, при цьому підтримується температура 65°С. Продукт з мікрореактора 10 знижується до 45 градусів Цельсія, потім поміщається в

відстійник 11 для диференціації суміші. Готовий продукт – біодизель – видобувається з верхньої частини відстійника, а гліцерин – з нижньої частини відстійника.

2.2 Розробка кінетичної мат.моделі синтезування біодизеля

При вирішенні завдань управління об'єктами (стабілізація регульованих параметрів, програмне керування, адаптивне керування, яке передбачає самоналаштування системи на оптимальне значення будь-якого параметра) виникає питання, як і за допомогою яких засобів здійснюється управління об'єктами.

Розглянемо можливі шляхи вирішення цієї проблеми.

У попередніх пунктах цього розділу було зазначено, що за зміну нормативних параметрів об'єкта відповідають різноманітні зовнішні впливи (контрольовані та неконтрольовані). Якщо припустимо, що для будь-якого об'єкта існують лише контрольовані ефекти, а динамічні властивості цього об'єкта вважаються відомими, то виникає ідея компенсації згубних наслідків будь-якого впливу шляхом вимірювання останнього, і на основі результатів вимірювань виникає і гарантія. Вхідні дані від об'єктів, які досягають цілей управління, здійснюють регулюючий вплив.

Метод, який розглядається, є змістом Принципу контролю над гнівом. Очевидно, що технічна реалізація цього принципу потребує наступного обладнання:

- 1) Метод вимірювання стимулюючої дії;
- 2) компоненти посилення, якщо сигнал від вимірювального приладу не має достатньої потужності;
- 3) Пристрій для створення об'єктів коригування.

Всі ці пристрої називаються відповідно чутливими, підсилювальними і виконавчими, утворюючи універсальний регулюючий пристрій або регулятор.

Регулятор коригує регулюючий вплив «х» в результаті вимірювання дії надокучливого «х», повністю нейтралізуючи його, забезпечуючи інваріантність (незалежність) регулюючої величини «у» від впливу «х».

Основними недоліками SAR є:

а) Незмінність регульованих значень забезпечується лише по відношенню до індивідуально виміряних збурень ("f" можлива лише за наявності окремого регулятора для кожного збурення); перешкоди, що робить SAR дуже складним, крім того, зовнішні перешкоди не можна виміряти у всіх випадках;

б) Лише тоді, коли параметри регулятора та регулюваного об'єкта точно відповідають їх розрахунковим даним, можна гарантувати незмінність регулюючого значення.

У системі керування, що розглядається, величина «у» не контролюється.

Через недоліки, згадані вище, сама форма SAR, пов'язана з гнівом, використовується рідко. Застосування цього принципу регулювання в поєднанні з іншим методом контролю, розглянутим нижче, може створити дуже ефективний SAR, який називається комбінованим SAR.

Широко використовується принцип побудови SAR для контрольованих відхилень значень.

У цій системі керування значення «у» вимірюється чутливим елементом «СНЕ» і приймається елементом порівняння «ЕС». На інший вхід елемента порівняння надходить сигнал впливу із зазначенням «z». Різниця $\square = z - u$, яка називається сигналом помилки, надходить на елемент перетворення підсилення «UE», а потім надходить на вхід виконавчого елемента «IE». Керуюча дія «х», отримана на виході виконавчого механізму і застосована до об'єкта керування, викликає зміну керуючого значення «у», тим самим зводячи похибку «х» до нуля.

Значення «у» буде змінюватися у вигляді сигналу «z» за законом, заданим на вході елемента порівняння «ЕК». Задача стабілізації регульованої величини «у» вирішується при $z = z_0 = \text{const}$. Програмно-кероване завдання виконується, якщо вказаний вплив є детермінованою функцією часу.

Елементи чутливості, посилення, трансформації та виконання поєднуються, щоб утворити авторегулятор, а також SAR гніву. Оскільки вхідним сигналом регулятора є маніпульоване значення "у", регулюючий вплив формується шляхом віднімання "у" із сигналу "z" (різниця згодом перетворюється $\square = z - y$), так що окремі елементи регулятор формує так званий зворотний зв'язок. Наявність зворотного зв'язку викликає відключення SAR.

Головною перевагою SAR, що працюють за принципом маніпуляційного відхилення значення, є їх здатність виконувати регулюючі завдання за будь-якої кількості зовнішніх впливів (контрольованих і неконтрольованих). Це можливо, тому що зовнішні перешкоди не вимірюються. Вимірюйте лише вказані значення.

Друга перевага даного типу ЗАР полягає в тому, що немає жорстких вимог до стійкості об'єктів контролю і характеристик регулятора.

Недоліком даних SAR є те, що сам принцип регулювання може мати похибку $\square = z - y$, створюючи регулюючий вплив "х", призначений для усунення цієї похибки. Крім того, такі системи схильні до коливань, які важко розрахувати.

Розглянуті раніше системи регуляції гніву не страждають перерахованими вище недоліками.

Функціональна схема комбінованого SAR наведена на рисунку 7.

Даний SAR є комбінацією двох систем: відкритої системи, яка працює за принципом збурення, та закритої системи, яка працює за принципом відхилення контрольованого значення. Перший SAR забезпечує незмінність

значення "у" відносно 1 (найсильніше збурення "х"). Вплив інших збурень компенсує помилкову роботу SAR.

Особливою складовою динамічного моделювання є спеціалізоване створення концептуальної моделі (гіпотези про механізм процесів), а також формалізація зв'язків між математичним твердженням і його гіпотезами.

Концептуальна модель виводиться з розгляду об'єкта з кількох рівнів поділу. Як правило, явища характеризуються на макро- та мікрорівнях об'єкта. На макрорівні процеси зазвичай розглядаються як частина більшої роботи, яка є «великим поглядженням». Наприклад, рух масових і енергетичних потоків, грошові розрахунки і т. д. На мікрорівні ці процеси досліджуються більш детально.

На кожному рівні дозволу ідентифікуються явища та їх зв'язки. У динамічному моделюванні явище визначається як зміна певної величини. Концептуальна модель описує розвиток кожного явища. Зв'язки між явищами розбиваються на зв'язки між явищами одного рівня опису та зв'язки між явищами різних рівнів опису. Наприклад, для гіпотези з двома рівнями декомпозиції можливі три різні типи зв'язків:

- взаємозв'язки між явищами на мікрорівні;
- взаємозв'язки між явищами на мікро-та макрорівні;
- взаємозв'язки між явищами на макрорівні.

Для спрощення опису об'єкта з точки зору його формальних ознак зроблено кілька застережень. Припущення пов'язані з особливостями перебігу фізичних, економічних, хімічних та інших процесів у фокусі моделювання. Припущення є невід'ємною частиною концептуальної моделі та погоджуються замовником, оскільки вони безпосередньо впливають на достовірність моделі.

Формалізація зв'язків базується на фізичних принципах, які керують прогресуванням описаних явищ. Кожне явище зазвичай асоціюється зі звичайним диференціальним рівнянням першого порядку. Ліва частина

рівняння описує наслідки цього явища. Якщо явище є випадковим, права частина рівняння включає пов'язані властивості випадкових процесів. Значення, пов'язані з правими частинами рівнянь і залежні від змінних у лівій частині (які відрізняються за часом), обчислюються окремо. Початкові умови або межі визначаються відповідно до порядку та величини моделі.

Як правило, біодизель є сумішшю складних ефірів жирних кислот з низьким і високим вмістом жирних кислот, отриманих з біологічних ресурсів шляхом переестерифікації. Ці ефіри мають високий вміст триацилгліцеридів. У більшому масштабі біодизель отримують в результаті реакції каталітичного метанолізу або етанолізу рослинних олій з використанням NaOH або KOH як каталізатора. Щоб максимізувати вихід біодизеля в промислових умовах, сировина повинна містити максимум 0,5 відсотка вільних жирних кислот і води, якщо вони присутні, це призведе до утворення мила та дезактивації каталізатора.

Відповідно до механізму отримання біодизеля, запропонованого Фрідманом, реакція переестерифікації виглядає наступним чином:



та складається з трьох оборотних послідовних реакцій [14]:



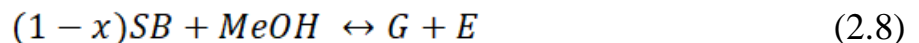
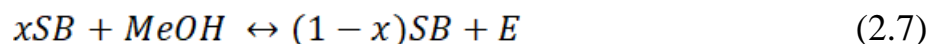
де $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ – константа швидкості реакції.

По-перше, триацилгліцериди (TG) поєднуються зі спиртом (ROH) для отримання діацилгліцериду (DG) і етерифікованої жирної кислоти (E). Далі, на наступних етапах, DG перетворюється на моноізомерний гліцерид (MG), який зрештою виробляє G та E, обидва з яких вважаються ефірами жирних кислот.

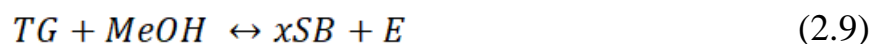
Масообмін оцінюється за допомогою моделі плівки, яка враховує особливості реакційної системи. Оскільки надзвичайно важко розрізнити моно- та дигліцериди, побічний продукт (SB) використовується як загальна кількість DG та MG. Відсоток DG до MG виражався як число, помножене на коефіцієнт відповідно до рівняння: [14]:

$$x = \frac{DG}{DG + MG} \quad (2.5)$$

Прийнявши до уваги відношення DG до MG реакція метанолізу буде мати вигляд:



Рівняння (2.6) - (2.8) можна спростити до наступного вигляду:



Для точного моделювання процесу виробництва біодизеля були висунуті такі гіпотези:

- реакція температурно стабільна при температурі 65°C;

- усі відповіді мають перший порядок величини всіх компонентів запропонованих рівнянь;
- відповідь двофазна;
- відповідь послідовна;
- тиск у реакторі рівномірно розподілений, що означає, що рідини є ньютонівськими рідинами, що не стискаються. В результаті загальний об'єм потоку є постійним по всьому реактору;
- реакція відбувається в полярній фазі. Є зрушення фази для Т, SB і Е;
- хімічна рівновага досягається в кінці реакції.

Закон дії дозволяє записати формулу швидкості реакції:

$$r_1 = k_1 \cdot [TG]^p [MeOH] [MeO^-] \quad (2.11)$$

$$r_2 = k_2 \cdot x \cdot [SB]^p [E]^p [MeO^-] = k_2^* \cdot [SB]^p [E]^p [MeO^-] \quad (2.12)$$

$$r_3 = k_3 \cdot x \cdot [SB]^p [MeOH]^p [MeO^-] = k_3^* \cdot [SB]^p [MeOH]^p [MeO^-] \quad (2.13)$$

$$r_4 = k_4 \cdot [GT] [E]^p [MeO^-] \quad (2.14)$$

Рівняння масопередачі базується на моделі плівки, тому напишемо рівняння для триацилгліцеридів (TG), побічного продукту (SB) ефіру жирної кислоти (E):

$$J_T^p = \beta_T ([T]^a - [T]^p) \quad (2.15)$$

$$J_{SB}^p = \beta_{SB} ([SB]^a - [SB]^p) \quad (2.16)$$

$$J_E^p = \beta_E ([E]^a - [E]^p) \quad (2.17)$$

де β_i - коефіцієнт масопереносу речовини i , p - речовини, що знаходяться тільки в полярній фазі, a - речовини, що знаходяться лише у неполярній фазі.

Усім реакціям сприяє полярна фаза етанолу. Інші компоненти, MeOH, MeO і G, присутні лише в полярній фазі. Вказані швидкості реакції третього порядку. Реагенти, у яких відсутні індекси p і a , присутні лише в одній фазі [14,15].

2.3 Розробка мат. моделі мікрореактора для синтезування біодезилу

Аналіз кінетичних моделей виробництва біодизеля привів до висновку, що для опису кінетики процесу можна використовувати систему диференціальних рівнянь із часом як змінною. Ця система описана таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d[TG]^p}{dt} = J_{TG}^p - r_1 + r_2 \\ \frac{d[TG]^a}{dt} = -J_{TG}^p \\ \frac{d[SB]^p}{dt} = J_{SB}^p + r_1 - r_2 - r_3 + r_4 \\ \frac{d[SB]^a}{dt} = -J_{SB}^p \\ \frac{d[G]}{dt} = r_3 - r_4 \\ \frac{d[MeOH]}{dt} = -r_1 + r_2 - 2r_3 + r_4 \\ \frac{d[E]^p}{dt} = J_E^p + r_1 - r_2 + 2r_3 - r_4 \\ \frac{d[E]^a}{dt} = -J_E^p \\ [MeO^-] = \frac{[MeO^-]_0 [MeOH]_0}{[MeOH]} \end{array} \right. \quad (2.18)$$

Початкові умови для $t_0 = 0$ с були встановлені як $[TG]_0^a = 1,057$ моль/л, $[MeOH]_0 = 16,72$ моль/л, $[MeO]_0 = 0,442$ моль/л інші концентрації рівні 0 моль/л [14,15].

Для вирішення системи диференціальних рівнянь (2.18) будемо використовувати обчислювальні ресурси програмного забезпечення MathCad 15 і метод Рунге-Кутта.

Результати моделювання процесу створення біодизеля в мікрореакторі представлені на рисунку 2.2.

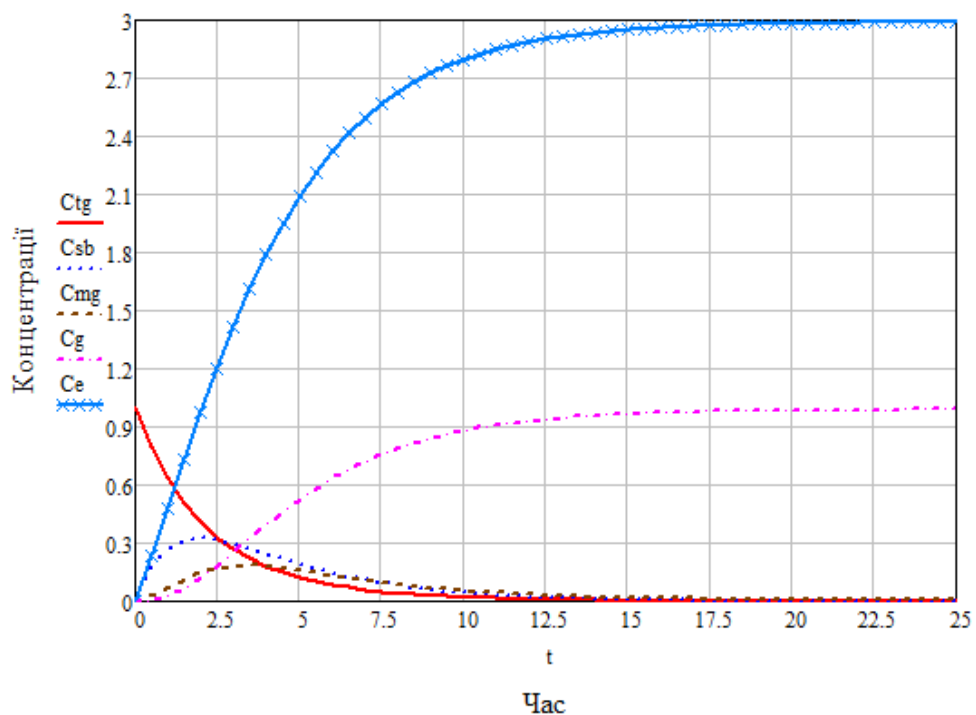


Рисунок 2.2 – Графік зміни молярної концентрацій Ctg, Cg та Ce

На графіку бачимо, що молярна концентрація триацилгліцериду, гліцерину та метилового ефіру майже не змінюється при $t=20$ с. Рішення цієї проблеми в програмному забезпеченні MathCad задокументовано в Додатку В.

2.4 Висновки до другого розділу

У цій частині було розглянуто швидкість процесу створення біодизеля в мікрореакторі, отриманому з відпрацьованого масла, на основі цієї інформації створено математичну модель.

Розроблено математичну модель мікрореактора для синтезування біодезилію. Отриманий вираз дозволив провести моделювання процесів створення біодизеля в мікрореакторі, що дозволяє використовувати отриману модель для прогнозування і автоматизації виробничої установки.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МІКРОРЕАКТОРУ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЮ

Метою цього розділу є створення програмного компонента, який розраховує математичну модель у мікрореакторі синтезу біодизеля мовою C#.

3.1 Основні завдання на розробку технічного модулю

Відповідно до математичної моделі створення біодизеля в мікрореакторі, розробленої в розділі 3, необхідно розробити програмне забезпечення для його автоматичного розрахунку.

Програмний додаток повинен мати такі сторінки: головну сторінку, сторінку з результатами розрахунку, інструкцію користувача, сторінку з назвою програми та інформацією про її творця.

На головній сторінці необхідно показати математичну модель і поля для введення вихідних даних для її розрахунку. Необхідно заповнити всі поля, які містять дані. Крім того, ця сторінка повинна мати кнопки, які автоматично стирають усі введені дані, калькулятор і кнопку, яка замінює тестові дані розрахованою моделлю.

На сторінці результатів калькулятора, для більш ефективного аналізу результатів калькулятора, дані повинні бути представлені у вигляді графіків і таблиць. графіки повинні мати мітки для своїх осей і бути зрозумілими, усі таблиці повинні мати мітки для своїх стовпців. Результати даних необхідно конвертувати до найближчої тисячі.

Для створення автоматичного розрахунку надається така вхідна інформація:

Математична основа обговорюється в розділі 3.

Початкові концентрації речовин: $=1,057$ моль/л, $[MeOH]_0=16,72$ моль/л, $[MeO]_0=0,442$ моль/л, інші концентрації дорівнюють 0 моль/л;

Тестові дані, які мають відношення до розрахунку.

Щоб розрахувати математичну модель на основі вхідних даних, необхідно розрахувати та показати значення збільшення концентрації з часом. Розрахунки повинні бути представлені у вигляді таблиці та графіків. Також важливо враховувати можливість збереження обчисленої інформації.

3.2 Програмна реалізація для обрахунку математичної моделі мікрореактору синтезування біодизелю

Математична модель мікрореактору синтезування біодизелю, розроблена в третьому розділі книги, разом із програмним забезпеченням, яке її обчислює, була використана для розробки програми. Програмний модуль реалізовано мовою програмування C# в середовищі Visual Studio 2019.

Компонентами програми є:

1. Файли форм - Form1.Designer.cs, Instruction.Designer.cs, About_Program.Designer.cs;

2. Файл проекту - Form1.cs.

Код програмного забезпечення наведено в Додатку В.

Опис та призначення основних компонентів програмного модуля наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні елементи програмного модуля

Елементи	Назва елемента	Призначення елемента
Форма	Form1	Головна форма що містить поля для введення даних, та виведення результатів
Форма	Instruction.cs	Форма із командами для користувачів

Кінець таблиці 3.1 – Основні елементи програмного модуля

Форма	About.cs	Форма із інформацією про програмний продукт
Текстове поле	Ca, Cb, Cc, Cd, Ce, Cf, Cg, poch, kinc, n, k1, k2, k3, k4, kS, k6	Введення початкових даних
Кнопка	Button1, Button2, Button3, Button4, Button5, Button6, Button7, Button8, Button9, Button10 button_rozr2; button1; rozr_button	Виконання функціональних дій програми
Таблиця	dataGridView1	Представлення результатів роботи програми у табличному виді
Графік	Chart1	Представлення результатів роботи програми у графічному виді
Menu Strip	менюToolStripMenuItem, довідкаToolStripMenuItem	Інструментальна панель «Меню»
Мітки	Label1 – Label21	Пояснення текстом
NumericUpDown	numericUpDown1, numericUpDown2	Початкові значення констант концентрації
domainUpDown	domainUpDown 1 – domainUpDown 4	Обрання концентрацій для виведення на графіку

3.3 Опис інструкції користування програмним продуктом

Щоб розпочати процес розрахунку біологічної моделі мікрореактора, необхідно клацнути на файлі Kramarenko_biodisel_model.exe. Інтерфейс програми візуально інтуїтивно зрозумілий і включає вікно, кнопки керування, вкладки, рядок меню та інші компоненти. Основне вікно програми показано на рисунку 4.1. Спочатку в програмі вже є дані, які вводяться.

Інтерфейс програми візуально складається з двох вкладок: «Переестерифікація рослинної олії», «Рішення математичної моделі» та панелі інструментів.

Вкладка «Трансестерифікація рослинної олії» містить п'ять розділів: відображення реакції синтезу біодизеля, введення початкових концентрацій компонентів, введення коефіцієнтів швидкості реакції, введення часу реакції, представлення результатів і заключний розділ. Перспектива закладки «Трансестерифікація рослинної олії» проілюстрована на рисунку 3.1.

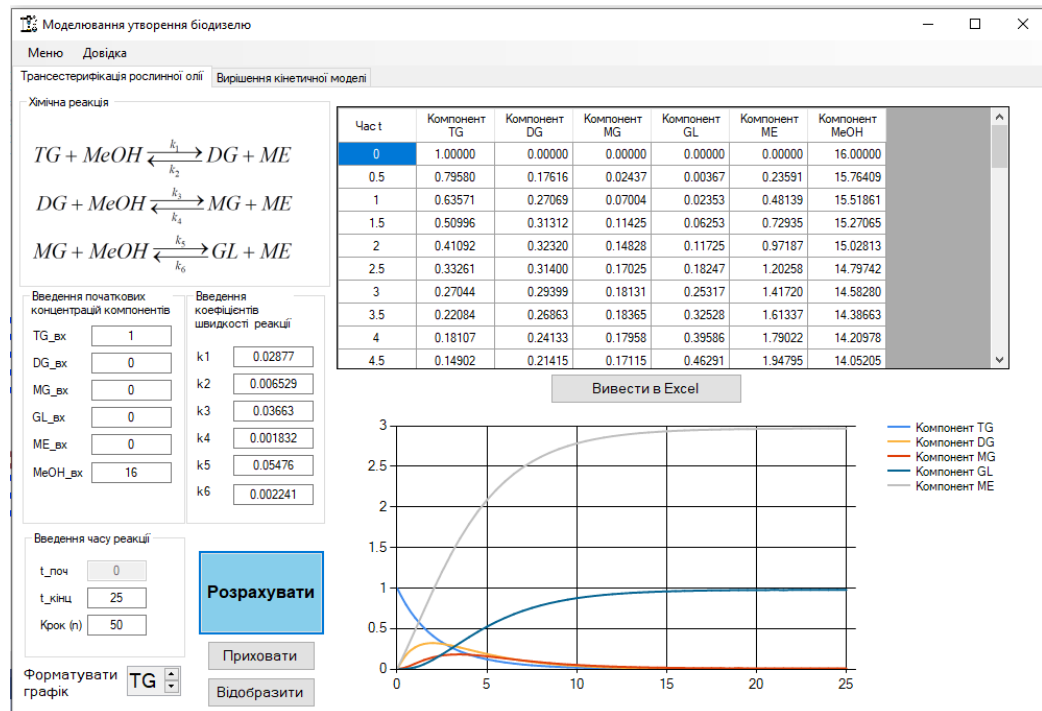


Рисунок 3.1 – Головне вікно програмного продукту

Для розрахунку моделі в поля вкладки «Трансетерифікація рослинної олії» необхідно ввести дані: початкові концентрації компонентів, коефіцієнти швидкості реакції, початковий і кінцевий час реакції, крок розв'язання математичної моделі та кнопка, яка обчислює результати. Якщо користувач просто натиснув кнопку «Обчислити» без попереднього введення всієї необхідної інформації, програма використає вікно «Помилка» на рисунку 3.2, щоб повідомити про це.

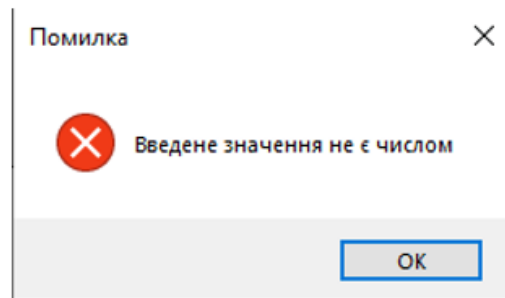


Рисунок 3.2 – Вікно «Помилка» помилки

Результати розрахунку представлені у вигляді таблиці, яка містить розрахункові значення для моделі реактора та графік, який ілюструє збільшення концентрації з часом. Перспектива результатів розрахунку програмою представлена на рисунку 3.3.

Для більш детального аналізу результатів, отриманих в результаті розрахунків математичної моделі, в додатку передбачено засіб збереження розрахункових даних і графіків у файлі Excel. Щоб зберегти дані, необхідно натиснути кнопку «Експортувати в Excel». Перспектива збереження даних у документі Excel проілюстрована на рисунку 3.4.

Час t	Компонент TG	Компонент DG	Компонент MG	Компонент GL	Компонент ME	Компонент MeOH
0	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	16.00000
0.5	0.79580	0.17616	0.02437	0.00367	0.23591	15.76409
1	0.63571	0.27069	0.07004	0.02353	0.48139	15.51861
1.5	0.50996	0.31312	0.11425	0.06253	0.72935	15.27065
2	0.41092	0.32320	0.14828	0.11725	0.97187	15.02813
2.5	0.33261	0.31400	0.17025	0.18247	1.20258	14.79742
3	0.27044	0.29399	0.18131	0.25317	1.41720	14.58280
3.5	0.22084	0.26863	0.18365	0.32528	1.61337	14.38663
4	0.18107	0.24133	0.17958	0.39586	1.79022	14.20978
4.5	0.14902	0.21415	0.17115	0.46291	1.94795	14.05205

Вивести в Excel

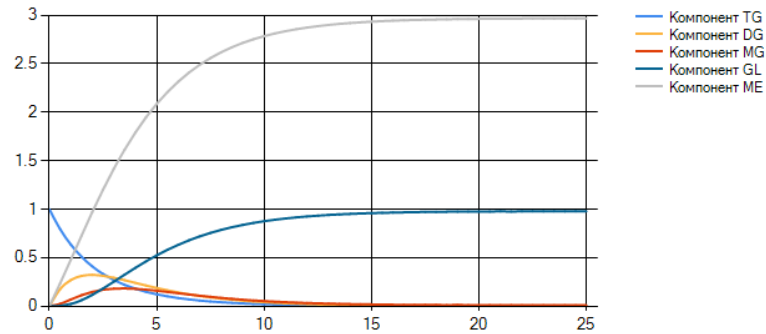


Рисунок 3.3 – Результати обрахунку математичної моделі

Час t	Компонент TG	Компонент DG	Компонент MG	Компонент GL	Компонент ME	Компонент MeOH
0	1	0	0	0	0	16
0.5	0.795797	0.176164	0.024369	0.003667	0.235906	15.76409
1	0.635707	0.270691	0.070042	0.023526	0.481387	15.51861
1.5	0.509962	0.313119	0.114252	0.062528	0.729345	15.27065
2	0.410917	0.323205	0.148278	0.117255	0.971871	15.02813
2.5	0.332613	0.313997	0.170249	0.182474	1.202583	14.79742
3	0.27044	0.293993	0.181308	0.253168	1.417203	14.5828
3.5	0.220838	0.268634	0.183646	0.325282	1.613371	14.38663
4	0.181069	0.241329	0.179577	0.395857	1.790223	14.20978
4.5	0.149023	0.21415	0.171146	0.462912	1.947946	14.05205
5	0.123073	0.188299	0.160004	0.525242	2.087415	13.91258
5.5	0.10196	0.164414	0.14741	0.582228	2.209905	13.79009
6	0.084707	0.142478	0.13428	0.633661	2.316894	13.68311
6.5	0.07055	0.123461	0.121252	0.679612	2.409926	13.59007
7	0.058889	0.106388	0.10875	0.720331	2.490523	13.50948
7.5	0.049252	0.091421	0.097036	0.756174	2.560132	13.43987
8	0.041262	0.078379	0.086256	0.787551	2.620096	13.3799
8.5	0.03462	0.06707	0.076471	0.814893	2.671636	13.32836

Рисунок 3.4 – Excel файл із вихідними даними обрахунку

Панель інструментів має два розділи: Меню та Довідка. У вкладці «Меню» користувачеві доступні два варіанти: Розрахувати або Вийти. Перспектива вкладки «Меню» показана на рисунку 3.5.

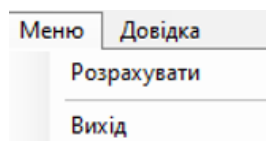


Рисунок 3.5 – Інструментальна панель «Меню»

У вкладці «Довідка» користувач може дізнатися інформацію про математичну модель, отримати інструкції щодо використання програмного забезпечення, а також дізнатися більше про розробника та програму. Перспектива вкладки «Довідка» показана на рисунку 3.6.

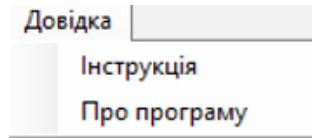


Рисунок 3.6 – Інструментальна панель «Довідка»

Щоб отримати доступ до посібника користувача, натисніть «Довідка» на панелі інструментів і виберіть «Посібник користувача» в меню. Посібник користувача наведено на рисунку 3.7.

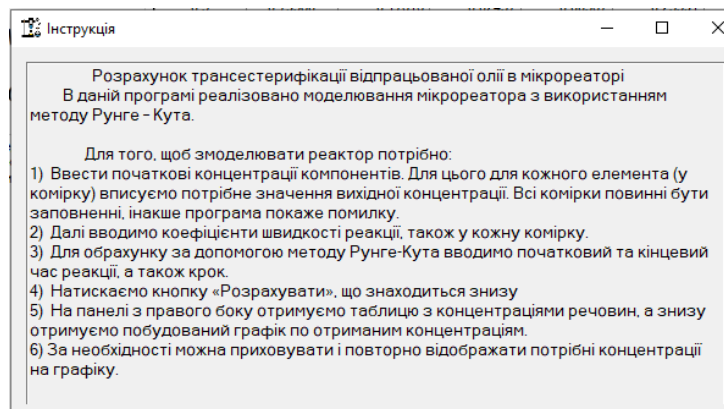


Рисунок 3.7 – Інструкція користування

Щоб відкрити інформацію про програму та розробника, необхідно на панелі інструментів натиснути кнопку «Довідка» та в меню вибрати пункт «Про програму».

3.4 Висновки до третього розділу

У цьому розділі створено програмний додаток, який розраховує математичну модель мікрореактора в ізотермічному режимі на мові програмування C# в середовищі розробки Visual Studio 2019. Розроблений програмний модуль може розраховувати модель за власними даними або тестовими даними, результати розрахунків представлені у вигляді таблиць або графіків. Для більш ефективного аналізу та зберігання даних результати розрахунків записуються у файл Excel.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУВАННЯ БІОДИЗЕЛЯ

4.1 Огляд параметрів технологічної схеми синтезування біодизелю

Автоматизація відіграє важливу роль у виробництві будь-якого продукту, тому що вона допомагає зберегти сировину, кошти та електроенергію, що використовується на робочому місці, якість продукту підвищується, а безпека знижується, все це пояснюється зниженням впливу людини. Метою цього розділу є створення схеми автоматизації, визначення основних параметрів процесу та вибір пристроїв, які будуть працювати безперебійно, підтримувати параметри процесу та виробляти якісний продукт. Основним пристроєм у створенні біодизеля є мікрореактор, який перетворює нафту в біодизельне паливо, у якому бере участь реакція переетерифікації. Схема системи контролю та регулювання вхідних речовин на вході в мікрореактор залежить від рН біодизеля. Для отримання якісного готового продукту та забезпечення його максимального виходу потрібно розробити такі контури:

- контур контролю та регулювання вхідних речовин на вході в мікрореактор в залежності від рН біодизеля;
- контур контролю температури в теплообміннику реакторі;
- контур контролю та регулювання температури в мікрореакторі реакторі.

4.2 Параметри автоматизації процесу

Після вивчення основних параметрів процесу та технічної схеми створення біодизеля в мікрореакторі були визначені параметри, що стосуються регулювання, контролю та сигналізації, які наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри контролю та керування процесом

№ з/п	Стадії тех.процесу, місце ів параметра	Параметри, які контролюється або регулюється	Норми Режиму технологічного та припустимі відхилення	Вимоги до рівню автоматизованого керування (контролювання, регулювання, сигналізування)
1	2	3	4	5
1	Напірний бак із олією	Рівень	-	Контролювання та регулювання
2	Трубопровід що подає використану олію у фільтр	Витрата	-	Контролювання та регулювання
3	Трубопровід що подає воду в теплообмінник	Витрата	-	Контролювання
4	Трубопровід що подає використану олію у змішувач	Температура	65°C	Контролювання та регулювання
5	Трубопровід що подає гідроксид калія	Витрата	-	Контролювання та регулювання
6	Трубопровід що подає метанол	Витрата	-	Контролювання та регулювання
7	Трубопровід що подає метанол	Температура	65°C	Контролювання
8	Трубопровід що подає олію в реактор	Витрата	-	Контролювання та регулювання

Кінець таблиці 4.1 – Параметри контролю та керування процесом

9	Трубопровід що подає розчин метанолу із каталізатором в змішувач реактора	Витрата	-	Контролювання та регулювання
10	Температурний режим в реакторі	Температура	65°C	Контролювання, регулювання та сигналізування
11	Температурний режим в охолоджувачі	Температура	40°C	Контролювання
12	Відстійник	Рівень	8 л	Контролювання та регулювання
13	Трубопровід що подає біодизель	pH	7	Контролювання
14	Трубопровід що подає біодизел	Витрата	-	Контролювання
15	Трубопровід що подає гліцерин	Витрата	-	Контролювання

З інформації в таблиці 4.1 було створено план автоматизованого виробництва біодизеля в мікрореакторі. Крім перерахованих параметрів, також було включено дистанційне керування двигунами та насосами, а також запис і збереження всіх даних через інтерфейс RS-485.

Для розробленої схеми автоматизації обрані технічні методи автоматизації: первинні та вторинні пристрої, контролери, перетворювачі та виконавчі механізми. Пропонований спосіб автоматизації виробництва біодизеля в мікрореакторі проілюстровано на рисунку 4.1.

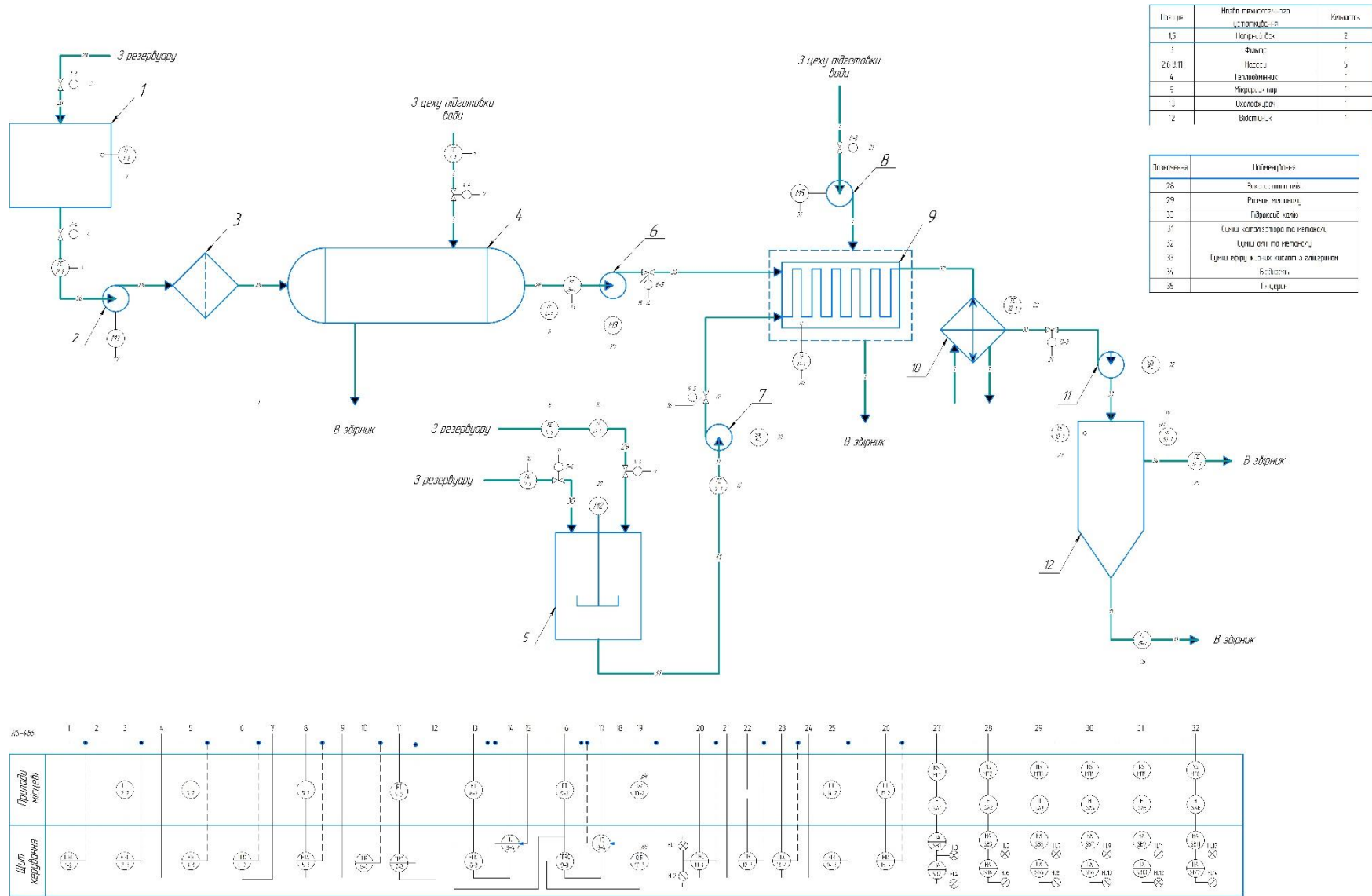


Рисунок 4.1 - Схема автоматизованого виробництва біодизелью за допомогою мікрореактору

4.3 Схеми автоматизації

Для ефективної роботи мікропроцесорних контролерів схема автоматизації сприяє їх підключенню через інтерфейс передачі даних RS-485 до комп'ютерного керування відповідно до стандарту EIA.

Регулювання та Контролювання споживання. Управління потоком здійснюється контурами 3, 14, 15, регулювання 2, 5, 7, 8, 9. Для вимірювання потоку речовин по трубопроводах використовуються підгузники шириною 80 мм, які мають умовний прохід. зайняті (поз. 2-1, 3-1, 8 -1), 50 мм (поз. 5-1, 7-1, 9-1), і 100 мм (кінець).14-1). Сигнал з діафрагми надходить на вторинний трансформатор з сигналом 4-20 мА і передачею на відстань (поз. 2-2, 3-3, 5-2, 7-2, 8-2, 9-2, 14- 2). З перетворювача сигнал передається на показний пристрій TRM200 (поз. 3-3, 14-3, 15-3) в сцені. 2-3, 5-3, 8-3, 9-3). Контролер виконує наглядову роль по відношенню до виконавчого механізму (поз. 2, 4, 5, 8, 9 і 10).

Регулювання та Контролювання температури. Температура має вирішальне значення для виробництва біодизелю, оскільки вона впливає на швидкість процесу та якість готового продукту. Регулювання температури здійснюється в контурі 4, 11, а керування – в контурі 6, 12. Вимірювання температури здійснюється через термоперетворювач опору (поз. 4-1, 11-1) TCM-364-01 і TCM-1088 (кін. 6-1, 12-1). Сигнал від термоперетворювального пристрою ретранслюється на пульт оператора TRM200 (поз. 6,-2 12-2) і контролер TRM500 (поз. 4-2, 11-2). Бос має вплив на виконавчі механізми (поз. 4-3, 11-3). Для ланцюга 11 включені світлові сигналізації HL1 і HL2 першого і другого рівнів відповідно.

Регулювання та контроль вартості співвідношення інгредієнтів в залежності від рН готового продукту – біодизеля. На якість біодизеля впливає співвідношення спожитої олії та метанолу, тому, щоб реакція відбувалася в наміченому напрямку, це дуже важливо, оскільки в іншому випадку потрібно було б підтримувати співвідношення.

Кількість відпрацьованого масла визначається витратоміром (поз. 8-1), сигнал вторинного перетворювача (поз. 8-2) подається на регулятор витрати (поз. 8-3), який розташований на панелі керування. Сигнал з органу управління передається на ручний контролер клапана (поз. 8-4). Положення клапана змінюється за допомогою сигналу, який надходить на блок ручного управління (пункт 8-5). Цей сигнал відображає відсоток відкриття трубопроводу, сигнал від відсотка відкриття трубопроводу надсилається на адресу 15.

Спосіб технологічних процесів передбачає використання метанолу при виробництві олії, це залежить від кількості споживаної олії та використовуваної технології. Відповідно до завдання використовуваний контролер потоку масла (пункт 9-3) забезпечує заданий цільовий потік на вході змішувача, сигнал із заданою витратою біодизеля також вводиться в регулятор співвідношення (пункт 9-3). Особа, яка регулює витрату метанолу (п. 9-3), змінює кількість спожитого метанолу в залежності від кількості утилізованого масла, потім сигнал від регулятора надходить на ручне управління клапаном (п. 9-4). Положення виконавчого механізму і клапану контролюється з 18-го адресу схеми по сигналу, який подається на блок ручного управління для показу відсотка з відкриття трубопроводу з метанолом (поз. 9-5). Якість біодизеля визначається його рН, який регулюється лічильником (поз. 10-1) і пультом керування приладу (поз. 10-3). Показник про значення рН надходить на вхід контролера (пункт 10-3), який автоматично пропорціонує кількість спожитої олії та метанолу.

Контролювання та регулювання рівня. Вимірювання та контроль тиску в резервуарах із сировиною та відстійнику здійснюється контурами 2, 6, 10 і такими процесами: рівень речовин вимірюється радарним вимірювачем, який встановлюється на місці (поз. 11-11, 12-11). Сигнал від рівня пістолета передається на вторинний пристрій, який індикує, контролює та фіксує

положення (поз. 1-2, 12-2). Об'єм обмежений органом управління на виконавчому механізмі (поз. 1-3, 12-3), розміщених в трубопроводах.

Контролювання електростанцій. Контури 26-31 призначені для регулювання руху електродвигунів 1-6 на конвеєрних системах. ШБ-1, 3, 5, 7, 9, 11 подають сигнал на кнопковий перемикач «СТОП», а ШБ - 2, 4, 6, 8, 10, 12 подають сигнал на кнопку управління «ПУСК». За допомогою магнітних пускачів МП 1-6 здійснюється вимикання і включення живлення електродвигунів М1-6. При натисканні кнопок SB-1, 3, 5, 7, 9, 11 загоряються червоні сигнальні лампочки НЛ - 3, 5, 7, 9, 11, 13, які вказують на джерело живлення електродвигунів М1- 6, додатково при натисканні кнопок SB - 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 відбувається подача живлення на електродвигуни. М1-6 припинено.

4.4 Постановка задачі створення нечіткої системи керування

Одним із основних факторів у створенні біодизеля є належна температура в мікрореакторі, оскільки на цьому базується різновид біодизеля. Функції належності. Введене визначення нечіткої множини не накладає обмежень на вибір функцій належності. На практиці, однак, рекомендується використовувати аналітичне представлення функції приналежності $\mu_A(x)$ нечіткої множини A , де елемент x нечітко володіє визначальною властивістю множини R . Типізація функцій приналежності в контексті технічних задач При застосуванні цих методів розв'язувані задачі значно спрощують відповідний аналіз і чисельні розрахунки. Розрізняйте такі типові функції властивостей.

Трикутна (трапецієподібна) функція корисності для призначення невизначеності типу: «приблизно один», «середнє», «в інтервалі», «схожий об'єкт», «подібний об'єкт»

Квадратичний і гармонічний Z-сплайн S-подібні функції корисності для виділення наступних типів невизначеності: «Значна», «Велика», «Значна», «Висока»

S-сигмоїдна функція та S-лінійна функція. U-подібні допоміжні функції, типи завдань на невизначеність: використовуйте «приблизно не більше і більшість», «приблизно так само», «близько до».

Дзвоноподібна функція та функція Гауса. Існує багато інших функцій приналежності для нечітких множин, або як комбінації вищезазначених базових функцій (подвійна гауссова, подвійна сигмоїдна) або як комбінації вздовж зростаючих і спадаючих областей (сигмоїдна-гаусова, сплайн-тригонометрична).

Існують прямі та непрямі методи побудови функцій належності:

Для вимірюваних характеристик, символів і властивостей, таких як швидкість, час, температура, тиск і т.д., рекомендується використовувати прямі методи (найбільш відомими є відносно частотні методи, параметричні методи, інтервальні методи). При використанні прямих методів абсолютно точна поточкова задача $\mu_A(x)$ зазвичай не потрібна. Часто достатньо записати тип функції властивості та характерні точки дискретного представлення функції властивості, яка апроксимується безперервним моделюванням (найбільш відповідна типова функція властивості).

Непрямі методи (найвідоміший метод попарного порівняння) використовуються, коли об'єкти предметної області не мають вимірюваних властивостей. Прямі методи часто використовують при побудові нечітких систем автоматичного керування з урахуванням специфіки задачі, що розглядається.

Прямі та непрямі методи, у свою чергу, за кількістю експертів, які беруть участь у розслідуванні, поділяються на одиничні та групові. Найгрубішу оцінку характерних точок функції приналежності можна

отримати, опитавши експерта, який просто встановлює відповідне значення $\mu_A(x)$ для кожного значення $x \in X$.

Механізм (алгоритм) нечітких логічних міркувань — це процес отримання нечітких висновків на основі нечітких умов або передумов.

Для систем керування нечіткими об'єктами нечіткі міркування — це процес отримання нечітких висновків про необхідне керування об'єктами на основі нечітких умов або передумов, які становлять інформацію про поточний стан об'єкта.

Логічні висновки робляться крок за кроком.

1) Фазифікація (введення нечіткості) - це встановлення відповідного співвідношення між числовими значеннями вхідних змінних системи нечіткого виведення і значеннями функції належності відповідних елементів лінгвістичних змінних. На етапі фазифікації значення всіх вхідних змінних системи нечіткого виведення, отримані зовнішніми по відношенню до системи нечіткого виведення методами (наприклад, за допомогою статистичних даних), зіставляються з конкретними значеннями відповідної лінгвістичної системи. Терміни, що використовуються в умовах (передумовах) ядра нечіткої генерації, яка є основою правил нечіткої генерації системи нечіткого виведення. Фазифікація вважається повною, якщо знайдено істинність (а) усіх основних логічних тверджень типу "E", що містяться в передумовах правила нечіткого виробництва, де - деякий термін з відомою функцією належності $\mu(x)$), - однозначний числове значення, що належить уні.

2) Агрегація — це процес визначення того, наскільки істинною є умова на основі кожного правила системи нечіткого висновку. Якщо умова нечіткого продукційного правила є простим нечітким висловлюванням, то рівень його істинності відповідає значенню функції належності відповідного терму лінгвістичної змінної. Якщо умова являє собою складене твердження, ступінь істинності складного твердження визначається з урахуванням

відомих значень істинності його базових компонентів твердження за допомогою операцій нечіткої логіки, введених раніше на одній із заданих основ.

3) Активація в системі нечіткого виведення – це процес формування функції приналежності консеквенту $m(y)$ кожного продукційного правила за допомогою одного з методів нечіткого поєднання:

- min-активація - $\mu(y) = \min\{c; \mu(x)\}$;
- prod-активація - $\mu(y) = c \mu(x)$;
- average-активація - $\mu(y) = 0,5 (c + \mu(x))$;

4) Накопичення (або накопичення) у системах нечіткого виведення – це процес знаходження функцій приналежності змінних вихідної мови. Результат накопичення оригінальних лінгвістичних змінних визначається як об'єднання нечітких множин усіх підмножин бази нечітких правил щодо відповідних лінгвістичних змінних.

Єдність функцій властивості всіх підвисновків зазвичай класична (максимальна єдність).

5) Дефазифікація в системах нечіткого висновку – це процес переходу від функцій приналежності вихідних лінгвістичних змінних до їх чітких (числових) значень. Метою дефазифікації є використання накопичених результатів усіх початкових змінних мови для отримання кількісних значень початкових змінних для зовнішніх систем нечіткої деривації для управління об'єктами.

Перетворення накопиченої функції належності $\mu(y)$ вихідної лінгвістичної змінної до числового значення у вихідної змінної виконується одним із таких методів:

- метод центроїда полягає в обчисленні центроїда площі:

$$\tilde{y} = \frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y \mu(y) dy}{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \mu(y) dy}, \quad \text{де } [y_{\min}; y_{\max}]$$

де $[y_{\min}; y_{\max}]$ - носій нечіткої множини вихідний лінгвістичної змінної;

– метод центру площі полягає в розрахунку абсциси y , що ділить площу, обмежену кривою функції приналежності $\mu(x)$, так званої бісектриси площі

$$\int_{y_{\min}}^{\tilde{y}} \mu(y) dy = \int_{\tilde{y}}^{y_{\max}} \mu(y) dy;$$

– метод лівого модального значення $\tilde{y} = y_{\min}$;

– метод правого модального значення $\tilde{y} = y_{\max}$.

Фаза розгляду нечітких міркувань може бути реалізована нечітким способом: агрегування може виконуватися не тільки на основі нечіткої логіки. Крім того, активація може бути виконана за допомогою різноманітних методів нечіткого синтезу. На фазі накопичення уніфікація може виконуватися іншим способом, ніж максимальна уніфікація, і для дефазифікації можна використовувати кілька методів. Тому вибір конкретних методів реалізації різних етапів нечіткого логічного висновку визначає той чи інший алгоритм нечіткого логічного висновку. На даний час залишається відкритим питання критеріїв і методів вибору алгоритмів нечіткого логічного висновку на основі конкретних завдань. В даний час в системах нечіткого логічного висновку найчастіше використовуються алгоритми Мамдані, Цукамото, Ларсена і Сугено.

1. Дерева рішень і типи розв'язування задач

Швидкий розвиток інформаційних технологій, зокрема прогрес у методах збору, зберігання та обробки даних, дозволяє багатьом організаціям збирати великі обсяги даних, які потребують аналізу. Обсяг цих даних настільки великий, що можливостей експертів недостатньо, що створює потребу в автоматизованих методах дослідження (аналізу) даних, і цей попит продовжує зростати з кожним роком.

Дерева рішень є одним із таких автоматизованих методів аналізу даних. Оригінальна ідея створення дерев рішень походить від роботи Хоувленда та Ханта наприкінці 1950-х років. Однак основною роботою, яка сприяла розвитку в цьому напрямку, стала книга «Індуктивні експерименти», опублікована в 1966 році Хантом (Е. Б.), Маріном Дж. і Стоуном (П. Дж.).

Дерево рішень — це метод представлення правил в ієрархічній послідовній структурі, де кожен об'єкт відповідає одному вузлу прийняття рішень.

Правила — це логічні конструкції у формі «якщо...то...».

В даний час дерева рішень використовуються в широкому спектрі додатків, але всі завдання, які вирішуються цим пристроєм, можна об'єднати в наступні три категорії:

Опис даних: дерева рішень дозволяють зберігати інформацію про дані в компактній формі, замість цього можемо зберігати дерева рішень, що містять точні описи об'єктів.

Класифікація: дерева рішень добре справляються із завданнями класифікації, тобто. Віднести об'єкт до одного з раніше відомих класів.

Цільова змінна повинна мати дискретні значення.

Регресія: Дерева рішень дозволяють встановити залежність цільової змінної від незалежних змінних, якщо цільова змінна має безперервні значення. Наприклад, завдання числового прогнозування (передбачення значень цільової змінної) підпадають під цю категорію.

Основна ідея цього підходу полягає в поєднанні можливостей дерев рішень і нечіткої логіки. Відмінною рисою дерев рішень є те, що кожен приклад чітко належить до певного вузла. У разі неоднозначності це не так. Для кожного атрибута необхідно вибрати кілька його мовних значень і визначити, наскільки приклад до них відноситься. Нечіткі дерева рішень групують не кількість екземплярів конкретного вузла, а ступінь їх приналежності. Коефіцієнт — це частка екземплярів вузла N відносно цільового значення i . Формула обчислення: де $\mu_N(D_j)$ — ступінь належності екземпляра D_j до вузла N , $\mu_i(D_j)$ — ступінь належності екземпляра D_j до вибірки цільового значення i - це множина всіх вибірок вузла N . Потім знаходимо коефіцієнти, які представляють загальні характеристики прикладів вузла N . В стандартному алгоритмі дерева рішень визначається відношення кількості прикладів, що належать до того чи іншого атрибута, до загальної кількості прикладів. Для дерев використовуйте ставлення, розрахунок якого враховує ступінь власності.

Цей вираз дає оцінку середньої кількості інформації, необхідної для визначення класу об'єктів із множини $P \ N$. На наступному етапі побудови нечіткого дерева рішень алгоритм обчислює ентропію, розділену атрибутом A зі значенням a_j : , де вузол N_j є дочірнім вузлом вузла N . Алгоритм вибирає атрибути, які додають найбільше інформації.

Вузол N ділиться на кілька дочірніх вузлів N_j . Ступінь приналежності прикладу D_k вузла N_j обчислюється крок за кроком, починаючи з вузла N , де $\mu_i(D_k, a_j)$ представляє ступінь приналежності D_k до атрибута a_j . Якщо ступінь належності всіх прикладів дочірньому вузлу N_j дорівнює 0, тоді дочірній вузол видаляється. Алгоритм повторюється, доки всі екземпляри вузлів не будуть класифіковані або доки всі атрибути не будуть використані для розділення.

Знайдіть новий запис, який належить цільовому класу, за допомогою формули, де відношення екземпляра листа l до значення цільового класу k ,

$\mu_l(D_j)$ – ступінь належності екземпляра до вузла l , χ_k – відношення значення цільового класу k до позитивного значення результату класифікації.

Різні типи інтелектуальних систем мають свої особливості, такі як навчання, узагальнення та отримання результатів, що робить їх найкращими для вирішення певних категорій завдань і менш придатними для інших.

Різноманітні нейронні пакети допомагають успішно вирішувати такі завдання, як рейтинг безпеки (нейронний пакет S&PCBRS; інтерфейс), прогнози валютних курсів, аналіз біржових і ринкових індексів (BrainMaker), прогнози фондового ринку, аутентифікація кредитних карток (HNC) Крім аналізу фінансової діяльності, нейронні мережі успішно справляються з розпізнаванням аномальних зображень людей, розпізнаванням мови (Avalanche), синтезом мови та тексту (backpropagation; Cerebellatron), розпізнаванням рукописних символів (Neocognitron, Японія).

Нечіткі дерева рішень використовуються в інтелектуальному аналізі даних для вирішення задач класифікації та вирішення задач регресії, коли необхідно знати ступінь приналежності того чи іншого результату. Їх можна використовувати в різних сферах: вирішення скорингових завдань в банках, діагностика різних захворювань в медицині, контроль якості продукції в промисловості і т.д.

Безумовною перевагою цього методу є висока точність класифікації, яка досягається поєднанням переваг нечіткої логіки та дерев рішень. Процес навчання швидкий, а результати легко інтерпретувати. Оскільки алгоритм здатний публікувати нові об'єкти як клас і те, якою мірою вони до нього належать, він дозволяє контролювати поріг для класифікації.

Однак для цього потрібен репрезентативний набір навчальних зразків, інакше дерево рішень, створене алгоритмом, навряд чи відображатиме реальність і даватиме помилкові результати.

Проведемо створення нечіткого автоматичного регулятора температури в мікрореакторі, Т. Ефект контролера полягає в підтримці

температури в середині мікрореактора, $F_{\text{вит}}$. Частина схеми автоматизації, яка включає вказаний шлях керування, проілюстрована на рисунку 4.2 [19].

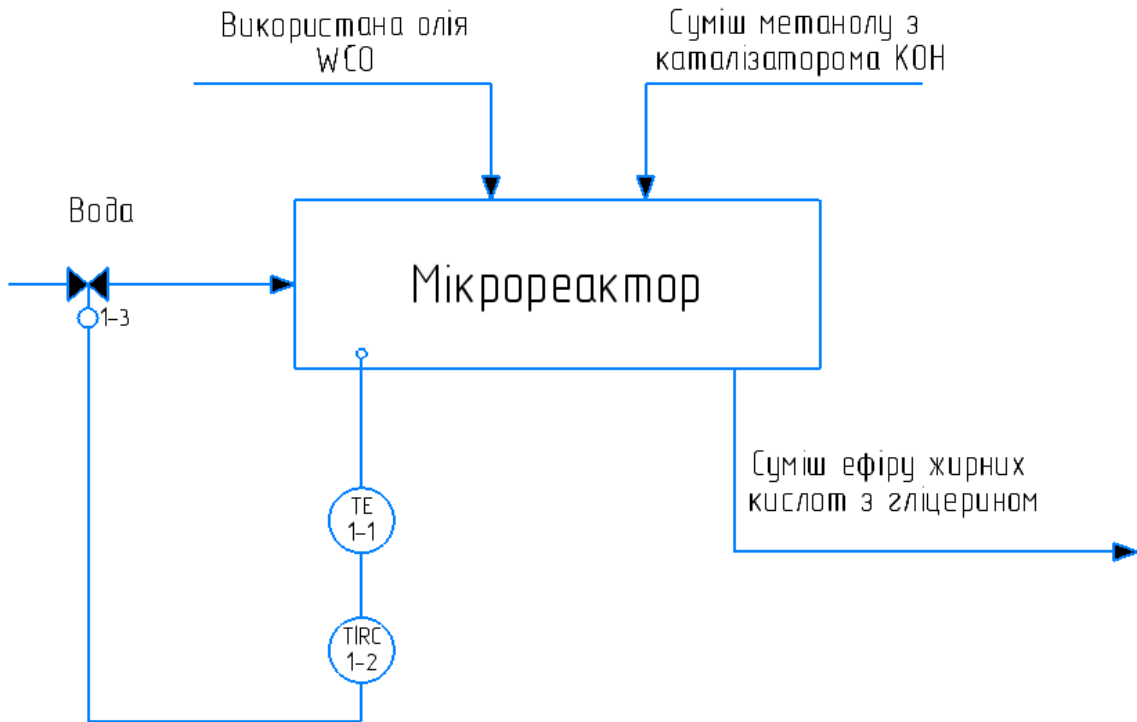


Рисунок 4.2 — Частина схеми автоматизації із контуром управління розходом

Швидкість потоку води для нагріву та температура мікрореактора були обрані як лінгвістичні змінні.

Опишіть контроль лінгвістичної змінної: кількість води, яка використовується для нагрівання. ($F_{\text{вит}}$)

«Мала»

Терм множина: $F_{\text{вит}} =$ «Середня»

«Велика»

Універсум: $80 < F_{\text{вит}} \leq 120$

Опис керованої змінної лінгвістичної: температура у мікрореакторі
($F_{\text{Вит}}$)

«Низька»

Терм множина: $T_{\text{рк}} =$ «Середня»

«Висока»

$$\text{Універсум: } 62 < T_{\text{рк}} \leq 68$$

4.5 Створення математичної моделі об'єкта із нечітким керуванням

Обговоримо нечіткі змінні та їхні функції належності. Функції приналежності реалізовано за допомогою математичного програмного забезпечення MathCad.

MathCad — це програмний інструмент і середовище для виконання різноманітних математичних і технічних обчислень на комп'ютері. Він надає користувачам інструменти для роботи з формулами, числами, графікою та текстом, а також оснащений простим для вивчення графічним інтерфейсом. Він був задуманий і спочатку написаний наприкінці 1980-х Алленом Раздовим з Массачусетського технологічного інституту (MIT), співзасновником Mathsoft, який є частиною PTC (Parametric Technology Corporation) з 2006 року. Відноситься до автоматизованих систем для математичних розрахунків. У цього типу програмного забезпечення є багато аналогів з різною спрямованістю та принципами побудови. Найчастіше Mathcad порівнюють з такими програмними комплексами, як Maple, Mathematica, MATLAB, MuPAD, Scilab, Maxima тощо.

Однак об'єктивні порівняння ускладнюються відмінностями в цілях програм та ідеології використання. Зокрема, Mathcad, на відміну від Maple,

спочатку створювався для чисельного розв'язання математичних задач і орієнтований на розв'язання прикладних математичних задач, а не теоретичних математичних задач, коли потрібно отримати результати, не заглиблюючись у математичну сутність задачі. Якщо потрібні великі символні обчислення, використовуйте Maple (з версії 14 - MuPAD). Це особливо корисно, коли необхідно створити математичні моделі на основі фізичних картин процесів або явищ.

Розробляючи нові версії, автори Mathcad зробили ставку на розширення системи відповідно до потреб користувачів. Для цього були створені бібліотеки надбудов і пакети розширень з додатковим функціоналом (які за потреби можна придбати окремо), а також електронні книги, що описують методи вирішення конкретних завдань, містять приклади алгоритмів, які можна використовувати безпосередньо в власному додатку та робочі документи розрахунки.

Незважаючи на те, що програма в основному орієнтована на користувачів, які не є програмістами, Mathcad також використовується в складних проектах для візуалізації результатів математичного моделювання за допомогою розподілених обчислень і традиційних мов програмування. Mathcad також часто використовується у великих інженерних проектах, де важливі відстеження та дотримання стандартів.

Основна відмінність MathCad від інших програмних засобів цього типу полягає в тому, що математичні вирази на екрані комп'ютера представлені загальноприйнятими математичними символами – вони виглядають так само, як у книзі, зошиті чи дошці. Для введення формул і даних можна використовувати клавіатуру та панель інструментів. Робота виконується на робочих аркушах, де рівняння та вирази відображаються графічно, а не як текст, введений мовою програмування. Програма дозволяє виконувати числові та символні обчислення, виконувати операції з використанням скалярних величин, векторів і матриць, а також автоматично перетворювати

одну одиницю вимірювання в іншу. Необхідні функції унеможливають аналітичне розв'язання задачі та повинні виконувати послідовні обчислення, однак існують дуже прості інструменти програмування, які можуть створювати дуже складні алгоритми.

Окремо варто звернути увагу на можливість використання значень з розмірністю в розрахунках Mathcad, причому ви можете вибрати систему одиниць: SI, SGS, ISS, Imperial або навіть побудувати власну систему одиниць. За результатами розрахунку також отримують відповідні розміри.

Нові функції в Mathcad 15.0 включають 25 нових обчислень дизайну експерименту, які допомагають скоротити час, витрачений на польові експерименти, завдяки розумінню загальних тенденцій тестування, покращену бібліотеку обчислень і розширену інтеграцію з рішеннями сторонніх розробників, такими як Microsoft Excel 2010. Mathcad 15.0 підтримує роботу багатьох автоматизованих систем проектування, а також дозволяє інтеграцію з базами даних з різними довідковими матеріалами, щоб можна було знайти ключові фактори та оптимальні умови для моделювання складних процесів. Передбачається повна підтримка операційної системи Microsoft Windows 7.

Далі розглянемо основні можливості Mathcad і прийоми його використання, необхідні для більшості інженерних розрахунків.

У Mathcad використовуються такі типи даних:

Числа (дійсні, комплексні, вбудовані константи) - всі числа в подвійному форматі (17 символів) з плаваючою комою;

Рядок - будь-який текст, узятий в лапки (або з пропусками);

Масиви (відсортовані змінні, вектори та матриці) — це впорядковані послідовності чисел або рядків.

Будь-який вираз, який починається з числа, Mathcad визначає як число. Комплексне число — це сума дійсного та уявного чисел, отримана множенням будь-якого дійсного числа на уявну одиницю.

Для числових форматів доступні такі параметри:

Загальні – прийнято за умовчанням. Числа відображаються по порядку. Кількість символів перед комою визначається в записі `Exponentialthreshold`.

Десятковий – десяткове представлення числа з плаваючою комою: 12,2564.

Наукові – Числа відображаються лише в такому порядку: 1,22.105.

Інженерія – числа відображаються лише кратними 3: 1.22.106.

Дріб – числа відображаються у вигляді звичайних дробів.

Масив — це впорядкована послідовність чисел або елементів масиву. У Mathcad зазвичай виділяють наступні типи масивів: вектор (одновимірний масив), матриця (двовимірний), тензорний (багатомірний), діапазонна змінна - вектор, елементи якого певним чином залежать від індексу. Найпростішим прикладом ранжирування змінних є масив чисел у певному діапазоні із заданим приростом. Для входу використовуйте кнопки на панелі інструментів або крапку з комою.

Перед початком роботи курсор виглядає як червоний хрестик. Ліва частина оператора присвоєння) може складатися з латинських, російських, грецьких букв і цифр, підкреслення (), тире (‘), знака відсотка (%) і нескінченності, введеної з клавіатури.

Імена змінних і функцій не можуть починатися з числа, підкреслення, тире, знака відсотка (%) або містити пробіли. Символ нескінченності може бути лише першим у назві змінної. Mathcad по-різному обробляє великі та малі літери, а також літери, введені різними шрифтами.

Відредагуйте введений вираз:

1. Використовуйте клавіші зі стрілками для переміщення курсору по екрану або помістіть ліву кнопку миші в потрібне місце на екрані.

2. Щоб вибрати символ за допомогою синього кута курсору, потрібно встановити курсор так, щоб він закривав символ ліворуч або праворуч.

3. Щоб поширити виділення на частини або вирази, зручніше використовувати клавіші зі стрілками або пробіл. Є місце для переходу від оператора до вищих рівнів. Кути курсора повинні охоплювати весь або частину виразу, для якого потрібно виконати операцію.

4. Щоб виділити частину або весь вираз, потрібно клацнути лівою кнопкою миші на початку або в кінці виділеного виразу, а потім перемістити курсор до іншого краю, де натиснута ліва кнопка миші. Чи можна використовувати клавіші Shift+? Або Shift+? Виділена частина виразу чорна. Опції Mathcad дозволяють вирізати або копіювати частини виразу, змінювати шрифт і виконувати певні типи символічних обчислень.

5. Щоб виділити об'єкт або групу (математичну, текстову чи графічну), потрібно клацнути мишкою на вільному місці аркуша та перетягнути прямокутник виділення, щоб зафіксувати потрібний об'єкт.

Якщо ви хочете видалити, вирізати або скопіювати виділену частину виразу, ціле виділення або групу виділених об'єктів, використовуйте ті самі команди, що й в інших програмах Windows.

Деякі латинські та грецькі літери зберігаються як постійні. Отже, латинська літера e в математичному виразі є основою для натурального логарифма $e = 2,718$. Це значення можна замінити, присвоївши його будь-якому іншому значенню за допомогою локального символу призначення: $=$.

Символ нескінченності? Можна вставити з панелі Calculus.

Якщо будь-якій константі чи змінній не присвоєно жодного значення ліворуч і вгорі на екрані, вона буде забарвлена червоним кольором, що вказує на помилку. Усі змінні та функції мають бути визначені заздалегідь.

Якщо константи в правій частині функції користувача не вказані безпосередньо перед використанням функції, їх значення приймуть останнє значення перед обчисленням.

Як інтегрована система, Mathcad 2000 складається з наступних основних компонентів: 1. Document Editor - редактор, здатний вставляти

математичні вирази, графічні шаблони та текстові анотації; 2. MathConnex - системний інтегратор, який забезпечує інтеграцію Mathcad з багатьма іншими програмними продуктами 3. Ресурсний центр - система управління ресурсами; 5. Довідкова система - система для отримання довідкових даних на основі тем і індексованих каталогів, а також отримання необхідних даних за ключовими словами або фразами 6. QuickSheets - короткі приклади з мінімальними анотаціями, що описують використання всіх вбудованих операторів і функцій системи; 7. Інтернет-браузер – це ваш власний спосіб доступу до Інтернету.

У режимі редагування можна працювати з кількома документами одночасно і переносити об'єкти з одного вікна в інше. Він також може імпортувати будь-яке графічне зображення - від простих і спеціальних функціональних схем до багатоколірних репродукцій творів мистецтва. Представлено інструменти для анімації зображень і відтворення стереофайлів. У поєднанні з покращеною візуалізацією складних обчислень користувачі можуть готувати високоякісні електронні статті та книги. Починаючи з Mathcad версії 8.0, передбачено спрощену побудову двовимірної графіки та можливість обертання тривимірної графіки за допомогою миші. У Mathcad 2000 тепер представлено спрощене малювання та 3D-графіку. Особливий інтерес представляють вбудовані в систему електронні книги, які містять довідники та приклади застосування системи з математики, механіки, фізики, електротехніки та радіотехніки, а також різні частини інтерфейсу системи. Література містить математичні формули та ілюстрації.

Можна вибрати необхідну довідку (формули або малюнки) і перенести її в текст документа. Бібліотеки та пакети розширень для системи Mathcad 2000 є ще одним найпотужнішим засобом розширення можливостей системи та її професійного спрямування при вирішенні задач різних предметних областей. Особливої уваги заслуговує системний інтегратор MathConnex. По

суті, це окрема програма, яка забезпечує функціональність використання блоків з різних систем (таких як Mathcad, Excel, MATLAB тощо) в одному документі. Інтеграція різних математичних і графічних систем, безсумнівно, є майбутнім обчислювальної математики, і MathConnex є хорошим початком.

Як згадувалося раніше, характеристикою програми Mathcad є її здатність описувати розв'язані задачі у формі, яка наближена до загальноновживаної математичної нотації. Програма може не тільки виконувати обчислення на основі введених формул, вирішувати різні типи рівнянь, дозволяє легко будувати різні графіки, але і виконувати символічні перетворення. Вбудовані можливості форматування тексту дозволяють створювати документи в стилі MS Word.

Функції, що з'являються в системному меню, надають такий багатий набір можливостей:

- вставка – для вставки об'єктів та їх шаблонів, у тому числі графічних елементів;
- формат - змінюється формат об'єкта;
- цей інструмент керує процесом розрахунку;
- символіка – вибір операцій процесора символів.

Компоненти документа Mathcad можна створювати не тільки шляхом введення символів з клавіатури, а й за допомогою спеціальних наборів математичних символів на панелі Math.

На рисунках 4.3-4.5 показано побудову функцій приналежності термів у MathCad: «Мала», «Середня», «Висока» лінгвістичної змінної значення витрати води для підтримання коректного температурного режиму в мікрореакторі [19].

Функцію належності *витрата мала*:

$$\mu_{F_{\text{мала}}}(F_B) = \begin{cases} 1, F < 80 \\ \frac{(100 - x)}{50}, 80 \leq F \leq 100 \\ 0, F > 100 \end{cases}$$

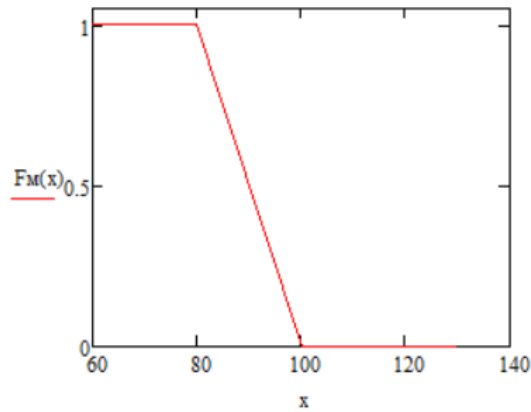


Рисунок 4.3 — Функція приналежності розходу води «мала»

Функцію належності *витрата середня*:

$$\mu_{F_середня}(FВ) = \begin{cases} 0, F > 120 \\ \frac{(x - 80)}{20}, 80 \leq F < 100 \\ \frac{(120 - x)}{20}, 100 \leq F \leq 120 \end{cases}$$

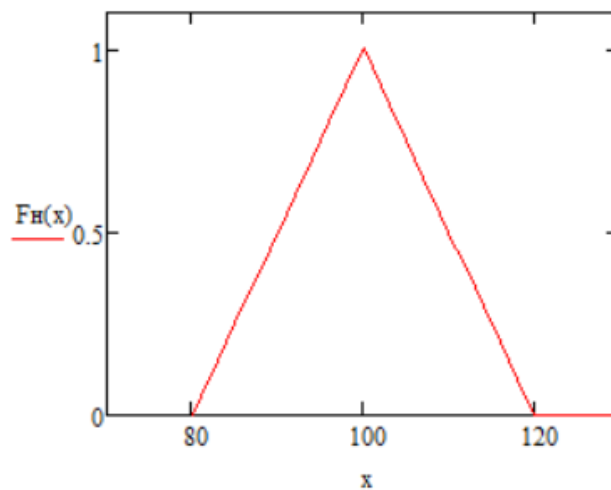


Рисунок 4.4 — Функція приналежності розходу води «середня»

Функцію належності *витрата висока*:

$$\mu_{F_Висока}(FВ) = \begin{cases} 1, F \leq 100 \\ \frac{(x - 100)}{20}, 100 < F < 120 \\ 0, F \geq 120 \end{cases}$$

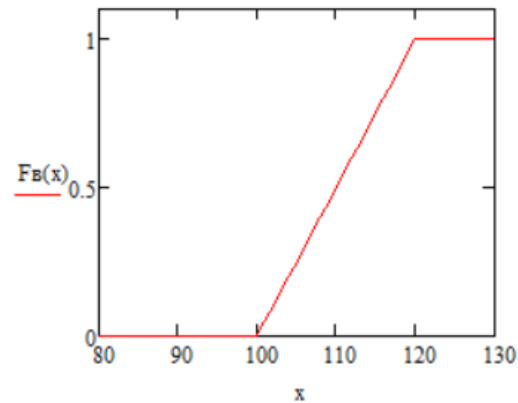


Рисунок 4.5 — Функція приналежності розходу води «висока»

На рисунку 4.6 зображені графіки усіх функцій належності змінної керування.

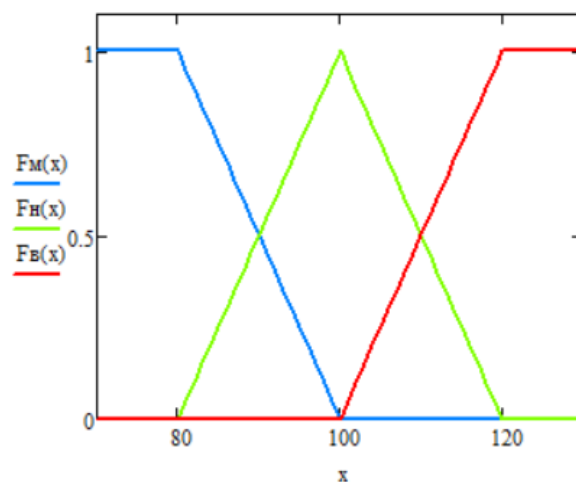


Рисунок 4.6 — Графіки всіх функцій приналежності змінної що керується

На рисунках 4.7 – 4.9 зображено створені в MathCad графіки функцій приналежності термів: «низька», «середня», «висока» змінної лінгвістичної значення температури у мікрореакторі [19].

Функцію належності *температура низька*:

$$\mu_{T_низька}(T) = \begin{cases} 1, T < 62 \\ \frac{(65 - x)}{3}, 62 \leq T \leq 65 \\ 0, T > 65 \end{cases}$$

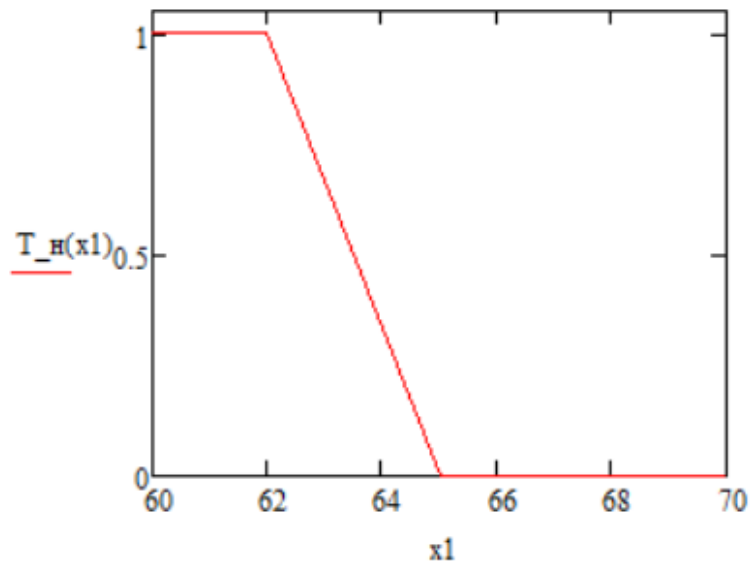


Рисунок 4.7 — Функція приналежності температури «низька»

Функцію належності *температура середня*:

$$\mu_{T_{\text{середня}}}(T) = \begin{cases} 0, F_B > 68 \\ \frac{(x - 63)}{3}, 63 \leq F_B < 65 \\ \frac{(68 - x)}{3}, 65 \leq F_B \leq 68 \end{cases}$$

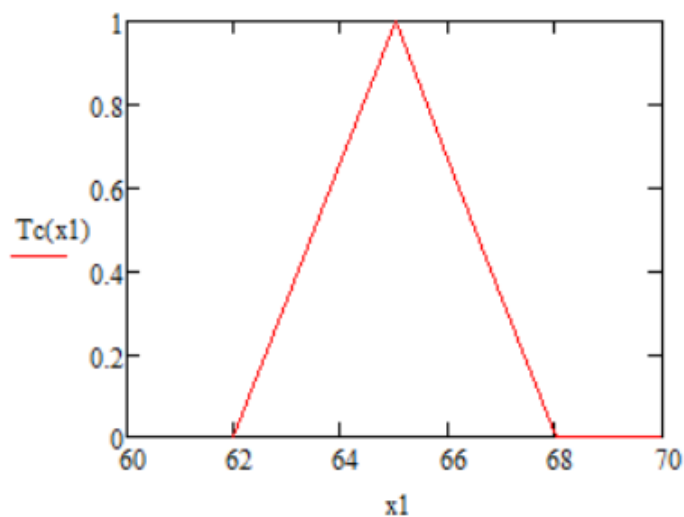


Рисунок 4.8 — Функція приналежності температури «середня»

Функцію належності *температура мала*:

$$\mu_{T_Висока}(T) = \begin{cases} 0, T \leq 68 \\ \frac{(x - 65)}{3}, 65 < T < 68 \\ 1, T \geq 68 \end{cases}$$

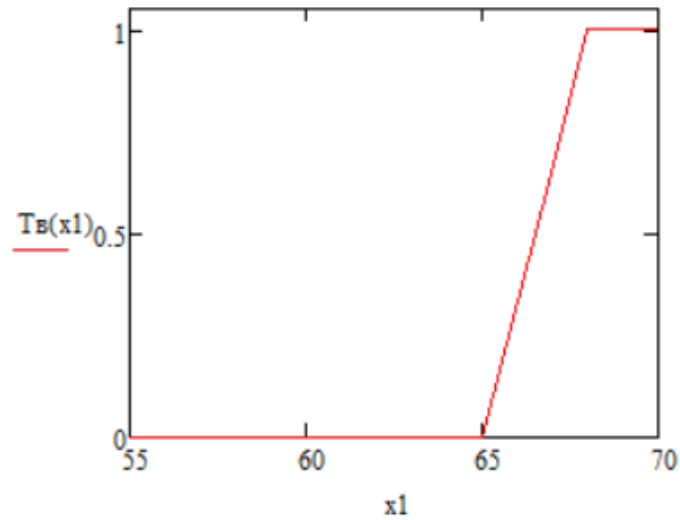


Рисунок 4.9 — Функція приналежності температури «Велика»

На рисунку 4.10 показані графіки усіх функцій приналежності термів температури у реакторі.

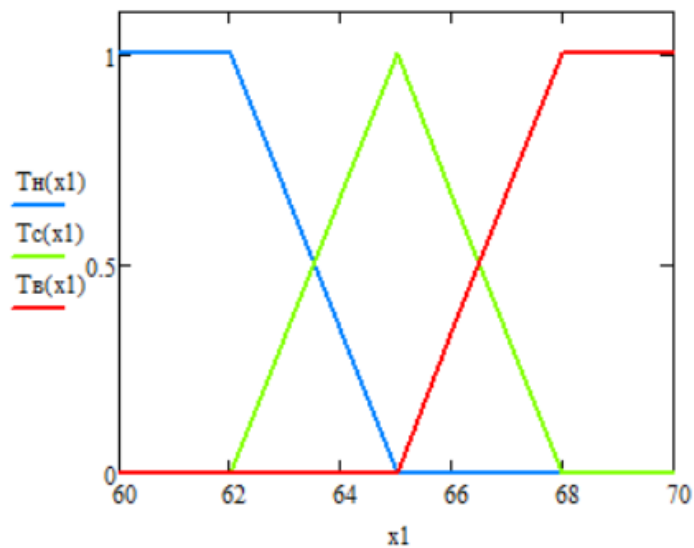


Рисунок 4.10 — Графіки всіх функцій приналежності температури у реакторі

4.6 Розробка правил системи нечіткого керування

Наступним кроком фазифікації є формування нечітких правил керування [19]:

ЯКЩО Температура в мікрореакторі «висока», ТО Витрата нагрівальної води повинна бути «велика».

ЯКЩО Температура в реакторі «нормальний», ТО Витрата нагрівальної води повинна бути «нормальна».

ЯКЩО Температура в реакторі «низька», ТО Витрата нагрівальної води повинна бути «мала».

4.7 Реалізація нечітких моделей та системи у MathCAD і MatLab

Зупинимося на фазі, температура в мікрореакторі 64°C. Визначимо частоту цього значення температури в і-й частині кожного доданка., $\mu(58)_i$ [19]:

$$\begin{aligned} X &:= 64 & x &:= 70..120 \\ n_m &:= T_H(X) = 0.333 \\ n_n &:= T_C(X) = 0.667 \\ n_v &:= T_B(X) = 0 \end{aligned}$$

Рисунок 4.11 — Коефіцієнти попадання значення температури у межі функції приналежності

Ступінь участі когось у лівих частинах правил включається в нечіткі набори правих частин правил. Подумайте про метод продукту. У методі продукту значення істинності першої частини правила використовується як ваговий коефіцієнт, який потрібно помножити на функцію належності другої частини правила, щоб обчислити кінцевий результат. Тобто доповнюємо

функцію членства кожного члена певним коефіцієнтом, який описує їх входження в терм $\mu(64)_i$. Наступним кроком буде розгляд дії всіх існуючих правил, тобто здійснимо об'єднання (суперпозицію) отриманих нечітких множин методом максимуму. Оцінимо фактичну величину використання води, яка дорівнює заданій температурі в ядерному реакторі з центром ваги (рис. 4.12) [19].

Кориговані функції належності методом добутку:

$$\begin{aligned} Fk_m(x) &:= Fm(x) \cdot n_m & Fk_v(x) &:= Fv(x) \cdot n_v \\ Fk_h(x) &:= Fh(x) \cdot n_h \end{aligned}$$

Метод максимуму:

$$Fk_max(x) := \max(Fk_m(x), Fk_v(x), Fk_h(x))$$

Дійсне значення витрати:

$$Fd_max := \frac{\int_{80}^{120} x \cdot Fk_max(x) \, dx}{\int_{80}^{120} Fk_max(x) \, dx} = 98.633$$

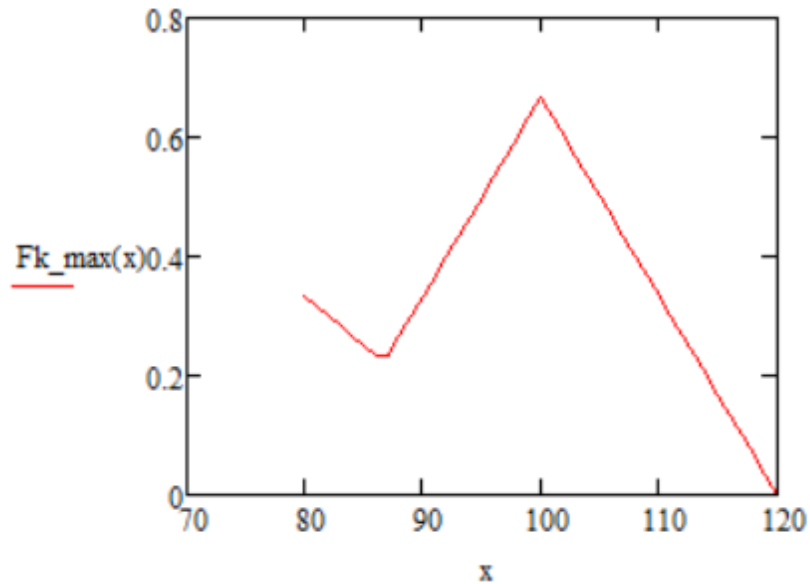


Рисунок 4.12 - Функції коригування приналежності за методом добутку та максимумів

Також обговоримо метод підсумовування, який використовується для об'єднання нечітких множин і розрахунку фактичного об'єму потоку води, який пов'язаний із заданою температурою реактора в центрі ваги (рис. 4.13) [19].

Метод підсумовування:

$$Fk_sum(x) := Fk_m(x) + Fk_v(x) + Fk_h(x)$$

Дійсне значення витрати:

$$Fd_sum := \frac{\int_{80}^{120} x \cdot Fk_sum(x) dx}{\int_{80}^{120} Fk_sum(x) dx} = 97.333$$

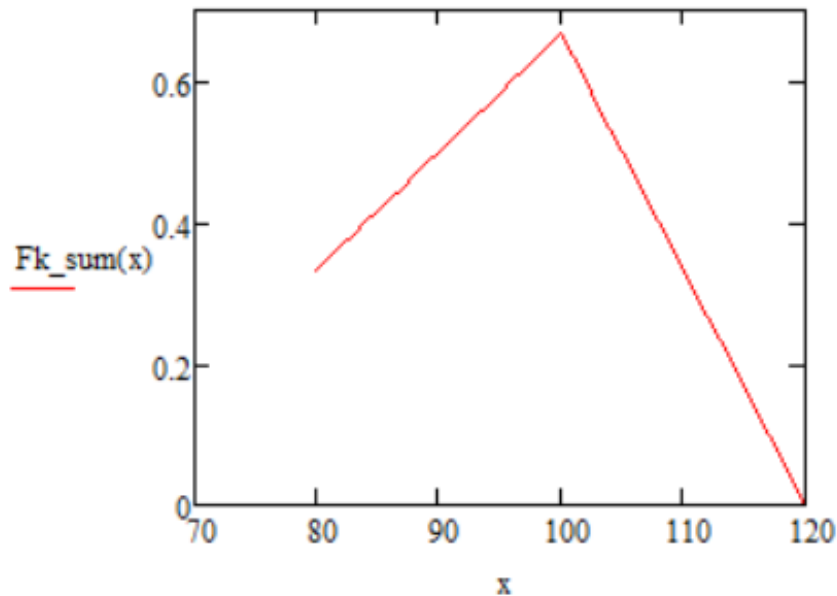


Рисунок 4.13 — Функція приналежності за методом добутку та сумування

Розглянемо процес об'єднання в агрегації нечітких наборів і найменшу кількість модифікацій нечітких наборів у правій частині правил. Також розрахуємо фактичне значення витрати води, яке дорівнює заданій температурі реактора плюс центр ваги (рис. 4.14) [19].

Кореговані функції належності (метод мінімуму):

$$\underline{Fk_M(x)} := \begin{cases} F_M(x) & \text{if } F_M(x) \leq n_M \\ n_M & \text{otherwise} \end{cases} \quad \underline{Fk_B(x)} := \begin{cases} F_B(x) & \text{if } F_B(x) \leq n_B \\ n_B & \text{otherwise} \end{cases}$$

Метод максимуму:

$$Fk_min(x) := \max(\underline{Fk_M(x)}, \underline{Fk_H(x)}, \underline{Fk_B(x)})$$

Дійсні значення витрати:

$$Fd_min := \frac{\int_{80}^{120} x \cdot Fk_min(x) \, dx}{\int_{80}^{120} Fk_min(x) \, dx} = 98.954$$

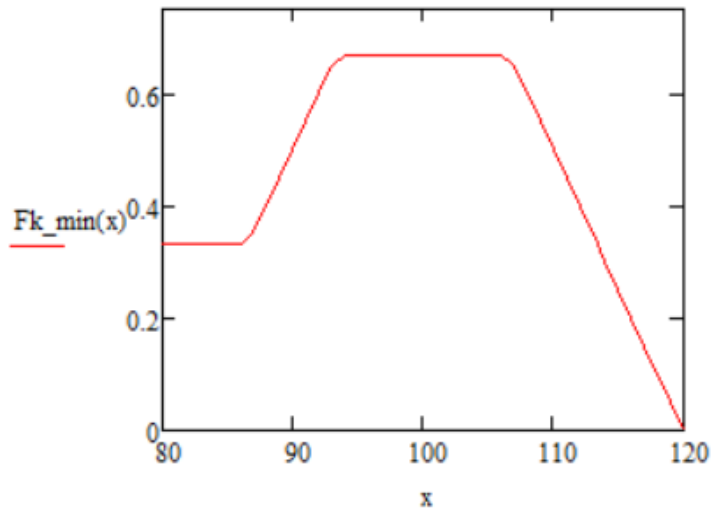


Рисунок 4.14 — Функція приналежності методами максимуму і мінімуму

Розглянемо метод додавання для об'єднання нечітких множин і мінімальний метод для зміни правої частини правил. Також розрахуємо фактичне значення споживання води, яке є заданою температурою реактора в центрі ваги (рис. 4.15) [19].

Метод підсумовування:

$$Fk_sum(x) := Fk_m(x) + Fk_n(x) + Fk_v(x)$$

Дійсні значення витрати:

$$Fd_min := \frac{\int_{80}^{120} x \cdot Fk_min(x) \, dx}{\int_{80}^{120} Fk_min(x) \, dx} = 98.954$$

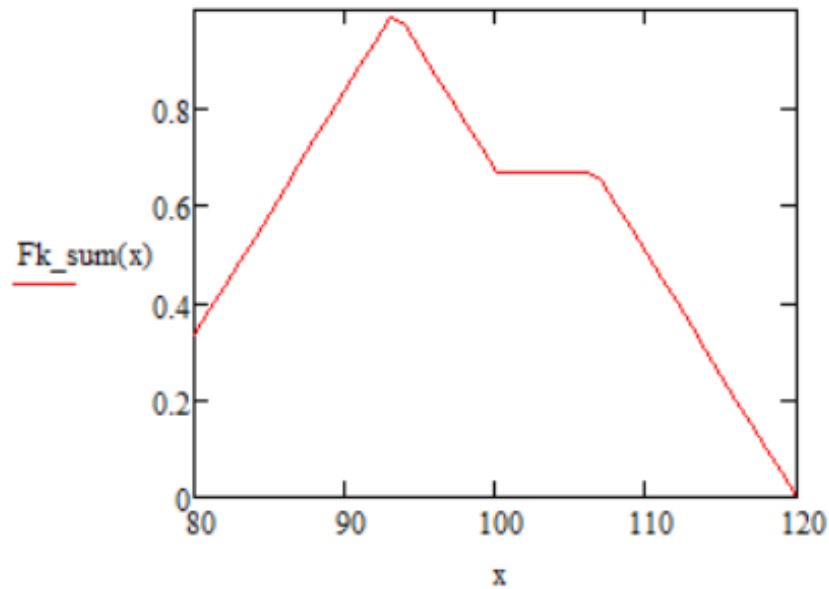


Рисунок 4.15 — Функція належності методами сумування та мінімумів

Для завершення процесу дефазифікації – переходу від символічного до числового значення керуючої змінної, будемо використовувати платформу MatLab.

Створимо схему нечіткого автоматизованого регулятора (FACS) температури в мікрореакторі (рис. 5.15) [19].

Визначимо терміни та пов'язані з ними функції для вхідних і вихідних змінних нечіткої системи (рис. 4.17-4.18) [19].

Створимо основу для інтерактивного режиму в системі MATLAB, для цього вам знадобиться використовувати редактор правил. Основу правила показано на рисунку 4.19 [19].

Перспектива спостерігача редактора правил після визначення експертної системи зображена на рисунку 4.20 [19].

Для остаточної оцінки розробленої нечіткої моделі розглянемо вихід програми для перегляду поверхні нечіткого висновку (рис. 4.21) [19].

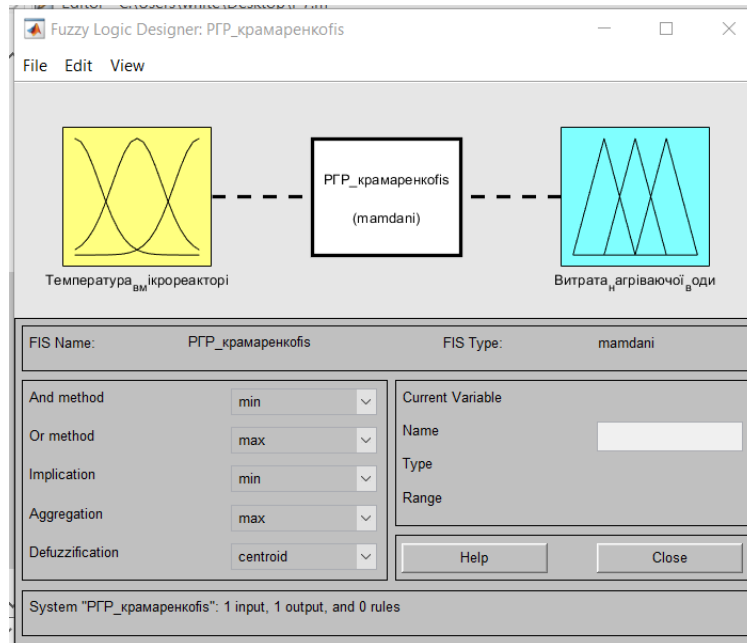


Рисунок 4.16— Вікно НчАСК

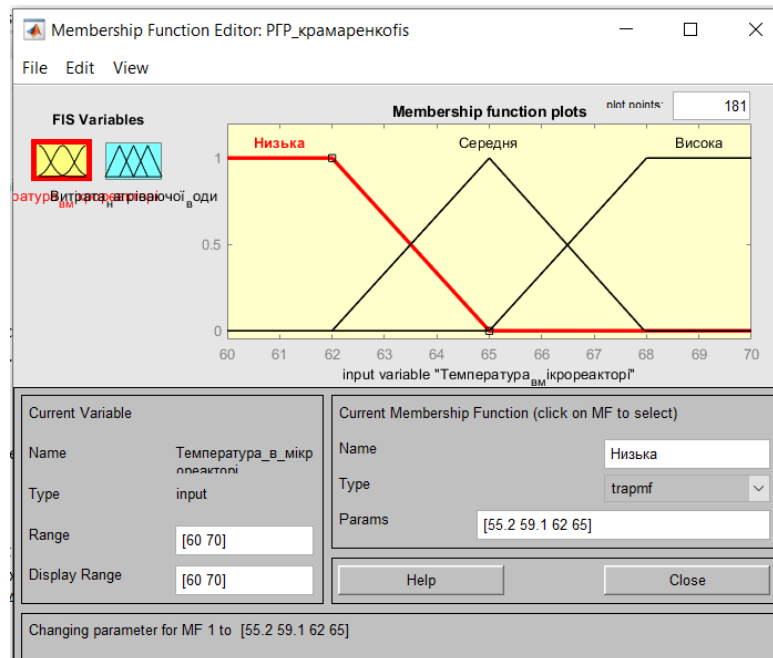


Рисунок 4.17 — Вікно редагування функції приналежності змінної коригування

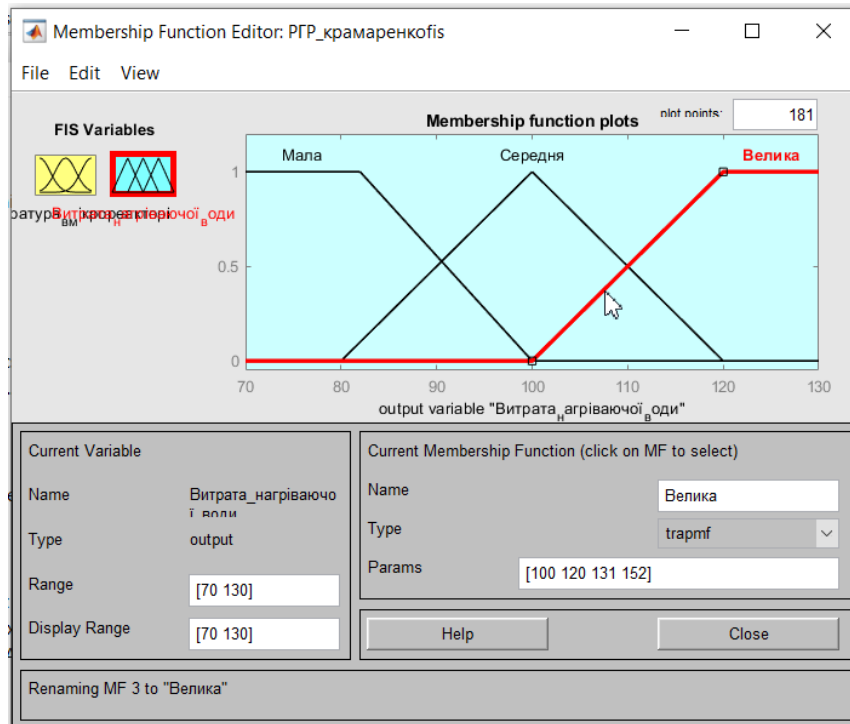


Рисунок 4.18 — Вікно редагування функції приналежності змінної керування

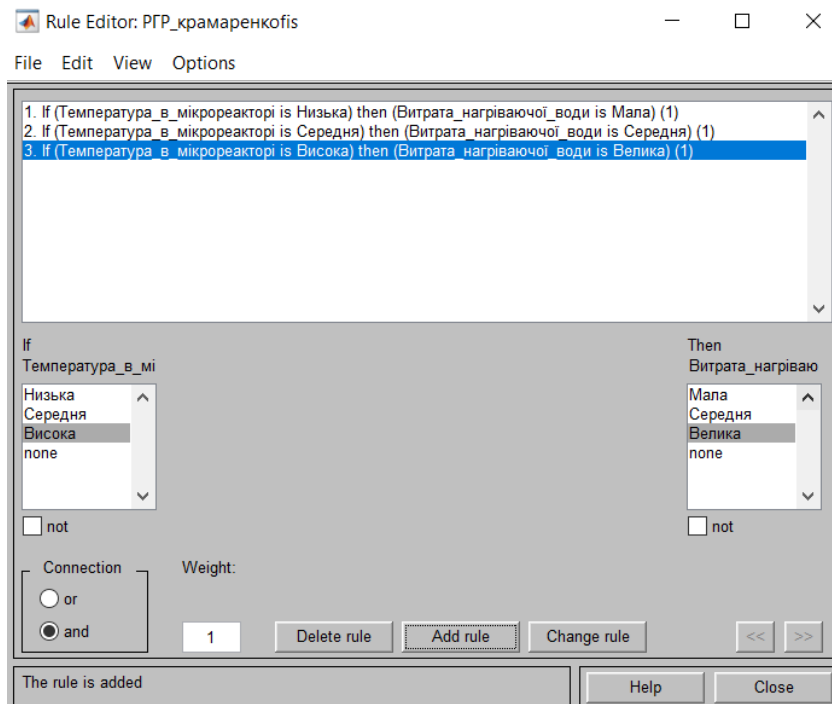


Рисунок 4.19 — Вікно редагування правил продукції

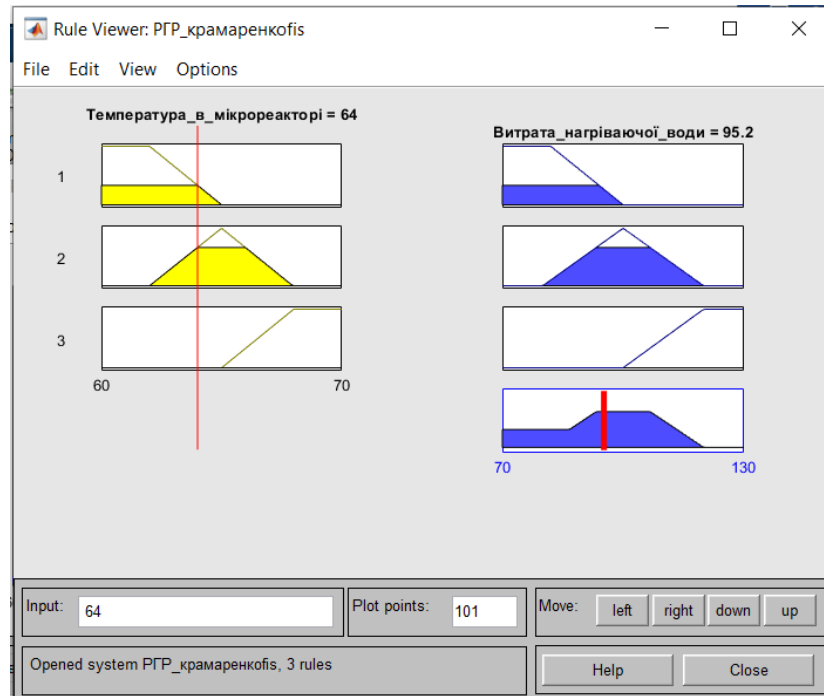


Рисунок 4.20 — Вікно програми правил нечітких висновків для вхідних змінних ($t=64$)

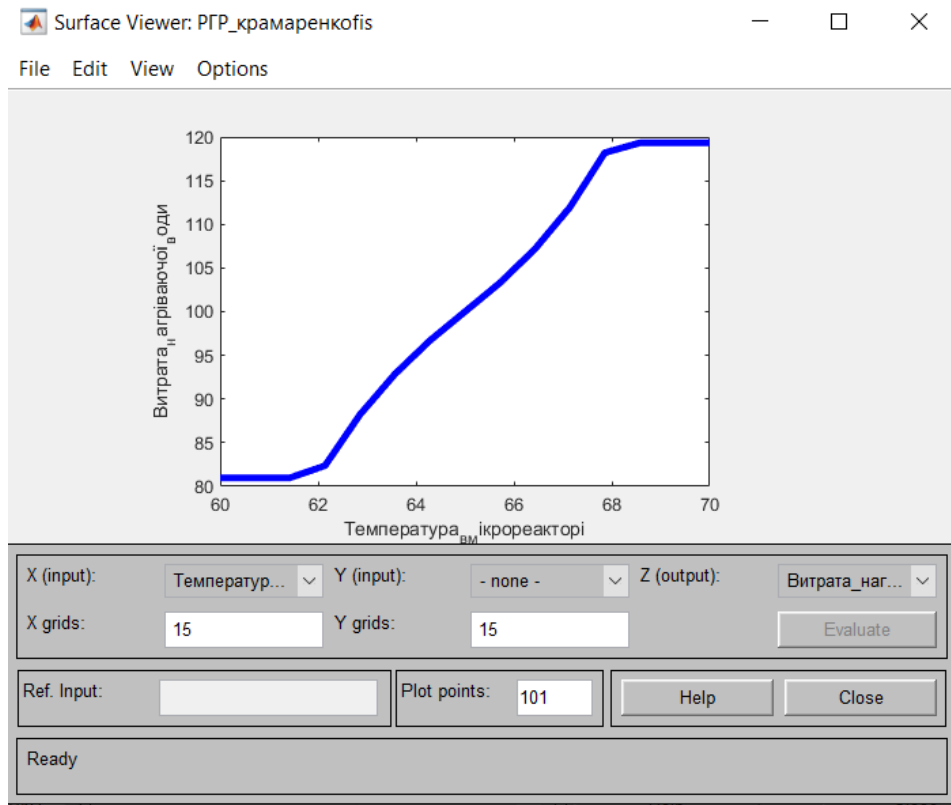


Рисунок 4.21 — Вікно графіку нечіткого висновку

4.8 Висновки до четвертого розділу

У цьому розділі запропоновано автоматизацію виробництва біодизеля в мікрореакторі з використанням новітніх пристроїв контролю, реєстрації, сигналізації та регулювання. Виробництву високоякісного біодизеля сприяє регулювання співвідношення відпрацьованої олії та метанолу в кінцевому продукті, яке залежить від рН продукту в цілому – біодизеля.

Також було сконструйовано нечіткий автомат, який керував температурою в мікрореакторі та споживанням води для нагріву, обраними лінгвістичними змінними були дві. Оцінено змінні, які керують діями системи: праві частини нечітких правил змінено за допомогою методів мінімуму та добутку, суперпозицію нечітких множин над правими частинами правил здійснено за допомогою методів максимуму та додавання. . Комп'ютерні продукти MathCad і MatLab використовують нечітку систему.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто процес отримання біодизеля в мікрореакторі.

Досліджено сорти сировини, методи виробництва та описано переваги та недоліки біодизеля. На основі описаних методів виробництва біодизеля визначено основні чинники, які є вирішальними для отримання якісного продукту. Також були розглянуті переваги мікрореакторів у порівнянні із традиційними реакторами.

На основі розрахункової швидкості виробництва біодизеля створено математичну модель синтезу біодизелю в мікрореакторі та побудовано графік зміни молярних концентрацій триацилгліцериду, гліцерину та метилового ефіру в часі. Розрахунки математичної моделі проводили в комп'ютерному середовищі Mathcad.

Створено комп'ютерну програму для розрахунку математичної моделі мікрореактора синтезу біодизеля. Програмне забезпечення було написано мовою C# в середовищі Visual Studio 2017. Для полегшення аналізу обчисленої інформації програма має функцію збереження результатів у файл Excel.

Схема технологічного розвитку, пов'язана з виробництвом біодизеля, призвела до створення схеми автоматизації та схем управління та регулювання процесу. Інструменти автоматизації також були обрані в поєднанні з виробничим процесом. Визначено, що одним із показників якості готового продукту є рН, в результаті чого побудовано систему регулювання складу суміші в залежності від рН біодизельного палива на момент виходу з відстійника. Крім того, була створена схема для регулювання та сигналізації температури в мікрореакторі, тому що температура безпосередньо впливає на виробництво біодизеля.

Створено систему з контролером нечіткої логіки та обрано лінгвістичні змінні: швидкість потоку води та температуру мікрореактора.

Також було сконструйовано нечіткий автомат, який керував температурою в мікрореакторі та споживанням води для нагріву, обраними лінгвістичними змінними були дві. Оцінено змінні, які керують діями системи: праві частини нечітких правил змінено за допомогою методів мінімуму та добутку, суперпозицію нечітких множин над правими частинами правил здійснено за допомогою методів максимуму та додавання. . Комп'ютерні продукти MathCad і MatLab використовують нечітку систему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A.C. Ahmia, F. Danane , R. Bessah, I. Boumesbah Raw material for biodiesel production. Valorization of used edible oil. Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°2 (2014) 335 – 343 URL: https://www.cder.dz/download/Art17-2_14.pdf
2. Будьоний О. П., доцент; Кулижко І. О. Біодизель як приклад біоенергетичної технології URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/324258153.pdf>
3. Chapter 2. Introduction to Biodiesel Production URL: https://www.canr.msu.edu/uploads/files/biodiesel_production.pdf
4. Biodiesel Basics: веб – сайт. URL: <https://www.biodiesel.org/what-is-biodiesel/biodiesel-basics>
5. What is Biodiesel?: веб – сайт. URL: https://www.conserve-energy-future.com/advantages_disadvantages_biodiesel.php
6. Maximino Manzanera, Maria L. Molina-Muñoz, Jesús González-López. Biodiesel: An Alternative Fuel. Recent Patents on Biotechnology 2008, 2, 25-34.
7. Anna Yu. Kuchkinaa, Nadezhda N. Sushchika. Feedstocks, Methods and Perspectives of Biodiesel Production. Journal of Siberian Federal University. Biology 1 (2014) 14-42. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/38643652.pdf>
8. Ezgi Sühel AKTAŞ, Özlem DEMİR, Deniz UÇAR. A REVIEW OF THE BIODIESEL SOURCES AND PRODUCTION METHODS. International Journal of Energy and Smart Grid Vol 5, Number 1, 2020. URL: Microsoft Word - 2- IJESG 5(1) 1.docx (dergipark.org.tr)
9. A. Rajalingam, S. P. Jani, A. Senthil Kumar and M. Adam Khan. Production methods of biodiesel: Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2016p, 8(3):c.170-173. URL: https://www.researchgate.net/publication/306140139_Production_methods_of_biodiesel

10. Anita Šalić, Bruno Zelić. MICROREACTORS - PORTABLE FACTORIES FOR BIODIESEL FUEL PRODUCTION. Mikroreaktori – prenosiva postrojenja goriva i maziva, 50, 2013. C. 85-110, URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/14439677.pdf>
11. E. S. Borovinskayaa and V. P. Reshetilovskii. Microstructural Reactors: Concept, Development and Application. Journal of Applied Chemistry, 2008 p., C.2211–2231.
12. A. Gnanaprakasam, V. M. Sivakumar, A. Surendhar, M. Thirumarimurugan, and T. Kannadasan Recent Strategy of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil and Process Influencing Parameters: A Review. Hindawi Publishing Corporation Journal of Energy, 2013, 10 pages. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/926392>
13. Akkarawatkhoosith N, Srichai A, Kaewchada A, Ngamcharussrivichai C, Jaree A, Evaluation on safety and energy requirement of biodiesel production: conventional system and microreactors, Process Safety and Environmental, 2019 p., URL: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.10.018>
14. StefanSchwarz, EkaterinaS.Borovinskaya, Wladimir Reschetilowski Base catalyzed ethanolsis of soy bean oil in microreactors: Experiments and kinetic modeling. Chemical Engineering Science 104. 2013 p. c.610–618.
15. R.Richard, S. Thiebaud-Roux, L. Prat. Modelling the kinetics of transesterification reaction of sunflower oil with ethanol in microreactors. Chemical Engineering Science 87. 2013 p. c.258–269.
16. Michael O. Ajeni William P. Heath, Eduardo Poupard. Modelling for Control of Biodiesel Microreactors. IFAC PapersOnLine 54-3, 2021p., c. 312–317.
17. Wei Han, Rachaneewan Charoenwat, Brian H. Dennis. Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and

Information in Engineering Conference URL:
<http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org>

18. Математичне моделювання та оптимізація об'єктів хімічної технології: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія» [Електронний ресурс] / [уклад. Бойко Т. В., Фоглер О.М., Абрамова А.О.]. К: 2014. 162 с.

19. iFIX. Сайт GE Intelligent Platforms, 2014. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ge-ip.com>.

20. Богданова Т. Л. Критерії оцінювання якості комп'ютерних моделей фізичних процесів та явищ, створених студентами у процесі науково-дослідної роботи (на прикладі моделі «дифракція світла в паралельних променях») // Проблеми інженерно-педагогічної освіти. Збірник наукових праць. Випуск 34/35. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2012. – 357 с.

21. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах: Підручник / Товажнянський Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. – К.: ЦУЛ, 2011. – 832 с. – (МОН України. НТУ “ХПІ”)

22. Коруд В.І., Електротехніка: Підручник / В.І. Коруд, О.Є. Гамола, С.М. Малинівський; За заг. ред. В.І. Коруда. – 3-є вид., переробл. і доп. – Львів: Магнолія Плюс, 2006. – 447 с.

23. Михайленко В.Є., Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник / В.Є. Михайленко, В.В. Ванін, С.М. Ковальов; За ред. В.Є. Михайленка. – 6-е вид. – К.: Каравела, 2012. – 368 с.

24. Титаренко М.В., Електротехніка: Навчальний посібник/ М.В. Титаренко. – К.: Кондор, 2013. – 240 с.

25. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

26. Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка і мікросхемотехніка / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. під ред. А. Г. Соскова. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – Харків : ХДАМГ, 2003. – 281 с.
27. Костін М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпро: Видво ДНУЗТ, 2006. – Т. 1. – 336 с; 2007.- Т.2.- 276 с; 2011. – Т.3, Ч.1. – 224 с; 2012.– Т.3, Ч.2. – 352 с.
28. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. - Київ : Літера ЛТД, 2020. - 288 с.
29. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. - 464 с. - Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31412..>
30. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Власюк, В. М. Співак, К. О. Трапезон, В. Б. Швайчен-ко. - Київ : Освіта України, 2010. - 159 с. - Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>.
31. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.
32. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотехніка» [Електронний ресурс] / В. В. Макаренко, В. М. Співак ; НТУУ «КПІ». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 314 с. - Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.
33. Панчевний Б. І. Загальна електротехніка: теорія і практика / Б. І. Панчевний, Ю. Ф. Свергун. - 2-ге вид. - Київ : Каравела, 2004. - 440 с.
34. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. - Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. - 208 с.

35. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. - 2-ге вид. - Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. - 254 с.
36. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
37. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г.,Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
38. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
39. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського.– Вінниця, 2017. -270 с.
40. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – К., 2010. – 358 с.
41. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.
42. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко,В.Ф. Яковлєв та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.
43. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлєва. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.
44. Паначевний Б.І., Свєргун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. - К.: Каравела, 2003. – 440 с.
45. Монтаж електрообладнання і систем керування / За заг. ред. проф. Яковлєва В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.

46. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/ П.В. Волох, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –К. : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.
47. Електроніка і мікропроцесорна техніка / Сенько В.І., Лисенко В.П., Юрченко О.М., Лукін В.Є., Руденський А.А. — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676 с.
48. Електропостачання агропромислового комплексу : підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
49. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.
50. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.; іл.
51. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 434 с.; іл.
52. Комп'ютери та комп'ютерні технології : навч. посіб. Ч. 1. Програмування в математичному пакеті MathCAD / В.П. Лисенко. І.М. Болбот. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 229 с.
53. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. - 404 с.
54. Герасимчук В. С. Вища математика. Повний курс у прикладах і задачах / В.С.Герасимчук, Г.С.Васильченко, В.І.Кравцов. – К.: Книги України ЛТД, 2015. – 470 с

55. Практикум з вищої математики: Навчальний посібник / За ред. В.О.Ковалю. – Ж: ЖДТУ, 2008. – 448 с
56. Вища математика. Загальний курс: Збірник задач та вправ. / А.Д.Тевяшев, О.Г.Литвин. URL: <https://www.twirpx.com/file/277182/> (дата звернення 12.05.2021)
57. Вища математика. Збірник задач: Навчальний посібник / В.П.Дубовик. URL: https://issuu.com/erudytnet/docs/1dubovik_v_p_yurik_i_i_vishcha_mate (дата звернення 12.11.2024)
58. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник/ В.І. Ткачук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2006. - 440 с.
59. Півняк Г.Г. Сучасні частотно-регульовані електроприводи зі широтно- імпульсною модуляцією: Монографія/ Г.Г. Півняк, О.В Волков.. - Дніпропетровськ, НГУ, 2006. - 470 с.
60. Ісікова, Н. П. Проектування інформаційних систем [Текст] : навч. посіб. / Н. П. Ісікова, Т. В. Решетняк. — Краматорськ : ДДМА, 2020. — 111 с.
61. Сегеда, М. С. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії [Текст] : навч. посіб. / М. С. Сегеда, М. Й. Олійник, О. Б. Дудурич. — Львів : Львівська політехніка, 2019. — 204с.
62. Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. / за ред. Т. О. Терещенко. – Київ : Політехнік, 2003. – 440 с.
63. Алексієв О. П. Мікроконтролери для транспортних і промислових застосувань.: архітектура та програмування : навч. посіб. / О. П. Алексієв, О. Б. Богаєвський, В. П. Волков. – Харків : ХНАДУ, 2004. – 156 с.
64. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої». – Ч. 2 : «Однокристальні мікро контролери» для студентів спеціальностей 092206 «Електричні машини та апарати» і

092205 «Електропобутова техніка» усіх форм навчання / уклад. Ю. С. Грищук. – Харків : НТУ «ХП», 2003. – 43 с.

65. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Мілих. – Київ : Каравела, 2012. – 688 с.

66. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка / В.І. Мілих. – Київ : "Каравела", 2006. – 376 с.

67. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.

68. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с.

69. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.

70. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Видво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с.

Додаток А
Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вісник Хмельницького національного університету»)

ФОРКУН Ірина

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4588-6349>

ivforkun@khmnu.edu.ua

МАКАРИШКІН Деніс

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>

makaryshkinde@khmnu.edu.ua

МАТВІЙЧУК О.С.

Хмельницький національний університет

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОРЕАКТОРУ
ОТРИМАННЯ БІОДИЗЕЛЯ**

Вивчено методи і технологічні інновації, пов'язані з виробництвом біодизеля, було встановлено, що найефективнішим способом отримання цієї речовини буде мікрореактор, а в якості сировини слід вибрати нафту. Мікрореактори відіграють важливу роль у збільшенні виробництва біодизеля через їх кращу масо- та теплообмін, коротший час, менше обладнання, каталізаторів і відходів, ніж більші реактори. Описано хімічні формули перетворення сировини у біодизель. Проведено дослідження швидкості процесу створення біодизеля в мікрореакторі, отриманому з відпрацьованого масла, на основі цієї інформації створено математичну модель.

Ключові слова: біодизель, мікрореактор, математична модель, математичне моделювання.

FORKUN Iryna, MAKARYSHKIN Denys, MATVIYCHUK Oleksandr

Khmelnysky National University

**MATHEMATICAL MODELING OF THE CONTROL SYSTEM OF A MICROREACTOR FOR
BIODIESEL PRODUCTION**

Methods and technological innovations related to the production of biodiesel were studied, it was found that the most effective way to obtain this substance would be a microreactor, and oil should be chosen as the raw material. Microreactors play an important role in increasing biodiesel production due to their better mass and heat transfer, shorter time, less equipment, catalysts and waste than larger reactors. The chemical formulas for converting raw materials into biodiesel are described. A study was conducted to determine the speed of the process of creating biodiesel in a microreactor obtained from waste oil, and a mathematical model was created based on this information.

Keywords: biodiesel, microreactor, mathematical model, mathematical modeling.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок

із важливими науковими чи практичними завданнями

Однією з найбільших проблем на планеті є виснаження викопного палива, яке є основним джерелом енергії для людини. Звіти МЕА свідчать про зростання попиту на паливо, який може зрости на дві третини протягом наступних 25 років. За останні кілька років ціни на викопне паливо значно зросли. Подорожчання пояснюється зростанням попиту на бензин і дизпаливо. Іншою міжнародною проблемою, яка стосується людей, є глобальне потепління, яке спричинене руйнуванням викопного палива, що супроводжується великим викидом

вуглекислого газу. Крім того, викопне паливо вважається значним джерелом забруднення місцевого навколишнього середовища. У результаті людство має досліджувати та розвивати альтернативні джерела енергії, засновані на екологічно чистих, відновлюваних процесах і методах.

Альтернативою звичайному маслу є біодизель. Біодизельне паливо складається з ефірів жирних кислот, отриманих з рослинних олій і тваринних жирів. Властивості біодизеля подібні до дизеля, тому його можна використовувати в дизельних двигунах. Оскільки біодизель не містить ароматичних компонентів, сполук сірки, вуглекислого газу, вуглеводнів і твердих частинок у газах, що виробляються двигуном, він є чудовою заміною палива на основі нафти. [1]

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Біодизель отримують з різних рослинних олій або тваринних жирів за допомогою реакції переестерифікації в резервуарі з перемішуванням. Проте висока вартість експлуатації та низька продуктивність самого процесу зумовлюють необхідність його модернізації. Одним із методів покращення виробництва біодизеля є використання мікрореакторів для заміни більших реакторів. Порівняно з традиційними реакторами мікрореактор має низку суттєвих переваг, включаючи високу швидкість тепло- та масообміну, здатність швидко змінювати обсяг виробництва та значно нижчу вартість.

Після вивчення методів і технологічних інновацій, пов'язаних з виробництвом біодизеля, було встановлено, що найефективнішим способом отримання цієї речовини буде мікрореактор, а в якості сировини слід вибрати нафту. Мікрореактори відіграють важливу роль у збільшенні виробництва біодизеля через їх крашу масо- та теплообмін, коротший час, менше обладнання, каталізаторів і відходів, ніж більші реактори.

Біодизель - це суміш довголанцюгових ефірів жирних кислот, які є моноалкільованими. Ця речовина нетоксична, піддається біологічному розкладанню, відновлюється та виробляється з органічних і відновлюваних ресурсів, включаючи свіжі або використані рослинні олії, тваринні жири та олійні рослини.

Біодизель – речовина жовтого кольору (яка може бути різного кольору). Він майже повністю розчинний у воді, його температура кипіння також низька. Біодизель, отриманий із забрудненої сировини, нетоксичний.

Під час спалювання біодизелю виділяється менше вуглекислого газу, ніж чистого дизельного палива, незалежно від того, якою мірою воно включено в інше дизельне паливо. Ця властивість не впливає на збільшення вуглекислого газу в атмосфері, натомість мінімізує інтенсивність парникового ефекту. Крім того, біодизель має вищий вміст сірки та вищу температуру спалаху, ніж дизель. Він також має більш високий вміст ароматичних речовин і біологічно розкладається. [1, 2]

Біодизель має кілька переваг порівняно з альтернативними видами палива:

1. Отримано з відновлюваних джерел
2. Може бути включений в існуючі дизельні транспортні засоби з обмеженими або без додаткових модифікацій. Тобто він може функціонувати як замітник викопного палива та матиме найбільше значення з точки зору енергії для транспорту. Біодизель можна використовувати в чистому вигляді на 100 відсотків (B100) або його можна поєднувати зі звичайним дизелем, цей останній варіант покращує змащувальні властивості двигуна та збільшує термін служби двигуна, останній варіант має нижчу концентрацію сірки ніж колишній.
3. Менше викидів парникових газів (наприклад, B₂₀ знижує рівень CO₂ на 15%). Під час спалювання викопного палива в атмосферу викидаються такі гази, як вуглекислий газ, що спричиняє глобальне потепління. Експерти прогнозують, що використання біодизеля замість звичайного дизельного палива зменшить викиди парникових газів на цілих 78%.
4. Розроблено, вироблено та розповсюджено на місці. Викопне паливо є обмеженим і не зможе задовольнити потреби людей у вугіллі, нафті та природному газі після закінчення визначеного періоду. Біодизель може зменшити залежність країн від іноземних постачальників нафти. Кожна країна матиме потужності для його виробництва на індивідуальній основі, що призведе до зменшення необхідності імпорту дорогого палива з інших країн.

5. Біоциклічний і нетоксичний. При спалюванні біопалива викид вуглекислого газу значно менший, а також менше забруднюючих речовин. Порівняно з нафтовим дизелем, біодизель має нижчу концентрацію сажи (твердих частинок), чадного газу, ненавмисних вуглеводнів і діоксиду сірки.[4] Температура спалаху біодизеля перевищує 150 градусів Цельсія, тоді як температура спалаху нафтового дизеля становить близько 52 градусів Цельсія, що робить його менш займистим. Як наслідок, його безпечно використовувати, зберігати та транспортувати [2].

6. Підвищена паливна ефективність. Біодизельні транспортні засоби мають 30% економію палива порівняно зі звичайними транспортними засобами, які використовують нафту як єдине паливо.

7. Біодизель підвищує ефективність двигунів транспортних засобів. Це число є цетановим числом палива, а також масла, яке присутнє в паливі - обидві ці якості допомагають підвищити ефективність і плавність роботи двигуна.

Незважаючи на велику кількість переваг, біодизель також пов'язаний з рядом негативних побічних ефектів:

1. Збільшення витрат на паливо через нижчу теплотворну здатність біодизеля.
2. Спостерігається більше викидів оксиду азоту (NOx), ніж інших видів палива, включаючи дизельне.
3. Вища температура замерзання, ніж дизель. Це збільшує його складність при низьких температурах.
4. Менш стійкий, ніж дизельне паливо, тому не рекомендується для тривалого зберігання (понад 6 місяців).
5. Прокладки та шланги, що складаються з пластику та натурального каучуку, можуть руйнуватися під впливом палива в його початковій формі, у цьому випадку рекомендовано замінити компонент на тефлон.
6. Він відокремлює відкладення шламу та інших забруднюючих речовин з дизельного палива в баках і паливопроводах, після чого відбувається вимивання біопалива в двигун, що призведе до проблем із клапанами та системою впорскування. Таким чином, рекомендується очистити резервуари перед заповненням біодизелем.

Ці недоліки можна подолати, використовуючи біодизель у поєднанні з дизелем.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження етапів і способів отримання біодизелю із органічних речовин. Визначення напрямків покращення технологічного процесу шляхом удосконалення системи автоматизованого керування. Створення математичної моделі процесу утворення біодизелю та виконання математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу

Біодизель — це хімічний продукт переетерифікації високомолекулярних жирів, які входять до складу рослинних олій і тваринних жирів, ці хімічні речовини зазвичай складаються з (метилового або етилового) спирту. Основним принципом процесу виробництва біодизеля є підвищення консистенції масла. Будь-яка рослинна олія складається з тригліцеридів, ці молекули пов'язані з молекулою гліцерину, ця молекула надає олії в'язкість і щільність. Щоб виробляти біодизель, необхідно виключити гліцерин і замість нього використовувати спирт. Рисунок 2 ілюструє процедуру переетерифікації. [3]

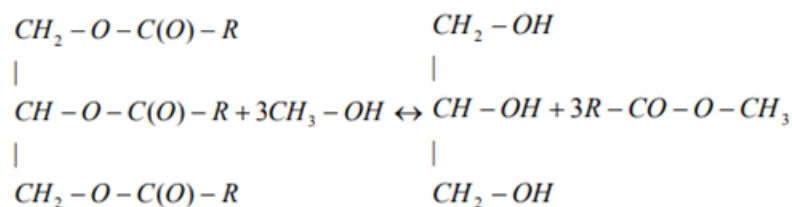


Рис. 2. Схема реакції трансерифікації (алкоголізу) тригліцериду метанолом

Процес переетерифікації є другим за популярністю способом отримання біодизеля. Він складається з використання кислоти як каталізатора, кислотного каталізатора в однині або кислотного каталізатора у

множині. Кількість і різноманітність каталізаторів змінюються кількістю вільної жирної кислоти у вихідній олії. Значна кількість вільних жирних кислот шкодить виробництву біодизелю та викликає омилення.

Процес трансестерифікації основного каталізатора.

У цей момент KOH, NaOH і NaMETHO використовуються як каталізатори. Найефективнішим каталізатором є метоксид натрію, але він не рентабельний. Ця процедура передбачає поєднання спирту та олії, що відбувається в присутності основного каталізатора, ця процедура проводиться при температурі 50°C-60°C, щоб отримати найбільшу кількість біодизеля. Температура реакції повинна бути нижчою за температуру кипіння розчинника, тому що при вищій температурі метанол почне випаровуватися. Процес غلط речей (1300об/хв) проводиться протягом години. В результаті реакції суміш зберігається у відстійнику протягом 12-24 годин, щоб розділити її на біодизель і гліцерин. Верхній шар речовини - біодизель, а нижній - гліцерин.

Процес естерифікації кислотного каталізатора.

Деякі олії, які використовуються для створення біодизеля, мають концентрацію понад 1% вільної жирної кислоти, цю кислоту неможливо перетворити на біодизель. У результаті очікується, що вихід біодизеля в процесі переестерифікації буде низьким. У цьому випадку вихідне масло бере участь в естерифікації кислотного каталізатора перед переестерифікацією основного каталізатора. Під час цієї процедури вільна жирна кислота перетворюється на складний ефір. Під час цієї процедури алкоголь з'єднується з олією за допомогою кислотного механізму. У результаті реакції утворюється вода та біодизель, останній необхідно негайно видалити, це призведе до утворення мила під час процесу переестерифікації первинного каталізатора. В якості каталізатора використовується фосфорна або сірчана кислота. Продукт, отриманий з кислотного каталізатора, використовується для виробництва біодизеля за основною процедурою, описаною вище.

Надкритичний метод. У світі ведуться наукові дослідження щодо розробки способу отримання біодизеля без каталізатора. У цьому підході використовується поняття надкритичної рідини, це речовина, яка перевищує критичну температуру і тиск. Критична температура - це найвища температура і тиск, при яких речовина може бути відповідно парою або рідиною. Для переходу в надкритичний стан в реактор нагнітають спирт і рослинну олію під тиском 20-40 бар і температурою 150-45°C. Спроможність вищих карбонових кислот з довгим неполярним вуглецевим ланцюгом при кімнатній температурі в газоподібному CO₂ вважається мінімальною, що дозволяє відрізнити продукт від розчинника.

Синтез біодизеля в надкритичних спиртах без каталізатора є методом, який може замінити каталітичний процес алкоголізу. Спосіб виробництва біодизеля без каталізаторів передбачає простий формальний процес, який забезпечує високі виходи продукту за рахунок одночасної переестерифікації тригліцеридів і естерифікації жирних кислот. Крім того, у цьому процесі, на відміну від процесу, який включає реакції, що каталізуються лугом, присутність води позитивно впливає на утворення метилових ефірів. Порівняно з каталітичними процесами, які відбуваються під атмосферним тиском, надкритичний процес з метанолом не каталізується, в результаті продукти реакції (компоненти біомаси) легше очищаються. Крім того, кажуть, що час реакції в цьому випадку менший [6].

Основним недоліком цього підходу є енергія, необхідна для переходу в надкритичний стан, що значно збільшує витрати на виробництво.

Подальша еволюція методів отримання біодизеля йде в бік складної комбінації факторів, що впливають на складні ефіри гліцерину та інших вищих карбонових кислот.

Мікрореактори — це мініатюрні системи для хімічних реакцій, виготовлені за допомогою мікротехнологій та інших методів точної техніки. Термін «мікрореактор» часто використовується для опису великої різноманітності пристроїв з обмеженим простором. Типовий обсяг внутрішніх каналів у мікроструктурованих реакторах становить від мікронів до міліметрів. Чим менший розмір реакції системи, тим швидше можна прискорити реакцію та зменшити проблему тепло- та масообміну, це проблематично на звичайних атомних електростанціях.

Мікрореактори створюються з урахуванням концепції ієрархії, тобто вони складаються з набору компонентів, який включає підкомпоненти. Багато з мікрореакторів, що використовуються для реалізації

потоків, мають кілька каналів, які мають вхід і кінцевий пункт призначення. Одиночний канал або набір таких каналів, які складають цілий компонент, називають «піделементом». Іноді субелемент може мати додаткові мікроструктури, наприклад пори. Суб-елементи з'єднані каналами, які складаються з того самого матеріалу і утворюють "елемент". Щоб підвищити ефективність мікрореактора, блоки можна з'єднувати послідовно, наприклад, ідентичні блоки можна з'єднувати паралельно на плоскій поверхні, а корпуси не є частиною мікрореактора, доки вони не будуть з'єднані з верхньою та нижньою пластинами, які полегшують потік. Передача. Елемент вважається єдиним, якщо він розміщений у корпусі або між двома панелями.

За призначенням використання мікрореактори можна класифікувати на: аналітичні прилади та обладнання для досліджень.

Аналітичні інструменти зазвичай використовуються для наукових цілей у біохімії, а мікрореактори використовуються в хімічній промисловості. Враховуючи створення аналітичного та технологічного обладнання, деякі мікрореактори можуть бути використані в обох напрямках. За типом процесів у мікрореакторі їх можна класифікувати наступним чином:

1. *Установки для каталітичних та некаталітичних реакцій.* Залежно від наявності або відсутності каталізатора і типу каталізатора конструкція мікрореактора може відрізнятися. У деяких випадках каталізатор закритий стінкою мікроканалу, в інших він складається з порошку або не використовується взагалі.

2. *Установки для однорідних та гетерогенних процесів.* Деякі мікрореактори спеціалізуються на гомогенних і гетерогенних процесах. У першому компоненті добре змішуються, другий забезпечує необхідний інтерфейс.

3. *Установки для певних типів систем, наприклад, газ-рідина, рідина-рідина, газ-газ, фотохімічні реакції тощо.* Щоб максимізувати ступінь інтенсивності процесу, реактор може бути розроблений для певного типу системи.

Крім того, мікрореактори можна класифікувати за типом роботи, яка може бути безперечною або періодичною. Багато з використовуваних мікрореакторів оснащені системою безперечної роботи.

Незважаючи на те, що розмір мікрореакторів менший, вони мають численні переваги, які є практичними та експлуатаційними порівняно з традиційними реакторами.

Малий розмір системи. Малий розмір ізольованої системи збільшує відповідний нахил параметра процесу. Це стосується таких параметрів, як тиск, температура та концентрація, які мають вирішальне значення для процесу в реакторі. Через зменшення лінійного розміру системи сила рухомої маси та тепло або потік на одиницю об'єму поверхні зменшуються. Багато сучасних мікрореакторів мають мікроканали розміром близько 50-500 мікрометрів, товщину стінки між каналом для реакції і каналом для теплопередачі можна зменшити приблизно до 20-50 мікрометрів, що збільшує коефіцієнт теплопередачі. У мікросвічках товщина шару рідини зменшена до кількох десятків мікрон, а в деяких випадках до кількох нанометрів. Таким чином, середній час, необхідний для змішування в мікроміксерях, становитиме мілісекунди, а в деяких випадках до наносекунд, чого неможливо досягти в пристрої з мішалкою або іншими звичайними компонентами змішування.

Збільшення співвідношення поверхні та об'єму. Через зменшення лінійного розміру мікроканалів збільшується відношення поверхні до об'єму. Крім згаданої вище переваги в передачі тепла, збільшення площі поверхні пристрою може бути використано для посилення процесів, наприклад, у каталітичних реакціях, які відбуваються в газовій фазі, внутрішня поверхня пристрою покрита активна речовина. Це використовується для збільшення швидкості реакції.

Ця перевага мікрореакторів очевидна в багатофазних процесах, коли товщина принаймні однієї з рідких фаз дорівнює нанометру. Як теоретичні, так і експериментальні дослідження показали, що межа розділу в мікрореакторах становить від 5000 до 3000 м²/м³ [8]. Через зменшення лінійного розміру об'єм мікрореактора зменшується до кількох мікролітрів. Це контрастує зі звичайними промисловими процесами, які засновані на перемішуванні, зменшення розміру реактора супроводжується переходом до безперечної процесу в мікрореакторі. Крім того, менший обсяг призведе до більш безпечної процедури.

Режими потоку в мікроканалах. Іншим корисним аспектом мікрореакторів є гідродинаміка потоку, яка має першочергове значення для мікрофлюїдів. Потік зазвичай лінійний, спрямований і симетричний. Крім того, багатофазні потоки мають хороший ступінь сегрегації фаз. Це викликано розвитком так званого потоку у вигляді балонів у мікроканалах. У цьому випадку всередині крапель рідини присутній вторинний рух через тертя між сегментованою рідиною та стінкою мікроканалу. Тобто існує друга взаємодія всередині крапель рідини, яка спричинена тертям між сегментованою рідиною та стінкою мікроканалу (рис. 3) [3, 4].

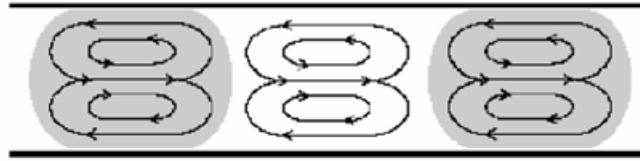


Рис. 3. Кругові рухи в мікроканалі

Багаторазове збільшення кількості елементів. Загальною ознакою мікрореакторів є багаторазова ітерація елементарних компонентів. Вони можуть працювати послідовно або паралельно із загальною виробничою трубою. Це сприяє підвищенню продуктивності. Функціональні вузли в мікросистемі, такі як змішувачі, повторюються багаторазово. Об'єднання цих агрегатів здійснюється через канали і ділянки, які мають рівномірний розподіл потоку. Це гарантує збереження тих самих основних властивостей основного блоку при збільшенні загального обсягу системи. Крім того, велика кількість одиниць полегшує зміну обсягу продукту. Конструкція цієї секції дозволяє легко вносити зміни в установку, які відбуватимуться для кількох реакцій, цей тип реактора легко збирається та розбирається. Змінюючи установку, її можна буде перетворити на універсальну платформу для синтезу різних продуктів за допомогою мікрореакторів. Ця додаткова гнучкість додатково ілюструється здатністю цих систем функціонувати в різноманітних умовах навколишнього середовища.

Як наслідок, мікрореактори мають значну перевагу над звичайними реакторами з точки зору збільшення виробництва біодизеля, причина полягає в тому, що вони мають кращу концентрацію та теплообмін, вони мають коротший час перебування, вони вимагають менше хімікатів, каталізаторів і сміття, ніж звичайні реактори, вони також більш легкі та компактні за конструкцією, вони мають нижчу швидкість потоку та більш ефективні у виробництві біодизеля. Крім того, мікрореактори легко розширюються, що зменшує капітальні та експлуатаційні витрати та дозволяє збільшити дохід.

У цьому розділі описано загальну інформацію про біодизель, а також переваги та недоліки використання цього палива порівняно з іншими видами енергії, пояснено методи виробництва біодизеля. Також були розглянуті переваги мікрореактора перед традиційним реактором та іншими типами мікрореакторів.

Проведений аналіз дозволив зробити висновок, що метод переетерифікації з використанням первинного каталізатора NaOH є найефективнішим способом створення біодизелю, сировиною для цього процесу було обрано відпрацьоване масло.

Технічна схема виробництва біодизеля в мікрореакторі зображена на малюнку 4.

Відпрацьоване масло з резервуара для зберігання 1 передається до фільтра 3, який видаляє тверді частинки, а також інші домішки, які масло може мати. Початкова температура масла підвищується до 60 градусів за Цельсієм в теплообміннику 4. Спирт і каталізатор KOH спочатку змішуються в змішувачі, температура суміші 50 °C. Суміш олії та метанолу без каталізатора вводять у мікрореактори 9. У мікрореакторі відбувається реакція переетерифікації, при цьому підтримується температура 65°C. Продукт з мікрореактора 10 знижується до 45 градусів Цельсія, потім поміщається в відстійник 11 для диференціації суміші. Готовий продукт – біодизель – видобувається з верхньої частини відстійника, а гліцерин – з нижньої частини відстійника. [3, 4]

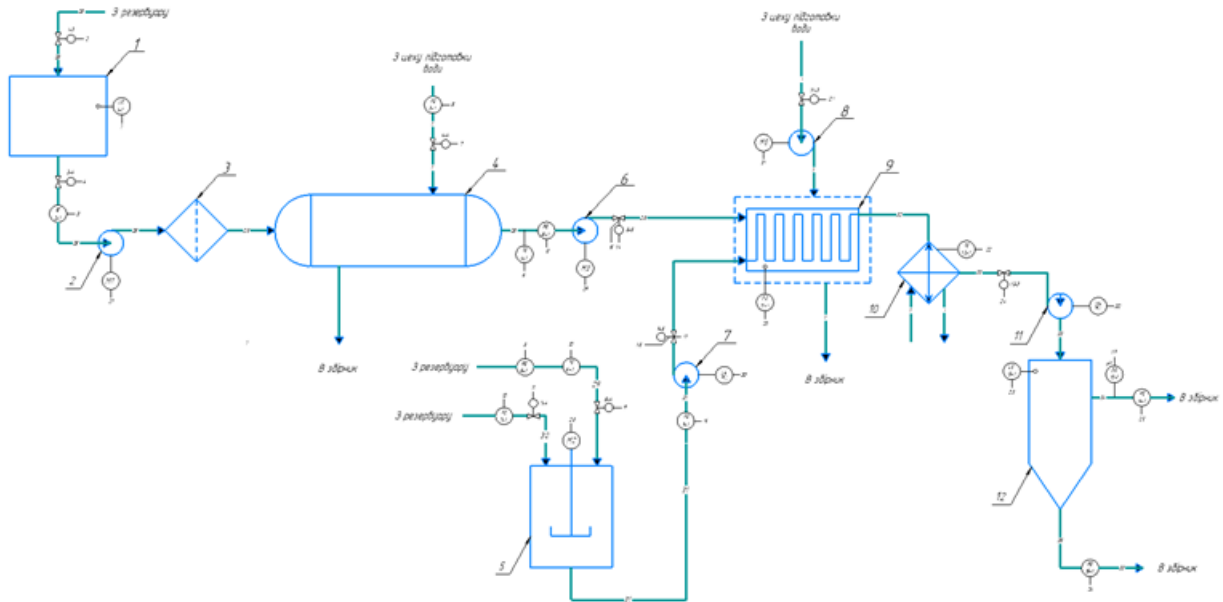


Рис. 4. Технологічна схема виготовлення біодизеля

1-бак з олією; 2,6,7,8,11 – насоси; 3 – фільтр; 4 – теплообмінник; 5– змішувач; 9 – мікрореактор; 10 – охолоджувач; 12 – відстійник

Як правило, біодизель є сумішшю складних ефірів жирних кислот з низьким і високим вмістом жирних кислот, отриманих з біологічних ресурсів шляхом переетерифікації. Ці ефіри мають високий вміст триацилгліцеридів. У більшому масштабі біодизель отримують в результаті реакції каталітичного метанолізу або етанолізу рослинних олій з використанням NaOH або KOH як каталізатора. Щоб максимізувати вихід біодизеля в промислових умовах, сировина повинна містити максимум 0,5 відсотка вільних жирних кислот і води, якщо вони присутні, це призведе до утворення мила та дезактивації каталізатора.

Аналіз кінетичних моделей виробництва біодизеля привів до висновку, що для опису кінетики процесу можна використовувати систему диференціальних рівнянь із часом як змінною. Ця система описана таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d[TG]^p}{dt} = J_{TG}^p - r_1 + r_2 \\ \frac{d[TG]^a}{dt} = -J_{TG}^p \\ \frac{d[SB]^p}{dt} = J_{SB}^p + r_1 - r_2 - r_3 + r_4 \\ \frac{d[SB]^a}{dt} = -J_{SB}^p \\ \frac{d[G]}{dt} = r_3 - r_4 \\ \frac{d[MeOH]}{dt} = -r_1 + r_2 - 2r_3 + r_4 \\ \frac{d[E]^p}{dt} = J_E^p + r_1 - r_2 + 2r_3 - r_4 \\ \frac{d[E]^a}{dt} = -J_E^p \\ [MeO^-] = \frac{[MeO^-]_0 [MeOH]_0}{[MeOH]} \end{array} \right. \quad (1)$$

Початкові умови для $t_0 = 0$ с були встановлені як $[TG]_0^a = 1,057$ моль/л, $[MeOH]_0 = 16,72$ моль/л, $[MeO]_0 = 0,442$ моль/л інші концентрації рівні 0 моль/л [14,15].

Для вирішення системи диференціальних рівнянь (3.18) ми будемо використовувати обчислювальні ресурси програмного забезпечення MathCad 15 і метод Рунге-Кутта. [3, 4]

Результати моделювання процесу створення біодизеля в мікрореакторі представлені на рисунку 5

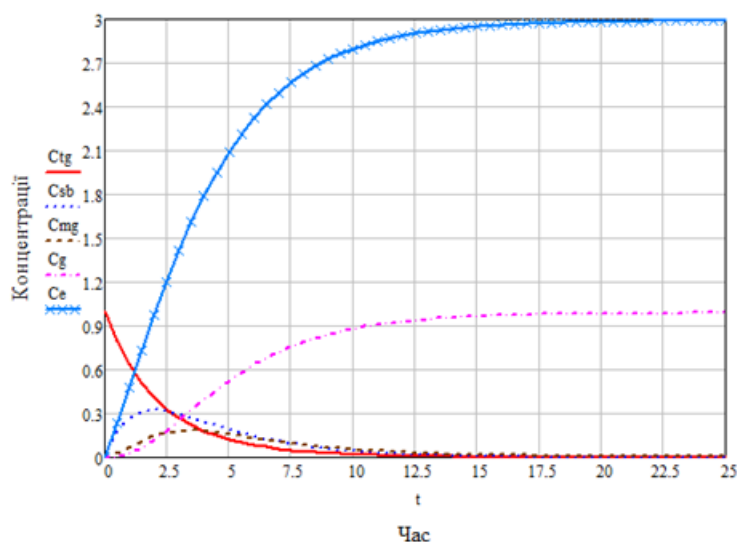


Рис. 5. Зміна молярної концентрації триацилгліцериду(C_{tg}), гліцерину(C_g) та метилового ефіру(C_e) від часу

На графіку бачимо, що молярна концентрація триацилгліцериду, гліцерину та метилового ефіру майже не змінюється при $t=20$ с.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Описано хімічні формули перетворення сировини у біодизель Проведено дослідження швидкості процесу створення біодизеля в мікрореакторі, отриманому з відпрацьованого масла, на основі цієї інформації створено математичну модель.

Література

1. Бабич А. О. Світові земельні, продовольчі і кормові ресурси. – К.. Аграрна наука, 1996.-571 с.
2. Дубровін В.О., Корчемний М.О., Масло І.П. та ін. Біопалива (технологія, машини і обладнання).-К., ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004.-256 с.
3. Ковтун Г. Біодизельне паливо \ Visn. NAN України. – 2004.-№11.-С.51-56.
4. Billion Ton Feedstock Supply for a Bioenergi and Bioproducts Industry: Technikal Feasibility of Annualy Suppling One Billion Dry Tons of Biomass. April 2005. USDA & DOE.

References

1. Babych A. O. Svitovi zemelni, prodovolchi i kormovi resursy. – K.. Ahrarna nauka, 1996.-571 s.
2. Dubrovin V.O., Korchemnyi M.O., Maslo I.P. ta in. Biopalyva (tekhnolohiia, mashyny i obladnannia).-K., TsTI «Enerhetyka i elektryfikatsiia», 2004.-256 s.
3. Kovtun H. Biodyzelne palyvo \ Visn. NAN Ukrainy. – 2004.-№11.-S.51-56.
4. Billion Ton Feedstock Supply for a Bioenergi and Bioproducts Industry: Technikal Feasibility of Annualy Suppling One Billion Dry Tons of Biomass. April 2005. USDA & DOE.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Матвійчук Олександр Сергійович

Тема: Модель технологічного процесу виробництва біопалива

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 86

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка математичної моделі технологічного процесу виробництва біопалива.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі описано загальну інформацію про біодизель, а також переваги та недоліки використання цього палива порівняно з іншими видами енергії, пояснено методи виробництва біодизеля. Також були розглянуті переваги мікрореактора перед традиційним реактором та іншими типами мікрореакторів. У другому було проаналізовано швидкість процесу створення біодизеля в мікрореакторі, отриманому з відпрацьованого масла, на основі цієї інформації створено математичну модель. У третьому розділі створено програмний додаток, який розраховує математичну модель мікрореактора в ізотермічному режимі на мові програмування C# в середовищі розробки Visual Studio 2019. Розроблений програмний модуль може розраховувати модель за власними даними або тестовими даними, результати розрахунків представлені у вигляді таблиць або графіків. У четвертому розділі запропоновано автоматизацію виробництва біодизеля в мікрореакторі з використанням новітніх пристроїв контролю, реєстрації, сигналізації та регулювання. Виробництву високоякісного біодизеля сприяє регулювання співвідношення відпрацьованої олії та метанолу в кінцевому продукті, яке залежить від рН продукту в цілому – біодизеля. Також було сконструйовано нечіткий автомат, який керував температурою в мікрореакторі та споживанням води для нагріву, обраними лінгвістичними змінними були дві.
4. Позитивні сторони роботи: розроблено математичну модель технологічного процесу виробництва біопалива

5. Негативні сторони роботи: недостатній огляд існуючих технічних рішень, наявні стилістичні та граматичні поимлки

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

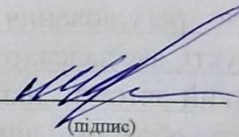
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3,50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Мішан Віктор Володимирович,
доцент, каф ТМІТ

“20” 12 2024 р.


(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Матвійчук Олександр Сергійович

ІІБ здобувача вищої освіти

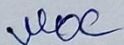
ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-23-1

ЗАЯВА

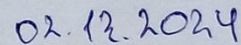
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.



дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олександр МАТВІЙЧУК

Співавтор:

Назва: МКР Матвійчук

Науковий керівник: Ірина ФОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 7.7%

Коефіцієнт подібності 2: 0.9%

Мікропробіли: 5

Заміна букв: 7

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-12-20 00:52:17.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

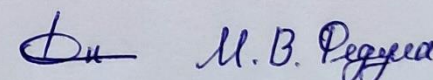
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-20

Дата


експерт

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 4.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилоч в документах: 13%**

ID: 161606 Назва: МКР Математична модель технологічного процесу виробництва біопалива Додано в БД: 2024-12-20 Автора: Олександр МАТВІЙЧУК Керівники: Ірина ФОРКУН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	91993	840	4969 (5%)	67 (8%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Математична модель технологічного процесу виробництва біопалива

Автор: Матвійчук Олександр Сергійович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Форкун Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;


3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 7,71% і адресується до 25 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи





Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Ірина ФОРКУН